ACLARACIONES IMPORTANTES

Los estudios y diseños denominados con el nombre "**CONSULTORÍA PARA LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA POR EL SISTEMA DE VALORIZACIÓN ESTUDIO Y DISEÑO DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA SUROESTE PUENTE IGLESIAS-LA Y-EL LIBANO LA LORENA MARATÓN – CASA BLANCA – LA VIRGEN"** hacen parte del proyecto **"MEJORAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS COMPLEMENTARIAS DE LA VÍA LA LORENA – MARATÓN ETAPA 3, DE LA SUBREGIÓN SUROESTE DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA"**

El alcance del proyecto se encuentra delimitado en:

Via	Abscisa Inicio	Abscisa Fin	Longitud (m)
Lorena - maratón	K0+000	K6+874.195	6874.195

Además, se presenta la ubicación de las obras aplicables al presente estudio:

ID CUENCA Ó ÁREA AFERENTE	ABSCISA DISEÑO	DATOS OBRAS EXISTENTES			DATOS OBRAS PROYECTADAS		
		TIPO DE OBRA	DIAMETRO /ANCHO (D/B)	PROF (H)	TIPO DE OBRA	DIAMETRO/ ANCHO (D/B)	PROF (H)
			m	m		m	m
LLM-OD1	K0+074.00	OE	0.9		-	-	-
LLM-OD2	K0+141.00	OE	0.9		-	-	-
LLM-1	K0+209.00	OE	2 Φ0.60 y Φ0.75		BN	2.00	2.00
LLM-OD3	K0+262.17	-			ON	0.90	
LLM-OD4	K0+345.00	OE	0.60		ON	0.90	-
LLM-OD5	K0+414.00	-			ON	0.90	
LLM-OD6	K0+454.00	OE	0.90		-	-	-
LLM-OD7	K0+641.00	OE	0.90		-	-	-
LLM-OD8	K0+803.00	OE	0.90		-	-	-
LLM-OD9	K0+901.00	-			BN	1.00	1.00
LLM-OD10	K0+942.00	OE	0.90		-	-	-
LLM-OD11	K1+084.00	-			BN	1.00	1.00
LLM-OD12	K1+225.00	-			ON	0.90	-

ID CUENCA Ó ÁREA AFERENTE	ABSCISA DISEÑO	DATOS OBRAS EXISTENTES			DATOS OBRAS PROYECTADAS		
		TIPO DE OBRA	DIAMETRO /ANCHO (D/B)	PROF (H)	TIPO DE OBRA	DIAMETRO/ ANCHO (D/B)	PROF (H)
			m	m		m	m
LLM-2	K1+402.00	OE	0.90		-	-	-
LLM-OD13	K1+480.00	-			ON	0.90	-
LLM-OD14	K1+566.00	OE	0.90		-	-	-
LLM-OD15	K1+674.00	OE	0.90		-	-	-
LLM-OD16	K1+762.00	OE	0.90		-	-	-
LLM-3	K1+860.00	PE			PE		
LLM-OD17	K1+894.00	OE	0.90		-	-	-
LLM-OD18	K2+070.00	-			ON	0.90	-
LLM-OD19	K2+161.00	OE	0.80		ON	0.90	-
LLM-OD20	K2+290.00	OE	0.90		-	-	-
LLM-4	K2+402.00	OE	0.90		BN	2.50	2.50
LLM-5	K2+450.00	OE	0.60		BN	1.00	1.00
LLM-OD21	K2+679.00	OE	0.60		ON	0.90	-
LLM-6	K2+931.00	OE	0.60		BN	1.00	1.00
LLM-OD22	K3+018.00	OE	0.60		BN	1.00	1.00
LLM-OD23	K3+132.00	-			BN	1.00	1.00
LLM-OD24	K3+236.00	OE	0.60		ON	0.90	-
LLM-OD25	K3+312.00	OE	0.60		BN	1.00	1.00
LLM-OD26	K3+388.00	OE	0.60		BN	1.00	1.00
LLM-7	K3+505.00	OE	0.60		BN	1.00	1.00
LLM-8	K3+715.00	OE	0.45		BN	1.00	1.00
LLM-OD27	K3+812.00	OE	0.60		BN	1.00	1.00
LLM-9	K3+886.00	OE	2Φ0.3		ON	0.90	-
LLM-10	K3+946.00	OE	0.90		BN	2.00	2.00
LLM-11	K4+060.00	BA	BATEA EN CONCRETO		P-N	25.00	
LLM-OD27A	K4+132.00	-	-		ON	0.90	
LLM-12	K4+253.00	OE	0.90		BN	2.00	2.00
LLM-13	K4+433.00	OE	0.60		BN	1.50	1.50
LLM-14	K4+542.00	OE	0.60		BN	1.50	1.50
LLM-15	K4+741.00	OE	0.90		BN	1.50	1.50
LLM-OD28	K4+823.00	OE	0.60		ON	0.90	-
LLM-16	K5+011.00	OE	0.60		BN	1.50	1.50
LLM-17	K5+113.00	OE	0.60		ON	0.90	-
LLM-18	K5+322.00	OE	0.60		ON	0.90	-

ID CUENCA Ó ÁREA AFERENTE	ABSCISA DISEÑO	DATOS OBRAS EXISTENTES			DATOS OBRAS PROYECTADAS		
		TIPO DE OBRA	DIAMETRO /ANCHO (D/B)	PROF (H)	TIPO DE OBRA	DIAMETRO/ ANCHO (D/B)	PROF (H)
			m	m		m	m
LLM-OD28A	K5+420.00	-			ON	0.90	-
LLM-OD29	K5+569.00	OE	0.60		ON	0.90	-
LLM-OD30	K5+652.00	OE	0.60		ON	0.90	-
LLM-OD31	K5+755.00	OE	0.60		BN	1.00	1.00
LLM-OD32	K5+860.00	OE	0.60		BN	1.00	1.00
LLM-19	K5+976.00	OE	0.60		ON	0.90	-
LLM-OD33	K6+090.00	OE	0.60		ON	0.90	-
LLM-OD34	K6+200.00	OE	0.60		BN	1.00	1.00
LLM-20	K6+257.00	OE	0.60		ON	0.90	-
LLM-21	K6+376.00	OE	0.60		ON	0.90	-
LLM-OD35	K6+463.00	OE	0.60		ON	0.90	-
LLM-OD36	K6+564.00	OE	0.60		ON	0.9	-
LLM-OD37	K6+646.00	OE	0.60		ON	0.9	-
LLM-OD38	K6+742.00	OE	0.60		ON	0.9	-
LLM-OD39	K6+826.00	OE	0.60		BN	1.00	1.00

OBRAS PROYECTADAS A CONSTRUIR

BN: BOX PROYECTADO
ON: OBRA PROYECTADA
PN: PUENTE PROYECTADO
OE: OBRA EXISTENTE

GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA
República de Colombia

INVENTARIO DE CUNETAS

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
5	izquierda	5
10	izquierda	5
15	izquierda	5
20	izquierda	5
25	izquierda	5
30	izquierda	5
40	izquierda	10
50	izquierda	10
60	izquierda	10
70	izquierda	10
80	izquierda	10
90	izquierda	10
100	izquierda	10
110	izquierda	10
120	derecha	10
130	derecha	10
135	derecha	5
140	derecha	5
145	derecha	5
150	derecha	5
160	izquierda	10
165	izquierda	5
170	izquierda	5
175	izquierda	5
180	izquierda	5
190	izquierda	10
200	derecha	10
205	derecha	5
210	derecha	5
215	derecha	5
220	derecha	5
230	izquierda	10
240	izquierda	10
245	izquierda	5
250	izquierda	5
255	izquierda	5

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
260	izquierda	5
270	izquierda	10
280	derecha	10
285	derecha	5
290	derecha	5
295	derecha	5
300	derecha	5
305	derecha	5
310	derecha	5
315	derecha	5
320	derecha	5
330	izquierda	10
340	izquierda	10
345	izquierda	5
350	izquierda	5
355	izquierda	5
360	izquierda	5
370	izquierda	10
380	derecha	10
385	derecha	5
390	derecha	5
395	derecha	5
400	derecha	5
410	derecha	10
420	derecha	10
430	izquierda	10
440	izquierda	10
445	izquierda	5
450	izquierda	5
455	izquierda	5
460	izquierda	5
465	izquierda	5
470	izquierda	5
475	izquierda	5
480	izquierda	5
490	izquierda	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
500	izquierda	10
510	izquierda	10
520	izquierda	10
530	izquierda	10
540	derecha	10
550	derecha	10
560	derecha	10
565	derecha	5
570	derecha	5
575	derecha	5
580	derecha	5
585	derecha	5
590	derecha	5
595	derecha	5
600	derecha	5
605	derecha	5
610	derecha	5
620	derecha	10
630	derecha	10
640	derecha	10
650	derecha	10
660	derecha	10
670	derecha	10
680	derecha	10
685	derecha	10
690	derecha	5
695	derecha	5
700	derecha	5
705	derecha	5
710	derecha	5
720	derecha	10
730	izquierda	10
740	izquierda	10
745	izquierda	5
750	izquierda	5
755	izquierda	5

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
760	izquierda	5
765	izquierda	5
770	izquierda	5
775	izquierda	5
780	izquierda	5
790	izquierda	10
800	izquierda	10
810	derecha	10
820	derecha	10
830	derecha	10
835	derecha	5
840	derecha	5
845	derecha	5
850	derecha	5
855	derecha	5
860	derecha	5
870	derecha	10
880	izquierda	10
890	izquierda	10
900	izquierda	10
905	izquierda	5
910	izquierda	5
915	izquierda	5
920	izquierda	5
930	izquierda	10
940	izquierda	10
950	izquierda	10
960	izquierda	10
965	izquierda	5
970	izquierda	5
975	izquierda	5
980	izquierda	5
985	izquierda	5
990	izquierda	5
1000	izquierda	10
1010	izquierda	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
1020	derecha	10
1030	derecha	10
1040	derecha	10
1045	derecha	5
1050	derecha	5
1055	derecha	5
1060	derecha	5
1065	derecha	5
1070	derecha	5
1075	derecha	5
1080	derecha	5
1085	derecha	5
1090	derecha	5
1100	derecha	10
1110	izquierda	10
1120	izquierda	10
1130	izquierda	10
1135	izquierda	5
1140	izquierda	5
1145	izquierda	5
1150	izquierda	5
1155	izquierda	5
1160	izquierda	5
1170	izquierda	10
1180	izquierda	10
1190	izquierda	10
1200	izquierda	10
1210	izquierda	10
1220	izquierda	10
1230	izquierda	10
1240	izquierda	10
1250	izquierda	10
1255	izquierda	5
1260	izquierda	5
1270	izquierda	10
1280	izquierda	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
1290	izquierda	10
1300	izquierda	10
1310	izquierda	10
1320	izquierda	10
1330	derecha	10
1340	derecha	10
1350	derecha	10
1355	derecha	5
1360	derecha	5
1365	derecha	5
1370	derecha	5
1375	derecha	5
1380	derecha	5
1385	derecha	5
1390	derecha	5
1400	izquierda	10
1410	izquierda	10
1415	izquierda	5
1420	izquierda	5
1425	izquierda	5
1430	izquierda	5
1435	izquierda	5
1440	izquierda	5
1445	izquierda	5
1450	izquierda	5
1460	izquierda	10
1470	derecha	10
1480	derecha	10
1485	derecha	5
1490	derecha	5
1495	derecha	5
1500	derecha	5
1505	derecha	5
1510	derecha	5
1515	derecha	5
1520	derecha	5

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
1525	derecha	5
1530	derecha	5
1535	derecha	5
1540	izquierda	5
1550	izquierda	10
1560	izquierda	10
1565	izquierda	5
1570	izquierda	5
1580	izquierda	10
1585	derecha	5
1590	derecha	5
1595	derecha	5
1600	derecha	5
1605	derecha	5
1610	derecha	5
1615	derecha	5
1620	derecha	5
1630	izquierda	10
1640	izquierda	10
1650	izquierda	10
1655	izquierda	5
1660	izquierda	5
1670	izquierda	10
1675	izquierda	5
1680	izquierda	5
1685	izquierda	5
1690	izquierda	5
1695	izquierda	5
1700	izquierda	5
1705	izquierda	5
1710	izquierda	5
1720	derecha	10
1730	derecha	10
1735	derecha	5
1740	derecha	5
1745	derecha	5

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
1750	derecha	5
1755	derecha	5
1760	derecha	5
1765	derecha	5
1770	derecha	5
1775	derecha	5
1780	derecha	5
1790	derecha	10
1800	derecha	10
1840	derecha	10
1850	derecha	10
1860	derecha	10
1870	derecha	10
1880	derecha	10
1885	derecha	5
1890	derecha	5
1895	derecha	5
1900	derecha	5
1905	derecha	5
1910	derecha	5
1915	derecha	5
1920	derecha	5
1925	derecha	5
1930	derecha	5
1940	derecha	10
1950	derecha	10
1960	derecha	10
1970	derecha	10
1980	derecha	10
1990	derecha	10
2000	derecha	10
2010	derecha	10
2020	derecha	10
2030	derecha	10
2040	derecha	10
2050	derecha	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
2060	derecha	10
2070	derecha	10
2080	derecha	10
2090	derecha	10
2100	derecha	10
2110	derecha	10
2120	derecha	10
2130	derecha	10
2140	derecha	10
2150	derecha	10
2155	derecha	5
2160	derecha	5
2165	derecha	5
2170	derecha	5
2175	derecha	5
2180	derecha	5
2190	derecha	10
2200	derecha	10
2205	derecha	5
2210	derecha	5
2220	derecha	10
2230	derecha	10
2240	derecha	10
2250	izquierda	10
2260	izquierda	10
2265	izquierda	5
2270	izquierda	5
2275	izquierda	5
2280	izquierda	5
2285	izquierda	5
2290	izquierda	5
2295	izquierda	5
2300	izquierda	5
2305	izquierda	5
2310	izquierda	5
2315	izquierda	5

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
2320	izquierda	5
2330	izquierda	10
2340	derecha	10
2350	derecha	10
2355	derecha	5
2360	derecha	5
2365	derecha	5
2370	derecha	5
2375	derecha	5
2380	derecha	5
2385	derecha	5
2390	derecha	5
2395	derecha	5
2400	derecha	5
2410	derecha	10
2420	derecha	10
2430	izquierda	10
2440	izquierda	10
2445	izquierda	5
2450	izquierda	5
2455	izquierda	5
2460	izquierda	5
2465	izquierda	5
2470	izquierda	5
2475	izquierda	5
2480	izquierda	5
2485	izquierda	5
2490	izquierda	5
2495	izquierda	5
2500	izquierda	5
2505	izquierda	5
2510	izquierda	5
2520	izquierda	10
2530	izquierda	10
2540	izquierda	10
2550	izquierda	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
2560	derecha	10
2570	derecha	10
2575	derecha	5
2580	derecha	5
2585	derecha	5
2590	derecha	5
2595	derecha	5
2600	derecha	5
2610	derecha	10
2620	derecha	10
2630	derecha	10
2640	derecha	10
2650	derecha	10
2660	derecha	10
2670	derecha	10
2680	derecha	10
2690	derecha	10
2700	derecha	10
2710	derecha	10
2720	derecha	10
2730	derecha	10
2740	derecha	10
2750	derecha	10
2760	derecha	10
2770	derecha	10
2780	derecha	10
2790	izquierda	10
2800	izquierda	10
2805	izquierda	5
2810	izquierda	5
2815	izquierda	5
2820	izquierda	5
2825	izquierda	5
2830	izquierda	5
2835	izquierda	5
2840	izquierda	5

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
2845	izquierda	5
2850	izquierda	5
2860	izquierda	10
2870	derecha	10
2880	derecha	10
2890	derecha	10
2900	derecha	10
2910	derecha	10
2915	derecha	5
2920	derecha	5
2925	derecha	5
2930	derecha	5
2935	derecha	5
2940	derecha	5
2945	derecha	5
2950	derecha	5
2960	derecha	10
2970	derecha	10
2980	derecha	10
2990	derecha	10
3000	derecha	10
3010	derecha	10
3020	derecha	10
3030	derecha	10
3040	derecha	10
3050	derecha	10
3060	derecha	10
3070	derecha	10
3080	derecha	10
3090	derecha	10
3100	derecha	10
3110	derecha	10
3120	derecha	10
3130	derecha	10
3140	derecha	10
3150	derecha	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
3160	derecha	10
3170	derecha	10
3180	derecha	10
3190	derecha	10
3200	derecha	10
3210	derecha	10
3220	derecha	10
3230	derecha	10
3240	derecha	10
3250	derecha	10
3260	derecha	10
3270	derecha	10
3280	derecha	10
3290	derecha	10
3300	derecha	10
3310	derecha	10
3320	derecha	10
3330	derecha	10
3340	derecha	10
3350	derecha	10
3360	derecha	10
3370	derecha	10
3380	derecha	10
3390	derecha	10
3400	derecha	10
3410	derecha	10
3420	izquierda	10
3430	izquierda	10
3440	izquierda	10
3445	izquierda	5
3450	izquierda	5
3455	izquierda	5
3460	izquierda	5
3465	izquierda	5
3470	izquierda	5
3475	izquierda	5

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
3480	izquierda	5
3485	izquierda	5
3490	izquierda	5
3500	izquierda	10
3510	derecha	10
3520	derecha	10
3525	derecha	5
3530	derecha	5
3540	derecha	10
3550	derecha	10
3560	derecha	10
3565	derecha	5
3570	derecha	5
3580	derecha	10
3590	izquierda	10
3600	izquierda	10
3605	izquierda	5
3610	izquierda	5
3615	izquierda	5
3620	izquierda	5
3625	izquierda	5
3630	izquierda	5
3635	izquierda	5
3640	izquierda	5
3645	izquierda	5
3650	izquierda	5
3655	izquierda	5
3660	izquierda	5
3670	izquierda	10
3680	derecha	10
3690	derecha	10
3695	derecha	5
3700	derecha	5
3705	derecha	5
3710	derecha	5
3720	derecha	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
3730	izquierda	10
3740	izquierda	10
3750	izquierda	10
3755	izquierda	5
3760	izquierda	5
3765	izquierda	5
3770	izquierda	5
3775	izquierda	5
3780	izquierda	5
3785	izquierda	5
3790	izquierda	5
3800	izquierda	10
3810	izquierda	10
3820	izquierda	10
3830	izquierda	10
3840	izquierda	10
3850	izquierda	10
3860	izquierda	10
3870	izquierda	10
3880	izquierda	10
3890	izquierda	10
3900	izquierda	10
3905	izquierda	5
3910	izquierda	5
3915	izquierda	5
3920	izquierda	5
3925	izquierda	5
3930	izquierda	5
3935	izquierda	5
3940	izquierda	5
3950	izquierda	10
3960	izquierda	10
3970	izquierda	10
3980	izquierda	10
3990	izquierda	10
4000	izquierda	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
4010	izquierda	10
4020	izquierda	10
4030	izquierda	10
4040	derecha	10
4050	derecha	10
4060	derecha	10
4065	derecha	5
4070	derecha	5
4080	derecha	10
4090	derecha	10
4095	derecha	5
4100	izquierda	5
4105	izquierda	5
4110	izquierda	5
4120	izquierda	10
4125	izquierda	5
4130	izquierda	5
4135	izquierda	5
4140	izquierda	5
4145	izquierda	5
4150	izquierda	5
4155	izquierda	5
4160	izquierda	5
4165	izquierda	5
4190	izquierda	5
4200	derecha	10
4210	derecha	10
4220	derecha	10
4230	derecha	10
4235	derecha	5
4240	derecha	5
4245	derecha	5
4250	derecha	5
4260	derecha	10
4270	derecha	10
4280	izquierda	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
4290	izquierda	10
4300	izquierda	10
4305	izquierda	5
4310	izquierda	5
4320	izquierda	10
4330	derecha	10
4340	derecha	10
4345	derecha	5
4350	derecha	5
4360	derecha	10
4370	derecha	10
4380	izquierda	10
4390	izquierda	10
4400	izquierda	10
4410	izquierda	10
4420	izquierda	10
4430	izquierda	10
4440	izquierda	10
4450	izquierda	10
4460	derecha	10
4470	derecha	10
4475	derecha	5
4480	derecha	5
4485	derecha	5
4490	izquierda	5
4500	izquierda	10
4510	izquierda	10
4520	izquierda	10
4530	izquierda	10
4535	izquierda	5
4540	derecha	5
4545	derecha	5
4550	derecha	5
4555	derecha	5
4560	izquierda	5
4565	izquierda	5

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
4570	izquierda	5
4575	izquierda	5
4580	izquierda	5
4590	izquierda	10
4600	izquierda	10
4610	izquierda	10
4620	izquierda	10
4630	izquierda	10
4640	izquierda	10
4650	izquierda	10
4660	izquierda	10
4670	izquierda	10
4675	izquierda	5
4680	izquierda	5
4685	izquierda	5
4690	izquierda	5
4695	izquierda	5
4700	izquierda	5
4705	izquierda	5
4710	izquierda	5
4715	izquierda	5
4720	izquierda	5
4730	izquierda	10
4740	izquierda	10
4750	izquierda	10
4760	izquierda	10
4770	izquierda	10
4780	izquierda	10
4790	izquierda	10
4800	izquierda	10
4810	izquierda	10
4820	izquierda	10
4830	izquierda	10
4835	izquierda	5
4840	izquierda	5
4845	izquierda	5

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
4850	izquierda	5
4855	izquierda	5
4860	izquierda	5
4865	izquierda	5
4870	izquierda	5
4880	izquierda	10
4890	izquierda	10
4900	izquierda	10
4910	izquierda	10
4920	izquierda	10
4930	izquierda	10
4940	izquierda	10
4950	izquierda	10
4960	izquierda	10
4965	izquierda	5
4970	izquierda	5
4980	izquierda	10
4985	izquierda	5
4990	derecha	5
4995	derecha	5
5000	derecha	5
5005	derecha	5
5010	derecha	5
5015	derecha	5
5020	derecha	5
5030	derecha	10
5040	izquierda	10
5050	izquierda	10
5055	izquierda	5
5060	izquierda	5
5065	izquierda	5
5070	izquierda	5
5080	izquierda	10
5090	izquierda	10
5100	derecha	10
5105	derecha	5

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
5110	derecha	5
5120	derecha	10
5130	izquierda	10
5140	izquierda	10
5150	izquierda	10
5160	izquierda	10
5170	izquierda	10
5180	izquierda	10
5190	izquierda	10
5200	izquierda	10
5210	izquierda	10
5220	izquierda	10
5230	izquierda	10
5235	izquierda	5
5240	izquierda	5
5250	izquierda	10
5260	izquierda	10
5270	izquierda	10
5280	izquierda	10
5290	izquierda	10
5300	izquierda	10
5310	izquierda	10
5320	izquierda	10
5330	izquierda	10
5340	izquierda	10
5350	izquierda	10
5360	izquierda	10
5370	izquierda	10
5380	izquierda	10
5385	izquierda	5
5390	izquierda	5
5395	izquierda	5
5400	izquierda	5
5410	derecha	10
5420	derecha	10
5430	derecha	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
5440	derecha	10
5450	derecha	10
5460	derecha	10
5465	derecha	5
5470	derecha	5
5475	derecha	5
5480	derecha	5
5485	derecha	5
5490	derecha	5
5495	derecha	5
5500	derecha	5
5505	derecha	5
5510	derecha	5
5520	derecha	10
5530	izquierda	10
5540	izquierda	10
5550	izquierda	10
5555	izquierda	5
5560	izquierda	5
5565	izquierda	5
5570	izquierda	5
5575	izquierda	5
5580	izquierda	5
5585	izquierda	5
5590	izquierda	5
5595	izquierda	5
5600	izquierda	5
5610	izquierda	10
5620	derecha	10
5630	derecha	10
5635	derecha	5
5640	derecha	5
5645	derecha	5
5650	derecha	5
5655	derecha	5
5660	derecha	5

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
5665	derecha	5
5670	derecha	5
5675	derecha	5
5680	derecha	5
5690	derecha	10
5700	derecha	10
5710	izquierda	10
5720	izquierda	10
5725	izquierda	5
5730	izquierda	5
5735	izquierda	5
5740	izquierda	5
5745	izquierda	5
5750	izquierda	5
5755	izquierda	5
5760	izquierda	5
5765	izquierda	5
5770	izquierda	5
5775	izquierda	5
5780	izquierda	5
5785	izquierda	5
5790	izquierda	5
5800	izquierda	10
5810	izquierda	10
5820	izquierda	10
5830	derecha	10
5840	derecha	10
5850	derecha	10
5855	derecha	5
5860	derecha	5
5865	derecha	5
5870	derecha	5
5875	derecha	5
5880	derecha	5
5885	derecha	5
5890	derecha	5

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
5900	derecha	10
5910	derecha	10
5920	derecha	10
5930	derecha	10
5940	derecha	10
5945	derecha	5
5950	derecha	5
5955	derecha	5
5960	derecha	5
5965	derecha	5
5970	derecha	5
5975	derecha	5
5980	derecha	5
5990	derecha	10
6000	izquierda	10
6010	izquierda	10
6020	izquierda	10
6025	izquierda	5
6030	izquierda	5
6035	izquierda	5
6040	izquierda	5
6050	izquierda	10
6060	izquierda	10
6070	izquierda	10
6075	izquierda	5
6080	izquierda	5
6085	izquierda	5
6090	izquierda	5
6095	izquierda	5
6100	izquierda	5
6105	izquierda	5
6110	izquierda	5
6120	izquierda	10
6130	izquierda	10
6140	izquierda	10
6150	izquierda	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
6160	izquierda	10
6170	izquierda	10
6180	izquierda	10
6190	izquierda	10
6200	izquierda	10
6205	izquierda	5
6210	izquierda	5
6215	izquierda	5
6220	izquierda	5
6225	izquierda	5
6230	izquierda	5
6235	izquierda	5
6240	izquierda	5
6250	izquierda	10
6260	derecha	10
6270	derecha	10
6275	derecha	5
6280	derecha	5
6285	derecha	5
6290	derecha	5
6295	derecha	5
6300	derecha	5
6305	derecha	5
6310	derecha	5
6315	derecha	5
6320	derecha	5
6325	derecha	5
6330	derecha	5
6335	derecha	5
6340	derecha	5
6345	derecha	5
6350	derecha	5
6355	derecha	5
6360	derecha	5
6370	derecha	10
6380	derecha	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
6390	derecha	10
6400	izquierda	10
6410	izquierda	10
6420	izquierda	10
6425	izquierda	5
6430	izquierda	5
6435	izquierda	5
6440	izquierda	5
6445	izquierda	5
6450	izquierda	5
6455	izquierda	5
6460	izquierda	5
6465	izquierda	5
6470	izquierda	5
6480	izquierda	10
6490	derecha	10
6495	derecha	5
6500	derecha	5
6505	derecha	5
6510	derecha	5
6515	derecha	5
6520	derecha	5
6525	derecha	5
6530	derecha	5
6535	derecha	5
6540	derecha	5
6550	derecha	10
6555	derecha	5
6560	derecha	5
6565	derecha	5
6570	derecha	5
6575	derecha	5
6580	derecha	5
6590	derecha	10
6600	derecha	10
6610	izquierda	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
6620	izquierda	10
6630	izquierda	10
6635	izquierda	5
6640	izquierda	5
6645	izquierda	5
6650	izquierda	5
6655	izquierda	5
6660	izquierda	5
6665	izquierda	5
6670	izquierda	5
6675	izquierda	5
6680	izquierda	5
6685	izquierda	5
6690	izquierda	5
6695	izquierda	5
6700	izquierda	5
6710	izquierda	10
6720	izquierda	10
6730	izquierda	10
6740	izquierda	10
6750	derecha	10
6760	derecha	10
6770	derecha	10
6775	derecha	5
6780	derecha	5
6785	derecha	5
6790	derecha	5
6795	derecha	5
6800	derecha	5
6805	derecha	5
6810	derecha	5
6815	derecha	5
6820	derecha	5
6830	derecha	10
6840	derecha	10
6850	derecha	10

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
6855	derecha	5
6860	derecha	5
6865	derecha	5

ABSCISA	CUNETA	LONGITUD TRAMO
6870	derecha	5
6874.19	derecha	4.19

TOTAL CUNETAS: 6829.19 m

Cantidad de bordillos La Lorena - Maratón		
Segmento	***Izquierda***	***Derecha***
K0+000 - K0+050	0	50
K0+120 - K0+150	30	0
K0+150 - K0+190	0	40
K0+190 - K0+220	30	0
K0+220 - K0+290	0	70
K0+270 - K0+320	50	0
K0+320 - K0+370	0	50
K0+370 - K0+420	50	0
K0+420 - K0+500	0	80
K0+500 - K0+720	220	0
K0+720 - K0+800	0	80
K0+800 - K0+870	70	0
K0+870 - K1+010	0	140
K1+010 - K1+100	90	0
K1+100 - K1+180	0	80
K1+240 - K1+260	0	20
K1+320 - K1+390	70	0
K1+390 - K1+460	0	70
K1+460 - K1+535	75	0
K1+535 - K1+580	0	45
K1+580 - K1+620	40	0
K1+620 - K1+710	0	90
K1+710 - K1+800	90	0
K1+850 - K1+950	100	0
K2+120 - K2+210	90	0
K2+240 - K2+330	0	90
K2+330 - K2+420	90	0
K2+420 - K2+530	0	110
K2+550 - K2+610	60	0
K2+780 - K2+860	0	80
K2+880 - K2+970	90	0
K3+410 - K3+500	0	90
K3+500 - K3+580	80	0
K3+580 - K3+670	0	90

Cantidad de bordillos La Lorena - Maratón		
Segmento	***Izquierda***	***Derecha***
K3+670 - K3+720	50	0
K3+720 - K3+800	0	80
K3+880 - K3+970	0	90
K4+030 - K4+095	65	0
K4+095 - K4+190	0	95
K4+190 - K4+270	80	0
K4+270 -K4+320	0	50
K4+320 - K4+370	50	0
K4+450 - K4+485	35	0
K4+485 - K4+535	0	50
K4+535 - K4+555	20	0
K4+555 - K4+600	0	45
K4+640 - K4+740	0	100
K4+810 - K4+890	0	80
K4+930 - K4+985	0	55
K4+985 - K5+030	45	0
K5+030 - K5+090	0	60
K5+090 - K5+120	30	0
K5+210 - K5+240	0	30
K5+370 - K5+400	0	30
K5+430 - K5+520	90	0
K5+520 - K5+610	0	90
K5+610 - K5+700	90	0
K5+700 - K5+820	0	120
K5+820 - K5+990	170	0
K5+990 - K6+130	0	140
K6+170 - K6+250	0	80
K6+250 - K6+390	140	0
K6+390 - K6+480	0	90
K6+480 - K6+600	120	0
K6+600 - K6+720	0	120
K6+840 - K6+874,19	34.19	0
Total	***2344.19***	***2680***

FILTROS					
SUBDRENAJE CALZADA DERECHA			SUBDRENAJE CALZADA IZQUIERDA		
ABSCISA DISEÑO		DIÁMETRO TUBERÍA	ABSCISA DISEÑO		DIÁMETRO TUBERÍA
DE	A		DE	A	
K0+000.00	K0+074.00	-	K0+000.00	K0+080.00	4"
K0+074.00	K0+141.00	4"	K0+074.00	K0+141.00	4"
K0+141.00	K0+209.00	-	K0+118.04	K0+209.00	4"
K0+209.00	K0+237.04	4"	K0+234.13	K0+262.17	4"
K0+258.00	K0+414.00	4"	K0+262.17	K0+345.00	-
K0+414.00	K0+454.00	-	K0+371.00	K0+414.00	4"
K0+454.00	K0+586.83	4"	K0+321.17	K0+454.00	4"
K0+584.83	K0+641.00	6"	K0+523.83	K0+580.00	6"
K0+641.00	K0+657.00	-	K0+580.00	K0+596.00	-
K0+658.00	K0+803.00	4"	K0+658.00	K0+803.00	4"
K0+803.00	K0+901.00	-	K0+803.00	K0+901.00	-
K0+881.00	K1+225.00	4"	K0+881.00	K1+225.00	4"
K1+225.00	K1+402.00	-	K1+225.00	K1+402.00	-
K1+402.00	K1+606.00	4"	K1+402.00	K1+674.00	-
K1+606.00	K1+745.70	4"	K1+674.00	K1+813.70	4"
K1+745.70	K1+770.00	6"	K1+737.70	K1+762.00	6"
K1+770.00	K2+070.00	-	K1+762.00	K2+070.00	-
K2+070.00	K2+162.00	6"	K2+070.00	K2+161.00	-
K2+162.00	K2+291.00	4"	K2+161.00	K2+290.00	4"
K2+291.00	K2+321.50	-	K2+259.50	K2+290.00	4"
K2+321.50	K2+402.00	-	K2+318.50	K2+402.00	6"
K2+402.00	K3+017.00	4"	K2+403.00	K3+018.00	4"
K3+017.00	K3+132.00	-	K3+018.00	K3+132.00	-
K3+132.00	K3+502.00	4"	K3+132.00	K3+502.00	4"
K3+502.00	K3+635.01	4"	K3+502.00	K3+635.01	-
K3+635.01	K3+646.00	6"	K3+635.01	K3+646.00	-
K3+646.00	K3+712.00	6"	K3+649.00	K3+715.00	6"
K3+712.00	K3+615.00	-	K3+715.00	K3+812.00	4"
K3+615.00	K3+690.00	4"	K3+811.00	K3+886.00	4"
K3+690.00	K3+712.00	-	K3+886.00	K3+908.00	4"
K3+712.00	K3+750.00	4"	K3+908.00	K3+946.00	4"
K3+750.00	K3+802.00	-	K3+946.00	K3+998.00	-
K3+802.00	K3+820.74	-	K3+998.00	K4+016.74	4"
K3+820.74	K4+060.00	-	K4+016.74	K4+078.00	6"

FILTROS					
SUBDRENAJE CALZADA DERECHA			SUBDRENAJE CALZADA IZQUIERDA		
ABSCISA DISEÑO		DIÁMETRO TUBERÍA	ABSCISA DISEÑO		DIÁMETRO TUBERÍA
DE	A		DE	A	
K4+060.00	K4+092.00	-	K4+078.00	K4+110.00	4"
K4+092.00	K4+180.84	-	K4+110.00	K4+198.84	6"
K4+180.84	K4+253.00	-	K4+198.84	K4+261.00	4"
K4+253.00	K4+356.89	-	K4+261.00	K4+364.89	6"
K4+365.89	K4+433.00	4"	K4+365.89	K4+433.00	4"
K4+433.00	K4+501.22	6"	K4+433.00	K4+501.22	6"
K4+502.22	K4+542.00	4"	K4+502.22	K4+542.00	4"
K4+542.00	K4+590.00	-	K4+542.00	K4+590.00	4"
K4+587.00	K4+741.00	4"	K4+587.00	K4+741.00	4"
K4+741.00	K4+823.00	-	K4+741.00	K4+823.00	4"
K4+823.00	K4+948.17	-	K4+823.00	K4+948.17	6"
K4+948.17	K5+011.00	-	K4+951.17	K5+011.00	4"
K5+011.00	K5+536.91	4"	K5+011.00	K5+536.91	4"
K5+529.91	K5+569.00	6"	K5+529.91	K5+569.00	6"
K5+569.00	K5+593.00	-	K5+569.00	K5+593.00	-
K5+593.00	K5+652.00	-	K5+595.00	K5+652.00	4"
K5+653.00	K5+755.00	6"	K5+652.00	K5+755.00	-
K5+755.00	K5+801.00	-	K5+755.00	K5+801.00	4"
K5+801.00	K5+860.00	4"	K5+801.00	K5+860.00	4"
K5+860.00	K5+896.00	-	K5+860.00	K5+896.00	-
K5+896.00	K5+926.00	-	K5+896.00	K5+926.00	4"
K5+926.00	K5+980.00	4"	K5+922.00	K5+976.00	4"
K5+980.00	K6+090.00	4"	K5+976.00	K6+090.00	-
K6+090.00	K6+200.00	-	K6+090.00	K6+200.00	-
K6+200.00	K6+257.00	-	K6+197.00	K6+257.00	4"
K6+257.00	K6+291.00	-	K6+257.00	K6+291.00	-
K6+296.00	K6+376.00	4"	K6+291.00	K6+376.00	-
K6+376.00	K6+467.00	6"	K6+376.00	K6+463.00	-
K6+467.00	K6+536.00	-	K6+463.00	K6+532.00	4"
K6+536.00	K6+569.00	4"	K6+531.00	K6+564.00	4"
K6+569.00	K6+605.86	4"	K6+564.00	K6+600.86	-
K6+605.86	K6+652.00	6"	K6+600.86	K6+646.00	-
K6+652.00	K6+676.00	-	K6+646.00	K6+670.00	-
K6+676.00	K6+707.09	-	K6+670.00	K6+701.09	4"

FILTROS					
SUBDRENAJE CALZADA DERECHA			SUBDRENAJE CALZADA IZQUIERDA		
ABSCISA DISEÑO		DIÁMETRO TUBERÍA	ABSCISA DISEÑO		DIÁMETRO TUBERÍA
DE	A		DE	A	
K6+707.09	K6+742.00	-	K6+696.09	K6+742.00	6"
K6+777.00	K06+874.195	4"	K6+777.00	K6+874.195	4"

AIM-INF-H&H-SUROESTE

VERSIÓN 0

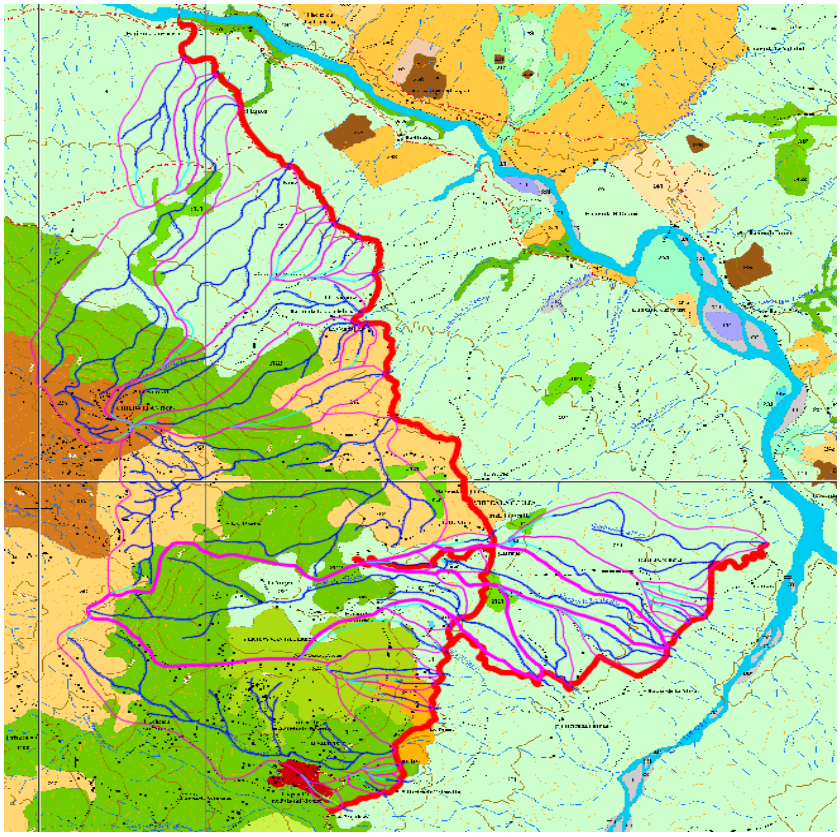
INGENIEROS CIVILES S.A.S

ISO 9001 icontec SC 2477-1

CERTIFIED IQNet MANAGEMENT SYSTEM

CONSULTORÍA PARA LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA POR EL SISTEMA DE VALORIZACIÓN.

ESTUDIO Y DISEÑO DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA SUROESTE
PUENTE IGLESIAS -LA Y- EL LIBANO
LA LORENA- MARATÓN – CASA BLANCA -LA VIRGEN



CONTRATANTE:

GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA

PIENSA EN GRANDE

Carrera 81A No. 49 – 75
Conmutador: 440 00 40
Email: gtec1@aimingenieros.com.co
Medellín, mayo de 2018

ARREDONDO MADRID INGENIEROS CIVILES S.A.S
(AIM S.A.S)

CONTRATO N. 4600007123 DE 2017

CONSULTORÍA PARA LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA POR EL SISTEMA DE VALORIZACIÓN.

INFORME HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA SUROESTE

AIM-INF-H&H-SUROESTE

VERSIÓN 0

VIGENCIA DESDE 29 DE SEPTIEMBRE DE 2017

SISTEMA DE GESTIÓN	INFORME HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA SUROESTE	
Elaborado por: Ingeniera Gloria Jenny Mejía Sierra. I.C.,M.I.-Aprovechamiento en Recursos Hidraulicos.	Fecha: mayo de 2018	Firma:
Revisado por: Ingeniera Gloria Jenny Mejía Sierra. I.C.,M.I.-Aprovechamiento en Recursos Hidraulicos.	Fecha: mayo de 2018	Firma:
Aprobado por: Ingeniera Beatriz Elena Acosta Ángel Directora del proyecto	Fecha: mayo de 2018	Firma:

TABLA DE CONTENIDO

1. INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL ÁREA DE HIDRÁULICA, HIDROLOGÍA Y SOCAVACIÓN 7

1.1 INTRODUCCIÓN 7

1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES 10
1.2.1 Objetivos 10
1.2.2 Alcances 11

2. CONTENIDO MÍNIMO DEL ENTREGABLE CORRESPONDIENTE AL ÁREA DE HIDRÁULICA, HIDROLOGÍA Y SOCAVACIÓN 12

2.1 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE 12
2.1.1 Información Primaria 12
2.1.2 Información Secundaria 12

2.2 METODOLOGÍA 17
2.2.1 Definición de las Corrientes Permanentes 18
2.2.2 Períodos de Retorno 21
2.2.3 Metodología para el Cálculo del Tiempo de Concentración 21
2.2.4 Metodología para el Cálculo de los Caudales de Creciente en Cuencas con Corriente Permanente y Áreas Aferentes (con Información Escasa) 23

2.3 ANÁLISIS DE REGISTROS HISTÓRICOS DE PRECIPITACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO 27
2.3.1 Cálculo de la Intensidad de Precipitación 27
2.3.2 Caracterización del Régimen de Precipitación 29

2.4 ESTUDIO HIDROLÓGICO 31

2.5 JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA 32

2.6 ESTUDIO HIDRÁULICO Y DRENAJE SUB-SUPERFICIAL 33
2.6.1 Metodología 33
2.6.2 Justificación de la Metodología Propuesta 42
2.6.3 Diagnóstico General de la Vía 42
2.6.4 Evaluación y Diseño de Obras de Drenaje 47
2.6.5 Sectorización Drenaje Vía 64
2.6.6 Evaluación y Diseño de Obras de Cruce en Corrientes 67
2.6.7 Cálculo del Espesor de la Lámina de Agua – Hidroplaneo 75

2.7 ESTUDIO DE SOCAVACIÓN Y APLICACIÓN TEORÍAS DE SOCAVACIÓN 76
2.7.1 Metodología 76
2.7.2 Resultados de Socavación 78

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 79

3.1 ESTUDIO HIDROLÓGICO 79

3.2 ESTUDIO HIDRÁULICO 80

4. BIBLIOGRAFÍA 86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información General de las Estaciones de Incidencia en la Zona de Estudio 14
Tabla 2. Reclasificación Usos del Suelo 15
Tabla 3. Listado de Corrientes Permanentes en el Corredor Vial Puente Iglesias- La Y, La Y- El Líbano y Ramales 18
Tabla 4. Cantidad de Obras Existentes y Proyectadas en el Corredor Vial Puente Iglesias-La Y, La Y-El Líbano 44
Tabla 5. Cantidad de Obras Existentes y Proyectadas en el Corredor Vial La Virgen-Casablanca 45
Tabla 6. Cantidad de Obras Existentes y Proyectadas en el Corredor Vial La Lorena-Maratón 46
Tabla 7. Resumen Obras de Drenaje Existentes y Proyectadas en la Zona de Estudio, Puente Iglesias-La Y, La Y– El Líbano 50
Tabla 8. Resumen Obras de Drenaje Existentes y Proyectadas en la Zona de Estudio, Vía La Virgen-Casablanca 58
Tabla 9. Resumen Obras de Drenaje Existentes y Proyectadas en la Zona de Estudio, Vía La Lorena-Maratón 59
Tabla 10. Dimensiones para Cuneta Triangular Proyectada en Concreto 65
Tabla 11. Dimensiones para Cuneta Rectangular Proyectada en Concreto 65
Tabla 12. Resumen Obras con Corriente Permanente en la Zona de Estudio, Tramo1: Puente Iglesias-La Y, La Y– El Líbano 68
Tabla 13. Resumen Obras con Corriente Permanente en la Zona de Estudio, Vía La Virgen-Casablanca 73
Tabla 14. Resumen Obras con Corriente Permanente en la Zona de Estudio, Tramo 3: Acceso a Fincas hacia Pacífico II 73
Tabla 15. Resumen Obras con Corriente Permanente en la Zona de Estudio, Tramo1: Puente Iglesias-La Y, La Y– El Líbano 74
Tabla 16. Resumen Obras con Corriente Permanente en la Zona de Estudio, Vía La Virgen-Casablanca 75
Tabla 17. Resumen Obras con Corriente Permanente en la Zona de Estudio, Vía La Lorena-Maratón 75
Tabla 18. Cantidad de Obras Existentes y Proyectadas en el Corredor Vial Puente Iglesias-La Y, La Y-El Líbano 80

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización General del Proyecto (Tomada de Google Earth, Fecha de Actualización Imagen: octubre de 2017) 8
Figura 2. Mapa Usos del Suelo Zona de Estudio 16
Figura 3. Curva IDF – Estación Climatológica Ordinaria Hacienda Túnez 29
Figura 4. Curva IDF – Estación Climatológica Ordinaria La Granja Nacional 29
Figura 5. Curva IDF – Estación Pluviométrica El Dique 29
Figura 6. Distribución de Precipitación Mensual Promedio – Estación Hacienda Túnez 30
Figura 7. Distribución de Precipitación Mensual Promedio – Estación La Granja Nacional 30
Figura 8. Distribución de Precipitación Mensual Promedio – Estación El Dique 30
Figura 9. Alternativas para Localización en Planta de Alcantarillas (Fuente: INVÍAS, 2011) 63
Figura 10. Esquema de la Sección de Cuneta proyectada en Concreto 66

1. INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL ÁREA DE HIDRÁULICA, HIDROLOGÍA Y SOCAVACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

La empresa ARREDONDO MADRID INGENIEROS CIVILES S.A.S. realiza a nivel de consultoría los "ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA POR EL SISTEMA DE VALORIZACIÓN", donde se pretende la activación de importantes procesos de conectividad en las subregiones del Departamento de Antioquia, por el sistema de valorización.

En particular los tramos viales definidos así:

- Puente Iglesias-Líbano
- El Rodeo-Córdova.
- San Jerónimo-Loma Hermosa

El presente capítulo abarca la componente hidrológica, hidráulica y de socavación del diseño de las obras de drenaje tanto mayores como menores requeridas para garantizar el adecuado drenaje de la vía y evitar impactos a los usuarios que la transitan; el presente informe corresponde al tramo de vía Puente Iglesias – La Ye, La Ye – El Líbano y consiste en realizar los estudios y diseños de la vía en una longitud 2,04 kilómetros y 13,29 kilómetros respectivamente, y dos ramales conocidos como La Virgen – Casablanca en una longitud de 3,14 kilómetros y hacia la Concesión Pacífico II (La Lorena-Maratón) en una longitud de 6,94 kilómetros, suroeste antioqueño; en la **Figura 1** se puede observar la localización de la zona de estudio donde se aprecia la vía proyectada en color rojo.

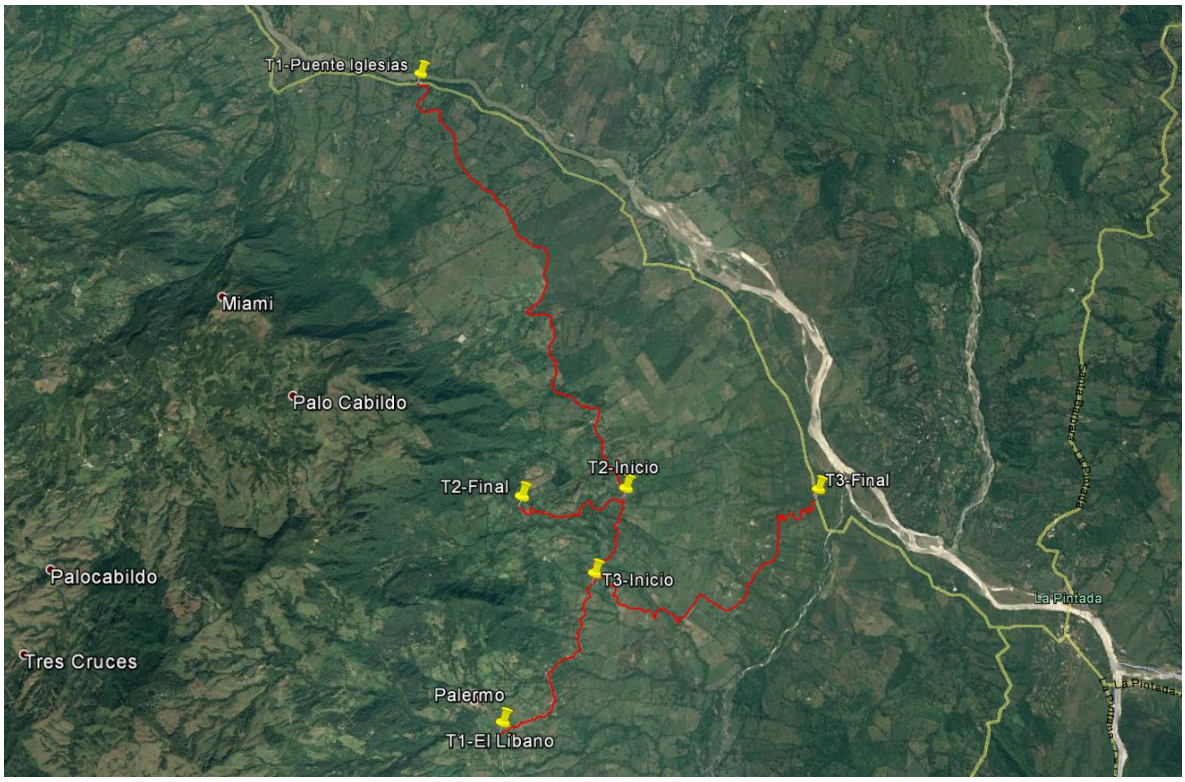


Figura 1. Localización General del Proyecto (Tomada de Google Earth, Fecha de Actualización Imagen: octubre de 2017)

Para el estudio hidrológico se contó con información de precipitación en las siguientes tres estaciones: El Dique, Hacienda Túnez y La Granja Nacional, las cuales se localizan cerca al tramo en estudio e inciden en las cuencas en estudio; el periodo de registro de todas las estaciones supera los 20 años de medición.

Posteriormente, se identificaron las corrientes que cruzan la vía proyectada con ayuda de material cartográfico y con el levantamiento topográfico local, donde se pudo notar que la vía cuenta con obras de drenaje y el corredor Puente Iglesias-La Ye-El Líbano es cruzado por 24 caños con agua, 39 corrientes intermitentes y 58 quebradas, entre ellas las más importantes la quebrada La Vainillala, quebrada La Virgen, quebrada La Oculta, quebrada El Cerro y quebrada La Yarumala, las obras de estas corrientes se evalúan y se diseñan dentro del presente estudio. El tramo La Virgen-Casablanca es cruzado por un cauce intermitente y tres quebradas, entre ellas están la quebrada La Virgen y quebrada La Oculta; y finalmente para el tramo La Lorena-Maratón se tiene que este corredor cruza por 6 caños con agua, 6 cauces intermitentes y 9 quebradas, entre ellas quebrada La Oculta y quebrada La Virgen. Las estructuras planteadas permitirán la adecuada conducción del flujo una vez se realice la pavimentación de la vía proyectada.

Para facilitar la lectura del informe, este se ha estructurado en dos capítulos y diez anexos, descritos así:

Capítulo 1. Información necesaria para el área de hidráulica, hidrología y socavación.

Capítulo 2. Contenido mínimo del entregable correspondiente al área de hidrología, hidráulica y socavación y que contiene:

- Estudio hidrológico de cuencas y áreas aferentes a obras de cruce, metodología y resultados obtenidos.
- Estudio hidráulico de obras mayores y menores, metodología y resultados obtenidos.
- Estudio de socavación a la salida de obras y en puentes, metodología y resultados obtenidos.
- Conclusiones y recomendaciones.
- Bibliografía.

Anexo A. Plano con la localización de la vía, las cuencas y los polígonos de Thiessen.

Anexo B. Resultados del estudio hidrológico.

Anexo C. Diagnóstico obras de drenaje.

Anexo D. Resultados del diseño de las obras hidráulicas.

Anexo E. Resultados de la modelación hidráulica en el software HY-8 para las obras proyectadas en el corredor vial.

Anexo F. Resultados de la modelación hidráulica en el software HEC-RAS para las corrientes localizadas en el corredor vial.

Anexo G. Plano con la planta-perfil general de las obras de cruce tanto de drenaje como cruzadas por corriente permanente y con las obras menores tipo cuneta y filtro.

Anexo H. Plano con los detalles y notas generales.

Anexo I. Informe y planos planta-perfil de puentes.

1.2 OBJETIVOS Y ALCANCES

En este capítulo se describen los objetivos que tiene el presente informe y se delimitan los alcances que tienen los estudios y diseños realizados.

1.2.1 Objetivos

1.2.1.1 Objetivo General

Realizar el estudio hidrológico, hidráulico y de socavación de las obras de drenaje mayores y menores, requeridas en el corredor vial Puente Iglesias – El Líbano y dos ramales adicionales que se encuentra actualmente en estudios para fase de pavimentación en el suroeste del departamento de Antioquia; garantizando la durabilidad y el correcto funcionamiento de la vía en las condiciones propuestas.

1.2.1.2 Objetivos Específicos

- Describir la zona desde el punto de vista del sistema de drenaje.
- Caracterizar el régimen de precipitación de la zona de estudio, identificando las estaciones climatológicas e hidrométricas de la zona de estudio.
- Revisar la cartografía y mapas de la zona.
- Identificar las cuencas de las corrientes que sean atravesadas por el corredor vial.
- Realizar el trazado de las áreas aferentes y cuencas a cada una de las obras hidráulicas y corrientes permanentes que hacen parte de este estudio.
- Realizar el análisis de patrones de drenaje, la clasificación de la corriente de acuerdo a los parámetros de forma.
- Determinar los parámetros morfométricos principales de cada una de las áreas aferentes y cuencas hasta el sitio de interés.
- Determinar los caudales máximos para las cuencas con corriente permanente y para las áreas aferentes en estudio asociados a los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

- Diseñar hidráulicamente las obras de drenaje mayores (alcantarillas circulares, box culverts) proyectados en la vía.

- Realizar la modelación hidráulica para las obras de cruce proyectadas en el corredor vial.

- Evaluar la profundidad de socavación de las obras de drenaje y de las obras mayores y realizar un análisis de geomorfología y dinámica fluvial de las corrientes.

- Diseñar hidráulicamente los canales o estructuras de disipación a la salida de las obras.

- Diseñar hidráulicamente las estructuras laterales de drenaje superficial requeridas tipo cunetas, canales y filtros.

- Realizar el cálculo de hidroplaneo entre obras de cruce y cajas proyectadas propuestas a lo largo del corredor vial.

- Realizar el diseño de obras de drenaje necesarias en taludes para conducir el agua de escorrentía superficial hacia la parte inferior de estos.

- Dar las recomendaciones pertinentes desde el punto de vista de drenaje, teniendo en cuenta para ello la sectorización realizada la cual permitió identificar las obras hidráulicas requeridas para conducir adecuadamente el flujo sin afectar la estructura proyectada.

1.2.2 Alcances

El alcance de los anteriores objetivos tiene claramente definidas las escalas espacial y temporal como se muestra a continuación:

A escala espacial el estudio se limita al punto de cierre de las cuencas de los cruces sobre la vía proyectada y sus zonas complementarias. Incorpora, por lo tanto:

- Obras menores de drenaje y drenaje de la corona.
- Obras complementarias para el drenaje de la vía como cunetas y estructuras de caída.

- Zonas especiales como áreas inestables, taludes adyacentes, zonas de disposición de material, etc. que se involucren dentro del proyecto como solución.

A escala temporal, el análisis hidrológico cubre la totalidad de la serie histórica de las estaciones empleadas y solicitadas al IDEAM en octubre del año 2017. Las longitudes de los registros históricos considerados son suficientemente extensas para abarcar períodos húmedos o de año Niña y secos o de año Niño.

2. CONTENIDO MÍNIMO DEL ENTREGABLE CORRESPONDIENTE AL ÁREA DE HIDRÁULICA, HIDROLOGÍA Y SOCAVACIÓN

2.1 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

La información básica necesaria para la elaboración del estudio hidrológico e hidráulico se clasifica en: primaria y secundaria; la primera corresponde a la información recolectada en campo. La segunda corresponde a la información existente, ya sea suministrada por el ente contratante o investigada por el Consultor. A continuación, se describe cada una de ellas, aplicada al estudio.

2.1.1 Información Primaria

Como información primaria se tienen las visitas de campo y el levantamiento topográfico.

- **Visitas de Campo:** En la zona de estudio se realizaron visitas de campo durante los meses de septiembre y octubre del año 2017, la primera fue de reconocimiento; las siguientes visitas se realizaron con el equipo de ingenieros para establecer el diseño de detalle del tramo de vía.

- **Levantamiento Topográfico:** Se cuenta con el levantamiento topográfico del corredor vial en el tramo de estudio elaborado en los meses de octubre y noviembre de 2017, sobre este levantamiento topográfico se incluyen los cauces existentes, obras de drenaje, paramentos.

2.1.2 Información Secundaria

Se consultó, revisó y seleccionó la información secundaría disponible como información cartográfica e hidrometeorológica.

2.1.2.1 Información Cartográfica Disponible

Para la elaboración del estudio hidrológico se utilizaron los siguientes dos tipos de planchas: 166-III-B, 166-III-D, 166-IV-A y 166-IV-C en escala 1:25.000 elaboradas en el año 2007 y realizadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Así mismo se verificó el corredor vial en estudio, con imágenes de Google Earth en el que se identifican a detalle corrientes que la cartografía no muestra y que fueron evaluados para el diseño de las obras.

2.1.2.2 Información Hidrometeorológica Disponible

Se consultó, revisó y seleccionó la información hidrometeorológica actualizada en el IDEAM y la cartografía existente para la zona de estudio.

Con ayuda del catálogo de estaciones hidrometeorológicas del Departamento de Antioquia, se identificaron las siguientes tres estaciones de lluvia cercanas al corredor de la vía proyectada; estas son: Las estaciones climatológicas ordinarias Hacienda Túnez y La Granja Nacional y la estación pluviométrica El Dique. Para determinar la incidencia de las estaciones meteorológicas en la zona de estudio se determinaron los polígonos de Thiessen que indican la influencia de cada estación en la zona, estos polígonos se pueden observar en el **Anexo A** donde se aprecia la localización de estas estaciones identificadas en la zona y las corrientes permanentes, y a continuación, en la **Tabla 1** se muestra la información de estas estaciones pertenecientes al IDEAM.

Una vez definidos los polígonos de Thiessen se pudo notar la incidencia de las estaciones en el tramo; por otra parte, es importante mencionar que las corrientes en estudio no cuentan con estaciones con registros de caudales máximos instantáneos, por tal motivo se realizará el estudio considerando métodos lluvia-escorrentía que serán definidos en apartados posteriores.

Tabla 1. Información General de las Estaciones de Incidencia en la Zona de Estudio

Código	Tipo	Nombre Estación	Entidad	Coordenadas*		Elevación	Información que Posee	Longitud de Registro	Precipitación Máxima de 24 horas	Número de Días con Lluvia al Año	Precipitación Media Anual
				Este	Norte	m.s.n.m.		Años	mm	días	mm
26175040	CO	Hacienda Túnez	IDEAM	1158393.611	1133034.402	604	M, N y PT	41 (1975-2017)	70.96	168	1875.40
26175030	CO	La Granja Nacional	IDEAM	1153990.466	1123851.25	1153	M, N y PT	41 (1977-2017)	78.97	198	2408.70
26170190	PM	El Dique	IDEAM	1150344.988	1133414.068	1140	M, N y PT	47 (1971 - 2017)	87.64	143	2577.60

Donde:

PM: Estación Pluviométrica.

CO: Estación Climatológica Ordinaria.

M: Precipitación máxima en 24 horas.

N: Número de días con lluvia.

PT: Precipitación promedia multianual.

* Sistema coordenado MAGNA SIRGAS Origen Oeste.

2.1.2.3 Mapas de Usos del Suelo

Del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras (I.G.A.C, 2007) se disponen de mapas en escala 1:25.000 con las coberturas actualizadas en Antioquia en el año 2007, estos mapas fueron generados a partir de imágenes de sensores remotos en escala 1:30000 y 1:60000. En estos mapas se superpuso la cuenca en interés y se definieron los usos del suelo. A continuación en la **Tabla 2** se puede ver la reclasificación de los usos del suelo agrupado de acuerdo a los usos del suelo que presenta Ven Te Chow (Chow et al., 1994), los mapas de usos del suelo se pueden observar en el **Anexo A**, y en la **Figura 2** se puede observar el mapa de usos del suelo de la zona de estudio.

Tabla 2. Reclasificación Usos del Suelo

Código Plancha I.G.A.C.	Tipo Suelo	Reclasificación
3121-3122	Bosques Natural Fragmentado, con arbustos y matorrales	Bosques
322	Áreas con vegetación herbáceo y/o arbustiva	Bosques
111	Tejido urbano continuo	Urbano
225	Cultivos permanentes, Café	Cultivos
231	Pastos Limpios	Pastos Buenos
242-244	Mosaico de cultivos	Cultivos
512	Lagunas, lagos y ciénagas	Urbano

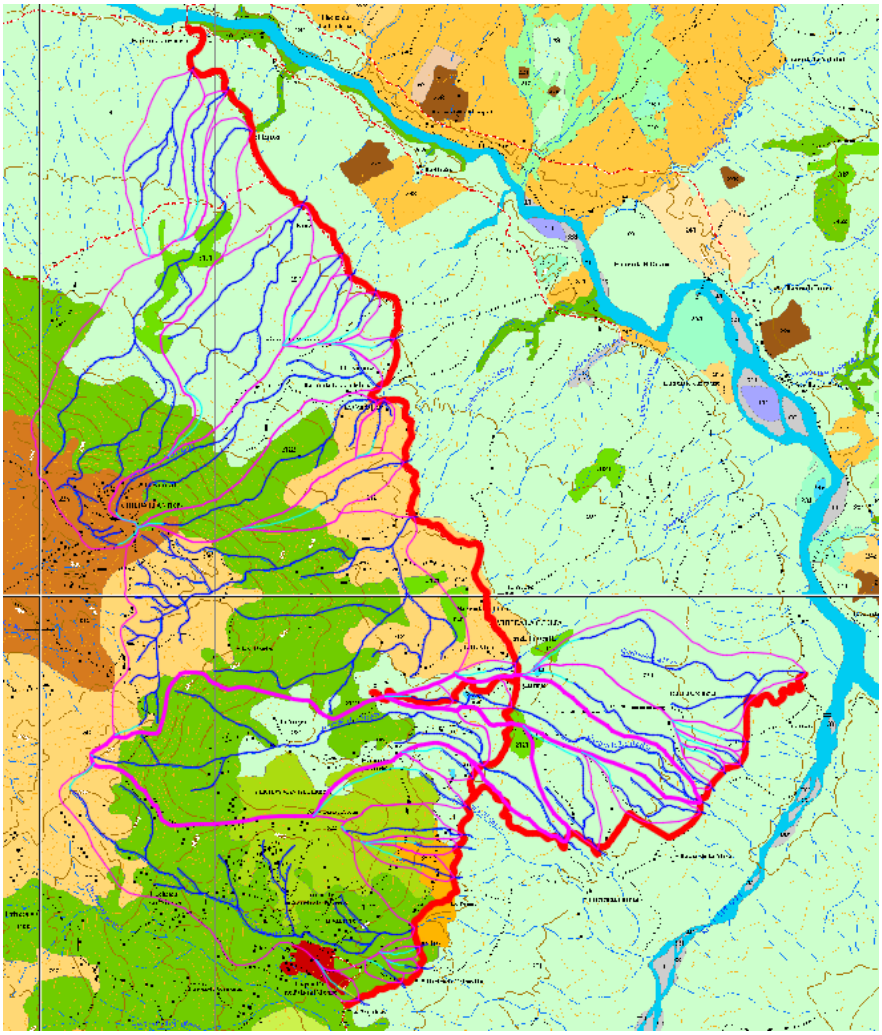


Figura 2. Mapa Usos del Suelo Zona de Estudio

2.1.2.1 Diseño Geométrico

AIM S.A.S. realizó el diseño geométrico de la vía y que tiene una longitud de 2,04 km para el tramo Puente Iglesias-La Ye, 13,29 km para el tramo La Ye-El Líbano, 3,14 km para el tramo La Virgen-Casablanca y 6,94 km para el ramal La Lorena-Maratón, el diseño contienen planta, perfil, peraltes y secciones de la obra proyectada. La ubicación de estas obras se puede observar en el **Anexo G**.

2.1.2.2 Estudios e Informes Previos

Del tramo de vía en estudio no se encontraron estudios previos de hidrología, hidráulica o geotecnia de las obras o corrientes existentes que cruzan el corredor.

2.2 METODOLOGÍA

En este numeral se hace una descripción general de los aspectos más importantes evaluados en lo referente a la metodología empleada en la elaboración de los estudios específicos y la forma general en que ellos se abordaron.

- Se realizaron visitas de campo para reconocer el trazado de la vía con miras a verificar el tipo de obras de drenaje existentes en el corredor vial, cabe mencionar que la calzada atraviesa la vía existente entre Puente Iglesias y El Líbano en un tramo de 15,50 km donde atraviesa 26 quebradas, el tramo que comunica a las fincas de la parte superior del sector conocido como La Virgen (2,20 km de vía) atraviesa una corriente permanente, y el ramal que va a la vía de Pacífico II en una longitud de 6,80 km aproximadamente atraviesa 9 corrientes permanentes con su respectiva obra de cruce, basados en estas obras y verificando si se encuentran estructuralmente en buen estado, se procedió a definir el tipo de estructura hidráulica que se debía diseñar en cada sitio de cruce.
- Se determinaron los parámetros morfométricos de las cuencas y áreas aferentes en estudio hasta el sitio de interés.
- Se estimaron los caudales para las obras de drenaje menores y mayores. Se designan como obras menores las cunetas, filtros, las alcantarillas que no son cruzadas por corrientes de agua permanente y como obras mayores las estructuras que drenan agua de corrientes permanentes tipo alcantarilla de cajón, pontones y puentes.
- Se efectuó el diseño hidráulico de las obras de cruce considerando la localización de las corrientes permanentes y los chaflanes del corredor vial para así determinar su capacidad y su funcionamiento.
- Se evaluó la profundidad de socavación de las corrientes permanentes y la socavación de las obras de cruce propuestas.
- Se proyectaron obras de drenaje superficial tipo cuneta vial, filtros, cárcamos, cunetas en bermas y filtros en el tramo de estudio.

En los siguientes numerales se describe la metodología empleada para el estudio hidrológico y el diseño hidráulico de las obras propuestas.

2.2.1 Definición de las Corrientes Permanentes

En la cartografía 1:25.000 del I.G.A.C. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) se identificaron varios cruces de corrientes en el corredor existente. Estos cruces se estudiaron como corrientes permanentes, sin embargo, se tuvo en cuenta que en toda cuenca menor de 2,50 km² de área, los caudales máximos se estimarían a partir de la Ecuación Racional, para el tramo de estudio no se encontraron cuencas mayores al área mencionada. Para cuencas mayores se emplearon métodos precipitación-escorrentía donde se incluyen las hidrógrafas unitarias y la Ecuación Racional. Las corrientes permanentes encontradas a lo largo del tramo de estudio se listan a continuación en la **Tabla 3**. Las celdas resaltadas en azul corresponden a las corrientes que poseen áreas de drenaje superiores a 2.5 km².

Tabla 3. Listado de Corrientes Permanentes en el Corredor Vial Puente Iglesias- La Y, La Y- El Líbano y Ramales

Vía: Puente Iglesias-La Y	
Abscisa	**Nombre de la Quebrada**
	Caño con agua No.1
	Caño con agua No.2
K0+288.00	Qda. Sin Nombre No. 1
K0+400.00	Qda. Sin Nombre No. 2
K0+595.00	Qda. Sin Nombre No. 3

Vía: Puente Iglesias-La Y	
Abscisa	**Nombre de la Quebrada**
K0+880.00	Qda. Sin Nombre No. 4
K1+092.00	Qda. Sin nombre No.5
K1+450.00	Qda. Sin nombre No.6
K1+590.00	Caño con agua No.3

Vía: La Y– El Líbano	
Abscisa	**Nombre de la Quebrada**
K0+285.00	Qda. Sin nombre No.7
K0+535.00	Qda. Sin nombre No.8
K1+101.00	Caño con agua No.4
K1+159.00	Caño con agua No.5
K1+291.00	Qda. Sin nombre No.9
K1+590.00	Qda. Sin nombre No.10
K1+644.00	Caño con agua No.6
K1+830.00	Caño con agua No.7
K1+915.00	Qda. Sin nombre No.11
K2+633.00	Qda. Sin nombre No.12
K3+071.00	Caño con agua No.8

Vía: La Y– El Líbano	
Abscisa	**Nombre de la Quebrada**
K3+117.00	Caño con agua No.9
K3+287.00	Qda. La Vainillala
K3+477.00	Qda. Sin nombre No.13
K3+600.00	Qda. Sin nombre No.14
K3+905.00	Caño con agua No.10
K4+025.00	Caño con agua No.11
K4+236.00	Caño con agua No.12
K4+477.00	Qda. Sin nombre No.15
K4+637.00	Qda. Sin nombre No.16
K5+222.00	Qda. Sin nombre No.17
K5+279.00	Qda. Sin nombre No.18

Vía: La Y– El Líbano	
Abscisa	**Nombre de la Quebrada**
K5+316.00	Qda. Sin nombre No.19
K5+405.00	Qda. Sin nombre No.20
K5+677.00	Qda. Sin nombre No.21
K5+834.00	Caño con agua No.13
K5+852.00	Caño con agua No.14
K6+043.00	Caño con agua No.15
K6+092.00	Caño con agua No.16
K6+149.00	Caño con agua No.17
K6+354.00	Qda. Sin nombre No.22
K6+625.00	Qda. Sin nombre No.23
K6+830.00	Caño con agua No.18
K6+974.00	Qda. Sin nombre No.24
K7+107.00	Qda. Sin nombre No.25
K7+120.00	Caño con agua No.19
K7+139.00	Caño con agua No.20
K7+167.00	Caño con agua No.21
K7+197.00	Qda. Sin nombre No.26
K7+557.00	Qda. Sin nombre No.27
K7+766.00	Caño con agua No.22
K7+900.00	Qda. Sin nombre No.28
K8+047.00	Qda. Sin nombre No.29
K8+288.00	Qda. Sin nombre No.30
K8+375.00	Qda. La Oculta
K8+536.00	Caño con agua No.23
K8+798.00	Qda. Sin nombre No.31
K8+820.00	Qda. Sin nombre No.32

Vía: La Y– El Líbano	
Abscisa	**Nombre de la Quebrada**
K8+968.00	Qda. Sin nombre No.33
K9+139.00	Qda. Sin nombre No.34
K9+340.00	Qda. La Virgen
K9+475.00	Qda. Sin nombre No.35
K9+884.00	Qda. El Cerro
K10+212.00	Caño con agua No.24
K10+258.00	Qda. Sin nombre No.36
K10+470.00	Qda. Sin nombre No.37
K10+497.00	Qda. Sin nombre No.38
K10+840.00	Qda. Sin nombre No.39
K11+145.00	Qda. Sin nombre No.40
K11+336.00	Qda. Sin nombre No.41
K11+395.00	Qda. Sin nombre No.42
K11+494.00	Qda. Sin nombre No.43
K11+685.00	Qda. Sin nombre No.44
K11+780.00	Qda. La Yarumala
K11+853.00	Qda. Sin nombre No.45
K12+001.00	Qda. Sin nombre No.46
K12+248.00	Qda. Sin nombre No.47
K12+375.00	Qda. Sin nombre No.48
K12+435.00	Qda. Sin nombre No.49
K12+596.00	Qda. Sin nombre No.50
K13+036.00	Qda. Sin nombre No.51
K13+135.00	Qda. Sin nombre No.52
K13+195.00	Qda. Sin nombre No.53

Vía: La Virgen-Casablanca	
Abscisa	**Nombre de la Quebrada**
K1+033.00	Qda. La Oculta
K2+140.00	Qda. Sin nombre No.1

Vía: La Virgen-Casablanca	
Abscisa	**Nombre de la Quebrada**
K2+760.00	Qda. La Virgen

Vía: La Lorena-Maratón	
Abscisa	**Nombre de la Quebrada**
K0+218.00	Qda. Sin nombre No.1
K1+873.00	Qda. La Virgen
K2+426.00	Qda. Sin nombre No.2
K3+526.00	Caño con agua No.1
K3+736.00	Caño con agua No.2
K3+908.00	Caño con agua No.3
K3+968.00	Qda. Sin nombre No.3
K4+100.00	Qda. La Oculta
K4+283.00	Qda. Sin nombre No.4
K4+454.00	Caño con agua No.4
K4+562.00	Qda. Sin nombre No.5
K4+764.00	Qda. Sin nombre No.6
K5+031.00	Qda. Sin nombre No.7
K5+136.00	Caño con agua No.5
K5+346.00	Caño con agua No.6

2.2.2 Períodos de Retorno

El INVÍAS considera los siguientes períodos de retorno en obras hidráulicas: cunetas 5 años, obras menores con diámetro o ancho menor a 0.90m 10 años, obras con diámetro o ancho mayor a 0.90m 20 años, puentes dependiendo de la luz 50 o 100 años. Sin embargo, el manual de drenaje deja abierta la posibilidad de cambiar estos períodos cuando existen razones para hacerlo. En el presente estudio y dada la importancia de la vía, se consideraron los períodos de retorno propuestos por el INVÍAS, exceptuando el periodo de diseño para cunetas establecido en 10 años y el de obras con diámetro mayor a 90 que se estimó en 25 años. Al ampliar estos períodos de retorno se tienen estructuras más seguras sin sobredimensionar las mismas.

2.2.3 Metodología para el Cálculo del Tiempo de Concentración

Para el cálculo del tiempo de concentración que define la intensidad de diseño, se emplearon las expresiones que se muestran a continuación (Vélez, 1997):

2.2.3.1 Ecuación de Témez

$$Tc = 0.30\left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración en horas.

L: Longitud del cauce principal en km.

S: Pendiente del cauce principal en %.

2.2.3.2 Ecuación de Kirpich (Tennessee)

$$Tc = \left[0.0078\left(\frac{L_m^{0.77}}{S_o^{0.385}}\right)\right]\left(\frac{1}{60}\right)$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración en horas.

Lm: Longitud máxima de flujo en pies.

Sm: Pendiente media del cauce principal a lo largo de la longitud máxima de flujo en m/m.

2.2.3.3 Ecuación de California Culvert Practice

$$Tc = 11.9\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración en horas.

L: Longitud del cauce principal en millas.

H: Diferencia de cotas entre el punto de interés y la divisoria en metros.

2.2.3.4 Ecuación de SCS - Ranser

$$Tc = 0.947\left(\frac{L_c^3}{H}\right)^{0.385}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración en horas.

Lc: Distancia desde el sitio de interés al punto en el cual la corriente principal corta la divisoria en km.

H: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente en metros.

2.2.3.5 Ecuación de Chow

$$Tc = 0.00116\left(\frac{L_m}{\sqrt{S_c/100}}\right)^{0.64}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración en horas.

L: Longitud del cauce principal en metros.

Sc: Pendiente media del cauce en %.

2.2.4 Metodología para el Cálculo de los Caudales de Creciente en Cuencas con Corriente Permanente y Áreas Aferentes (con Información Escasa)

Se realizó el estudio de caudales máximos para las cuencas y áreas aferentes a las obras de cruce en el corredor de estudio, se utilizó la topografía levantada, la cartografía en escala 1:25.000 del I.G.A.C y la información hidrometeorológica del departamento de hidrometría del IDEAM incidente sobre el área de estudio y se encontró que estas corrientes no cuentan con estaciones de medición de caudal, por tanto se decidió utilizar métodos lluvia-escorrentía, sin embargo, dado que las áreas aferentes y las áreas de cuencas son menores a 2,50 km² solo se hará uso de la Ecuación Racional, los modelos empleados se utilizan cuando no existe información de caudales en la corriente, se destacan los siguientes:

- Ecuación Racional utilizando los coeficientes de escorrentía del método original como lo propone Chow (1994).
- Hidrógrafas unitarias del Soil Conservation Service (SCS), Snyder, y Williams & Hann.

A continuación, se describe la metodología de cada uno de los métodos anteriormente mencionados:

2.2.4.1 Ecuación Racional

Para calcular los caudales de creciente asociados a los diferentes períodos de retorno se empleó la Ecuación Racional como la propone Ven Te Chow (Chow et al., 1994). El umbral de área y las condiciones de aplicabilidad de la Ecuación Racional han sido objeto de numerosas discusiones técnicas, inicialmente Kuickling en 1888 la concibió para drenajes en zonas urbanas con áreas relativamente pequeñas, pero estudios posteriores han avalado sus resultados en cuencas de áreas mayores; Chow recomienda para áreas hasta de 50 km^2; otros autores como (Maidment, 1993) reportan trabajos con la Ecuación Racional para cuencas hasta de 250 km^2. El Manual de Drenaje del INVÍAS recomienda su empleo para cuencas menores a 2,5 km^2, este es el criterio que se empleará en el presente estudio.

La expresión para esta ecuación es la siguiente (Chow, 1994):

$$Q = CIA$$

Donde:

Q: Caudal correspondiente al Período de diseño seleccionado.

I: Intensidad de la precipitación correspondiente al tiempo de concentración de diseño.

A: Área de drenaje.

C: Coeficiente de escorrentía del suelo que depende de los usos del suelo y del Periodo de retorno de diseño (Adi.).

La intensidad de precipitación corresponde a una duración igual al tiempo de concentración, para aquellas obras donde los tiempos de concentración fueron menores a 5 minutos se adoptó este valor como tiempo mínimo. El cálculo de la intensidad de precipitación puede consultarse en el **Anexo B.**

Para las cuencas menores a 2.5 km², el coeficiente de escorrentía se ponderó utilizando los coeficientes del método original como lo propone Chow et al. (1994) y considerando los usos del suelo de la zona de estudio.

Para las cuencas mayores se ponderó considerando los coeficientes de escorrentía de dos maneras diferentes: como lo reporta Chow et al. (1994) y como función del número de curva para una condición de humedad antecedente AMCII y AMCIII dado que se trata de una zona de pluviosidad media, para ello se tuvo en cuenta los porcentajes de uso del suelo y los coeficientes de escorrentía tabulados.

El coeficiente de escorrentía se ponderó utilizando los coeficientes del método original como lo propone Chow (1994) y considerando los usos del suelo de la zona de estudio. La expresión empleada para calcular el coeficiente en función del CN es la siguiente:

$$C = \frac{(P - I_a)^2}{P^2 + 4PI_a}$$

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía de la Ecuación Racional (SI).

P = Precipitación de diseño.

$$I_a = 0.2\,S \qquad\qquad S = 25{,}4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right)$$

Para la estimación del CN II se realizó una ponderación de los valores tabulados en Chow et al. (1994) para cada tipo de suelo, para el cálculo del CN III se hizo uso de la ecuación que depende del CN II y que se muestra a continuación:

$$CN\ III = \frac{23\ CN\ II}{10 + 0{,}13\ CN\ II}$$

2.2.4.2 Hidrógrafas Unitarias

Las hidrógrafas unitarias empleadas en el estudio hidrológico se describen a continuación:

- **Hidrógrafa Unitaria del Soil Conservation Service (SCS)**

Para calcular los caudales de diseño se empleó la hidrógrafa del Soil Conservation Service (SCS). La duración de la precipitación unitaria (du) se estableció según el criterio del SCS, en 0,133Tc; el valor del *Lag* para esta hidrógrafa es de 0,60Tc. Las hidrógrafas unitarias son métodos de cálculo de caudales generalmente empleados para cuencas de áreas mayores a 1,00 km^2, sin que este sea un concepto de cálculo excluyente. Se emplea para este caso una hidrógrafa sintética que convoluciona con la precipitación de diseño.

- **Hidrógrafa de Snyder**

Para la hidrógrafa de Snyder se utilizó la misma duración unitaria (du) propuesta para la hidrógrafa del SCS haciendo la corrección respectiva. Para el método se considera un valor del Cp (Coeficiente de Retención y Almacenamiento) de 0,80 para zonas de alta pendiente y de 0.67 en zonas baja pendiente y un valor del Ct (Coeficiente de topografía) de 1,20 recomendados en la literatura técnica para cuencas de alta pendiente y de 0.35 para cuencas de baja pendiente.

- **Hidrógrafa Unitaria del Soil Conservation Service (S.C.S.)**

Esta hidrógrafa se calculó a partir de la duración unitaria calculada para el SCS y descrita en el numeral anterior. A continuación, se describen las ecuaciones básicas del método.

Ecuaciones que determinan la forma del hidrograma:

$$U = U_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{n-1} e^{(1-n)(t/Tp-1)} \quad \text{Para } t <= to$$

$$U = U_o \, e^{((to - t)/K)} \quad \text{Para } to < t < t1$$

$$U = U_1 \, e^{((t1 - T)/3K)} \quad \text{Para } t > t1$$

Ecuaciones para los tiempos y los parámetros que definen el modelo:

$$K = 27\,A^{0.231} S_{cp}^{-0.777} \left(\frac{L_c}{W_e}\right)^{0.124}$$

$$n = 1 + \left\{\frac{1}{2}\left(\frac{K}{T_{op}}\right) + \left[\frac{1}{4}\left(\frac{K}{T_{op}}\right)^2 + \frac{1}{K/T_{op}}\right]^{1/2}\right\}^2$$

$$T_p = 4{,}63\,A^{0{,}22}\, S_{cp}^{-0{,}46} \left(\frac{L_c}{W_c}\right)^{-0{,}133}$$

$$t_o = T_p\left(1 + \left(\frac{1}{n-1}\right)^{1/2}\right)$$

$$t_1 = t_o + 2K$$

Donde:

K: Constante de recesión.

n: Parámetro de forma.

T_p: Tiempo al pico en horas.

A: Área de la cuenca en millas^2.

S_{cp}: Pendiente media del canal en pies/millas.

L_c/W_c: Relación largo – ancho de la cuenca adimensional.

2.3 ANÁLISIS DE REGISTROS HISTÓRICOS DE PRECIPITACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO

2.3.1 Cálculo de la Intensidad de Precipitación

En razón a que las estaciones de incidencia en el tramo de estudio correspondientes a las estaciones climatológicas ordinarias La Granja Nacional y Hacienda Túnez, y la estación

pluviométrica El Dique no poseen curvas IDF, se decidió emplear una metodología alterna con el objeto de obtener las intensidades de precipitación asociadas a los diferentes periodos de retorno, esta metodología se fundamenta en curvas sintéticas de Intensidad – Duración – Frecuencia. A partir de la información de las series de precipitación multianual se halló el promedio del valor máximo anual de precipitación diaria en la zona (M); Con las series del número de días mensuales de precipitación y valores mensuales de precipitación se hallaron: el promedio del número de días con lluvia al año (N) y la precipitación media multianual (PT).

A partir de esta información se desarrolló en un trabajo de maestría en la Universidad de los Andes, en este estudio se dedujeron ecuaciones típicas para el cálculo de la intensidad de precipitación en todas las regiones de Colombia, en este caso se usaron las ecuaciones de la zona denominada en este estudio como **Zona Andina**, la ecuación usada se presenta a continuación (Vargas, 1998):

Zona Andina: $$I = 1.61\left(\frac{T_r^{0.19}}{t_c^{0.65}}\right) M^{0.75} N^{-0.15} PT^{0.08} \quad - \quad Zona\ Andina$$

Donde:

I: Intensidad de lluvia en mm/h.

Tr: Período de retorno en años.

Tc: Duración de diseño en horas.

M: Promedio de valores máximos anuales de precipitación diaria en mm.

N: Promedio del número de días con lluvia al año.

PT: Precipitación promedia multianual en mm.

Empleando esta metodología y considerando la información hidrológica de la estación de incidencia, se aplicaron las ecuaciones correspondientes y se hallaron las curvas IDF sintéticas, que se pueden ver en la **Figura 3**.

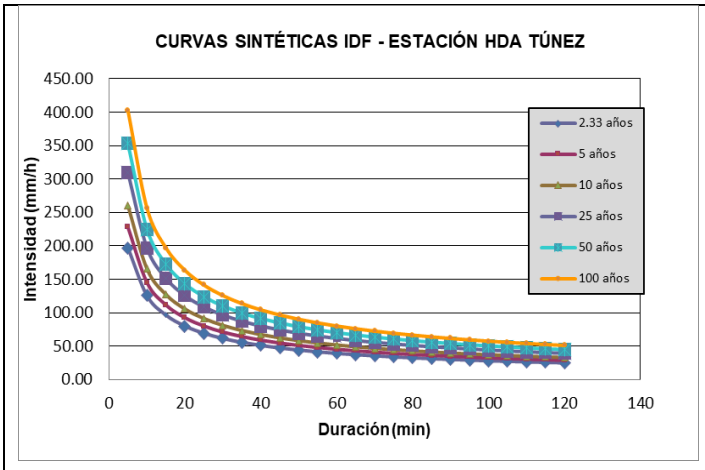


Figura 3. Curva IDF – Estación Climatológica Ordinaria Hacienda Túnez

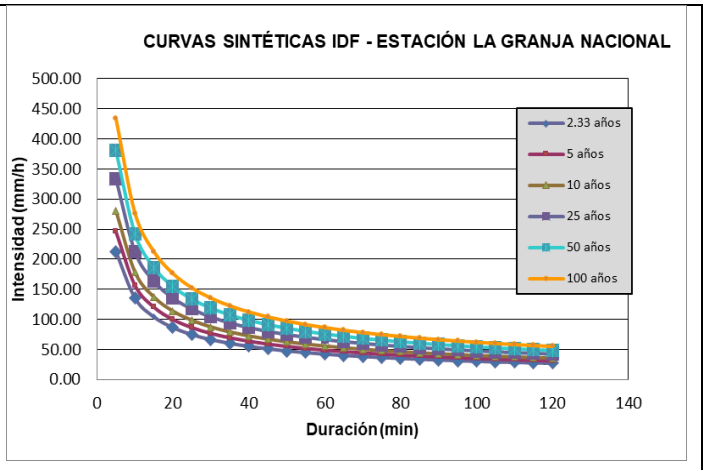


Figura 4. Curva IDF – Estación Climatológica Ordinaria La Granja Nacional

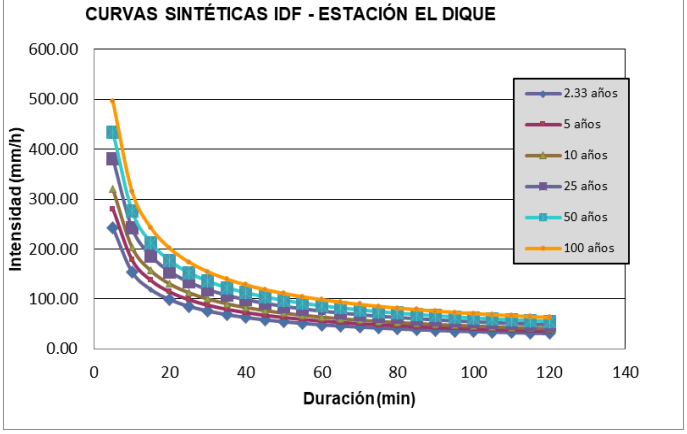


Figura 5. Curva IDF – Estación Pluviométrica El Dique

2.3.2 Caracterización del Régimen de Precipitación

La caracterización de la precipitación en la zona de estudio se realizó utilizando los registros mensuales de las estaciones de incidencia y los polígonos de Thiessen que se muestran en el **Anexo A**. A continuación, en la **Figura 6** se muestra la

distribución de la precipitación mensual promedio de las estaciones incidentes sobre las cuencas en estudio localizadas en el corredor vial.

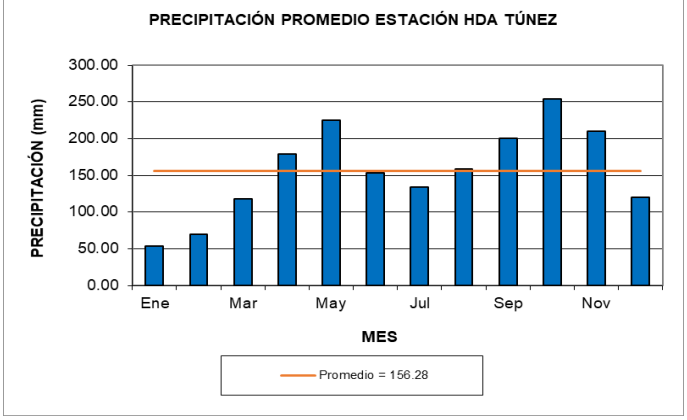


Figura 6. Distribución de Precipitación Mensual Promedio – Estación Hacienda Túnez

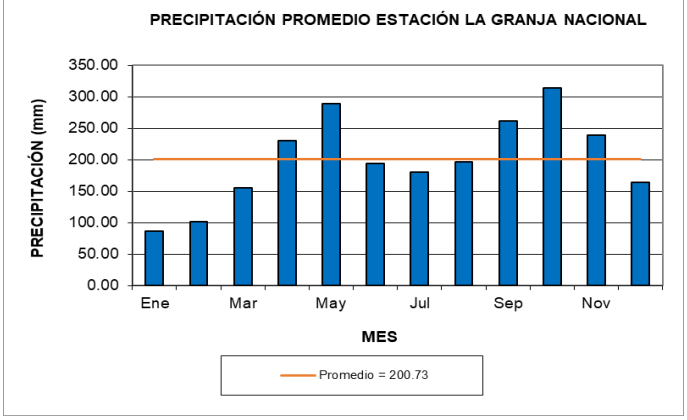


Figura 7. Distribución de Precipitación Mensual Promedio – Estación La Granja Nacional

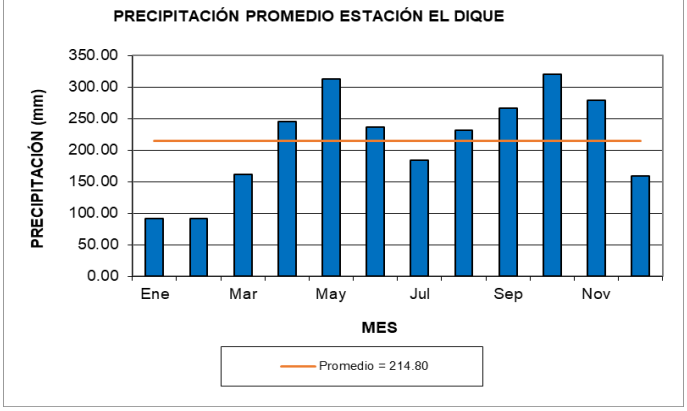


Figura 8. Distribución de Precipitación Mensual Promedio – Estación El Dique

De la figura anterior se puede establecer que el régimen de precipitación para la estación es bimodal, con dos periodos húmedos que fluctúan entre los meses de abril a junio y de agosto a noviembre; y dos periodos secos que fluctúan entre los meses de diciembre a marzo y en el mes de julio.

Siendo enero para todas las estaciones el mes más seco con un valor mínimo de 53.80mm en la estación Hacienda Túnez y un valor máximo dado generalmente en el mes de octubre de 319.80mm en la estación El Dique.

2.4 ESTUDIO HIDROLÓGICO

El estudio hidrológico tiene por objeto la estimación de los caudales máximos asociados a los diferentes periodos de retorno para las obras de cruce a la vía, tanto para aquellas que son atravesadas por corrientes permanentes como por aquellas obras que drenan el agua de escorrentía superficial; para ello se tuvieron en cuenta las áreas de cuencas y las áreas aferentes a las obras, estas fueron trazadas sobre la cartografía del I.G.A.C en escala 1:25.000. (Ver **Anexo A**).

Para el tramo de estudio (Puente Iglesias-La Y, La Y- El Líbano) se encontraron en la cartografía del I.G.A.C. 78 corrientes permanentes de área menor a 2.50 km², y 4 corrientes permanentes de área mayor a 2,50 km² correspondientes a las quebradas Sin Nombre No.6 (PIL-9), quebrada Sin Nombre No.20 (PIL-49), quebrada La Virgen (PIL-85) y quebrada La Yarumala (PIL-106). En total se identificaron 82 corrientes que cruzan la vía proyectada con base en la cartografía del I.G.A.C 2007.

Para el tramo de estudio (Acceso a Fincas Sector La Virgen) se encontraron en la cartografía del I.G.A.C. 2 corrientes permanentes de área menor a 2.50 km², y 1 corriente permanente de área mayor a 2,50 km² correspondiente a las Quebrada La Virgen (LVCB-4. En total se identificaron 3 corrientes que cruzan la vía proyectada con base en la cartografía del I.G.A.C 2007.

Para el tramo de estudio (Acceso a Fincas Hacia Pacífico II) se encontraron en la cartografía del I.G.A.C. 14 corrientes permanentes de área menor a 2.50 km², y 1 corriente permanente de área mayor a 2,50 km² correspondiente a la Quebrada La Virgen (LLM-3). En total se identificaron 15 corrientes que cruzan la vía proyectada con base en la cartografía del I.G.A.C 2007.

Es importante mencionar que las corrientes en estudio no cuentan con estaciones de caudal con registro continuo, por tanto, se aplicarán modelos lluvia-escorrentía.

En la estimación de caudales se utilizaron los métodos descritos en la metodología. En el **Anexo A** se muestran las cuencas y áreas aferentes de cada una de las obras de cruce hasta el punto de estudio donde se estimaron los caudales máximos correspondiente al cruce con la calzada, así como la localización de las estaciones de precipitación que inciden en la zona, los polígonos de Thiessen y los usos del suelo definidos en la cartografía del I.G.A.C, y en el **Anexo B** se muestra el cálculo de caudales máximos de las cuencas en estudio. A continuación, se mostrará el

estudio de caudales para las corrientes mayores como menores definidas a partir del área mencionada anteriormente.

Los valores considerados para el diseño de las obras mayores a 0,90 m tanto de drenaje como aquellas que son atravesadas por corrientes permanentes son los correspondientes a un periodo de retorno de 25 años (Resaltados en el **Anexo B** de color morado).

Para el cálculo de los caudales máximos con la Ecuación Racional se obtuvieron los caudales con los coeficientes definidos para Austin (Texas) para las cuencas menores, para las cuencas mayores se evaluaron los coeficientes en función del CN condición II y III.

2.5 JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

El desarrollo de la metodología propuesta depende siempre de la información disponible; para el cálculo de los caudales máximos en las cuencas de los corredores viales en ausencia de información limnigráfica se utilizaron métodos alternos aceptados en el medio; estas metodologías descritas son de común aceptación en el medio técnico de la república de Colombia.

Para la cartografía se utilizaron los planos del I.G.A.C. en escala 1:25.000 disponibles para la zona de estudio. Para el cálculo de la intensidad de precipitación se utilizó la información de series de tiempo pertenecientes al IDEAM y se empleó un método de cálculo deducido en estudios aceptados por la comunidad técnica nacional para obtener las curvas sintéticas; la incidencia de cada estación sobre el área estudiada se definió a partir del trazado de los polígonos de Thiessen.

2.6 ESTUDIO HIDRÁULICO Y DRENAJE SUB-SUPERFICIAL

El objetivo de este capítulo es mostrar la evaluación hidráulica de las obras existentes y el diseño de las obras proyectadas en el tramo de vía en estudio, teniendo en cuenta para ello el diseño geométrico vial, las obras existentes, los chaflanes y demás características importantes que hacen parte del proyecto, así mismo se muestra el diseño de las obras drenaje superficiales requeridas para captar satisfactoriamente la escorrentía de la zona, tales como cunetas y filtros.

2.6.1 Metodología

A continuación, se muestra la metodología usada para la evaluación de las condiciones hidráulicas actuales y proyectadas.

2.6.1.1 Definición de la Importancia de las Obras

Se definen como obras menores las cunetas, los filtros, y las alcantarillas circulares y de cajón que no son cruzadas por corrientes de agua permanente y como obras mayores las estructuras que drenan agua de corriente permanente tipo alcantarilla de cajón, pontones y puentes.

2.6.1.2 Metodología para la Evaluación y Diseño de las Alcantarillas Circulares y de Cajón Mayores y Menores

Las alcantarillas circulares y de cajón que se localizan transversalmente a la vía, funcionan bajo el concepto de flujo gradualmente variado; pueden tener control a la entrada o a la salida.

Para la evaluación y diseño de las obras que transportan el drenaje superficial de la vía se utilizó el software HY-8 de la Federal Highway Administration (FHWA) en cooperación con la Empresa Aquaveo y el laboratorio Environmental Modelling Research Laboratory. El software ha sido desarrollado para facilitar el diseño de obras de cruce en vías.

En los resultados obtenidos se debe verificar que para cada una de las tuberías su funcionamiento se dé bajo condiciones de control a la entrada o a la salida. En todos los casos hay que verificar que la energía a la entrada cumpla:

$$H_w / D \geq 1{,}20$$

Donde:

Hw: Energía a la entrada de la obra en m

D: Diámetro de la tubería en m.

Bajo condiciones de entrada la energía se calcula como:

$$Hw = Y_c + \frac{Vc^2}{2g} + H_{entrada}$$

En este caso la restricción se encuentra a la entrada y una vez el flujo ingresa a la estructura esta tiene capacidad para transportar el caudal de diseño bajo condiciones de flujo libre. Esta condición es la más adecuada para trabajo de una estructura siempre y cuando las condiciones de pendiente del terreno lo permitan. Par este caso $S_O > S_c$.

Para las condiciones de control a la salida se tienen en cuenta además de las pérdidas a la entrada las pérdidas de fricción y las pérdidas a la salida, la ecuación que se utiliza para este caso es la siguiente:

$$Hw = Y_n + \frac{V^2}{2g} + H_{entrada} + H_{Salida} + H_{Friccion}$$

En las ecuaciones anteriores tanto las pérdidas por fricción como las pérdidas por entrada y salida se consideran como una función de la cabeza de velocidad y se calculan como $KV^2/2g$, donde K debe reflejar las pérdidas dependiendo de la forma de la entrada.

2.6.1.3 Metodología para el Cálculo de los Perfiles de Flujo – Descripción del HEC-RAS 4.1.0

Como se mencionó inicialmente uno de los objetos del estudio es el de efectuar la modelación en condiciones existentes y proyectadas de las corrientes permanentes en el tramo de estudio, con el fin de determinar en cada caso los parámetros hidráulicos en condiciones de crecientes. Es importante mencionar que todos los valores hallados a partir de los perfiles de flujo que se presentarán en el capítulo del estudio hidráulico, corresponden a la consideración de lecho fijo. A continuación, se describen los aspectos más importantes del software HEC-RAS 4.1.0.

El HEC-RAS es un modelo hidráulico que permite calcular los niveles de la superficie del agua bajo condiciones de flujo permanente o no permanente y gradualmente variado, en un canal natural o artificial. Este programa tiene la capacidad de calcular las condiciones de flujo para regímenes de flujo subcrítico y supercrítico o cuando se presente una mezcla de ambos. Igualmente, el programa, presenta también opciones de cálculo para la simulación de diferentes estructuras hidráulicas como puentes, box-culverts (alcantarillas de cajón) y vertederos.

El procedimiento básico de cálculo se fundamenta en la solución de la ecuación de energía, en la cual las pérdidas de energía por fricción se calculan por la ecuación de Manning y las pérdidas locales por contracción y expansión del flujo, se calculan como una fracción del cambio en la cabeza de velocidad entre dos secciones. El programa requiere como datos básicos de entrada la geometría del canal, el caudal, los valores de los coeficientes de pérdidas y las condiciones de frontera para el cálculo de acuerdo con el régimen de flujo y los controles existentes en el tramo.

2.6.1.4 Metodología para el Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning (N)

Para estimar el coeficiente de rugosidad de Manning en cada uno de los sitios de corrientes permanentes, se consideró la descripción del suelo dada en el estudio geotécnico, y la descripción definida en campo a partir del reconocimiento visual.

El coeficiente básico de rugosidad de Manning para el lecho se calcula a partir de la granulometría del lecho, en este caso las expresiones utilizadas son las siguientes (Vélez, 1997):

- **Ecuación de Lane y Carlson:**

$$n = \frac{1}{39} D_{75}^{1/6}$$

- **Ecuación de Garde y Raju:**

$$n = 0.047 D_{50}^{1/6}$$

- **Ecuación de Meyer Peter-Müller:**

$$n = 0.038 D_{90}^{1/6}$$

- **Ecuación de Regionalización para Antioquia:**

$$n = 0.0488\, D_{50}^{1/6}$$

Donde:

n = Coeficiente de resistencia a la fricción de Manning

Di = Diámetro característico (mm).

2.6.1.5 Metodología para el Cálculo de la Rugosidad por el Método de Cowan

Una vez establecido el valor básico del coeficiente de rugosidad de Manning del lecho se calcula el valor general para lo cual se utiliza el método de Cowan utilizando la siguiente ecuación (Chow, 1982):

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

En esta ecuación n_0 es un valor básico de n para un canal recto y uniforme, n_1 es un valor agregado a n_0 para corregir el efecto de irregularidades de superficie, n_2 es un valor para las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal, n_3 es un valor de obstrucciones, n_4 es un valor para la vegetación y condiciones de flujo, y m_5 es un factor de corrección para los meandros del canal. Los valores correspondientes a estos factores se obtuvieron de la Tabla 5-5 del libro de Chow (1994).

2.6.1.6 Metodología para el Diseño de Cunetas

Las cunetas laterales evaluadas y diseñadas en este proyecto corresponden a cunetas triangulares (berma-cuneta o en “L”) en concreto. El espaciamiento entre obras está determinado por la localización de las obras, para el tramo de vía se proponen cunetas en los tramos que se especifican en el **Anexo E** y que se listan en el **Anexo F** con el fin de garantizar el adecuado drenaje de esta. En los tramos donde no cumpla la capacidad hidráulica.

Las cunetas proyectadas son de dos tipos cunetas triangulares de 0,60m de ancho y de 0,20m de altura y cunetas rectangulares de 0,60m de ancho y 0,40m de altura, los tramos de cunetas y sus respectivas dimensiones se pueden observar en los anexos mencionados anteriormente.

La capacidad hidráulica de las cunetas se calculó a partir de la ecuación de Manning, se empleó un coeficiente de rugosidad (n) de 0,015, correspondiente a una superficie en concreto con posible colmatación de arena y desechos, un tiempo de concentración (T_c) igual al calculado para cada tramo y una pendiente igual a la de la vía.

2.6.1.7 Metodología para la Evaluación y Diseño del Sistema de Sub-drenaje

Como sistema de sub-drenaje se diseñó un geodrén en los tramos donde existe talud adyacente a la vía y bajo la cuneta vial; a continuación, se explica la metodología seguida para su diseño. El caudal de diseño para el sistema drenante, se debe evaluar para un periodo de retorno Tr = 2 años y una duración de diseño de 60 minutos (1 hora), para determinar el área aferente a los geodrenes de pie de talud se tuvo en cuenta el ancho de la vía y un ancho de talud de 10m, para las cunetas viales, se tuvo en cuenta el ancho de la calzada definida en 6.00m y un ancho de talud definido acorde a los chaflanes de la vía. Los valores de permeabilidad se consideraron a partir de la clasificación del material de la zona, teniendo en cuenta que el material más permeable de todo el tramo correspondiente a una arena media.

El caudal infiltrado en la carpeta se calcula como:

$$Q_{INF} = IBLF_I F_R$$

Donde:

Q_{INF}: Caudal infiltrado en la carpeta en l/s.

I: Intensidad de precipitación para Tr = 2 años y D = 60 minutos, en mm/h.

B: Ancho aferente de la banca en m.

L: Longitud del tramo a diseñar en m.

F_I: Coeficiente de infiltración; en este caso se emplea 0,30 correspondiente a carpetas asfálticas muy bien conservadas y obtenidos de (PAVCO, 2012).

F_R: Coeficiente de infiltración, se emplea 0,33 para bases bien gradadas con menos de 5 años de uso, obtenido de (PAVCO, 2012).

El caudal del nivel freático se calcula como:

$$QNF = kiAa$$

Donde:

Q_{NF}: Caudal de nivel freático en la carpeta en l/s.

k: Coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente.

i: Gradiente hidráulico

Aa: Área efectiva para el caso de abatimiento de nivel freático.

El caudal de diseño es entonces:

$$Q = Q_{NF} + Q_{INF}$$

Para garantizar el diseño se debe evaluar la capacidad de evacuación de la tubería perforada, esta se evaluó por medio de la ecuación de Manning con un coeficiente de rugosidad n de 0,011, correspondiente a tubería de PVC perforada.

2.6.1.8 Metodología para el Cálculo de las Dimensiones de los Escalones y Verificación del Tipo de Flujo en las Estructuras de Disipación

En una estructura escalonada se pueden presentar tres condiciones de flujo: Saltante (escalón a escalón), rasante (los escalones actúan como una rugosidad) y flujo de transición. La condición más favorable para la conservación y estabilidad de la estructura escalonada es la saltante; porque permite la disipación de energía del flujo de escalón a escalón, mediante un resalto hidráulico. La ecuación con la que se verifica si el régimen de flujo es saltante o rasante es la ecuación propuesta por Chanson (2002):

$$\frac{Y_c}{h} < 1.057 - 0.465\left(\frac{h}{L}\right) \quad \text{para} \quad 0.2 \leq \frac{h}{L} \leq 1.25$$

Donde:

h: Altura del escalón en m.

L: Longitud del escalón en m.

Y_c: Profundidad critica de flujo en m.

Una vez definida la condición del flujo en la estructura escalonada; es necesario determinar la altura de flujo luego de que se produzca el resalto hidráulico para dimensionar la altura de los muros, la ecuación empleada fue deducida por W. Rand en 1955 para vertederos de caída recta, y fue presentada por Henderson (1966):

$$Y_2 = 1.66h\left(\frac{Y_c}{h}\right)^{0.81}$$

Donde:

Y_2: Profundidad de flujo aguas abajo del resalto hidráulico en m.

Y_c: Profundidad critica de flujo en m.

h: Altura del escalón en m.

Adicionalmente, se verifica la longitud del resalto hidráulico, generada entre la profundidad de Y_1 obtenida al finalizar el chorro (jet) generado por el escalón y la profundidad Y_2 obtenida una vez se genera el resalto hidráulico, la ecuación para determinar la longitud de formación de resalto hidráulico fue deducida por W. Rand en 1955 para vertederos de caída recta, y fue presentada por Henderson (1966):

$$L_j = 6.90(Y_2 - Y_1)$$

Donde:

Y_1: Profundidad de flujo aguas arriba del resalto hidráulico en m.

Y_2: Profundidad de flujo aguas abajo del resalto hidráulico en m.

L_j: Longitud para formación de resalto hidráulico en m.

Una vez determinada la longitud, es posible establecer si el Napple Flow o resalto hidráulico generado por la estructura escalonada es parcial o total, esta se establece al verificar la longitud de resalto con las huellas de escalón propuestas. Las estructuras de disipación propuestas serán únicamente para descargar el flujo

proveniente de cuneta a la quebrada, siempre y cuando sea posible realizar el descole.

2.6.1.9 Metodología para el Cálculo del Espesor de la Lámina de Agua - Hidroplaneo

A continuación, se presentan las metodologías empleadas en el cálculo del hidroplaneo para los tramos de vía (INVIAS, 2011):

- **Método de Gallaway et al. (1979)**

En este método, el espesor de la película de agua producida por la lluvia se calcula con la siguiente ecuación:

$$H = 0.01485\left[\frac{PMT^{0.11} \times L_R^{0.43} \times I^{0.59}}{S_R^{0.42}}\right] - PMT \quad \text{Donde:} \quad L_R = W\sqrt{1+\left(\frac{S}{S_x}\right)^2}$$

$$S_R = \sqrt{S^2 + S_x^2}$$

Donde:

H: Espesor de la película de agua sobre las asperezas del pavimento al final de la trayectoria de flujo, en mm.

LR: Longitud resultante de la trayectoria de flujo, en m.

I: Intensidad de la lluvia en mm/h.

SR: Pendiente resultante en m/m.

PMT: Profundidad media de textura, en mm. (Se suele usar 0.5 mm para diseño, salvo que las condiciones del pavimento hagan recomendable otro valor).

W: Ancho de la corona con pendiente transversal constante.

S: Pendiente longitudinal en m/m.

Sx: Bombeo de la corona en m/m.

La velocidad a la cual ocurre el hidroplaneo, para la altura H de la lámina de agua, se estima con la siguiente ecuación, la cual está limitada a velocidades vehiculares inferiores a 90 km/h:

$$V_H = 0.9143\, SD^{0.04}\, P^{0.3}\, (TD + 0.794)^{0.06}\, A$$

Donde:

VH: Velocidad a la cual se produce el hidroplaneo, en km/h.

P: Presión de inflado del neumático, en kPa (Se recomienda usar 165 kPa para el diseño).

TD: Profundidad del labrado del neumático, en mm (Para diseño se recomienda usar 0.5 mm).

SD: Porcentaje de disminución de la velocidad rotacional de la rueda a causa de su circulación sobre una superficie con una película de agua. Se considera que el hidroplaneo comienza con un valor de SD de 10%. Ello ocurre cuando la rueda gira 1.1 veces su circunferencia para avanzar una distancia igual a su circunferencia. Se

A: El mayor de los valores calculados con las siguientes ecuaciones:

$$A = \left(\frac{12.639}{H^{0.06}}\right) + 3.50 \quad \text{y} \quad A = \left(\frac{22.351}{H^{0.06}} - 4.97\right) PMT^{0.14}$$

Donde:

H: Espesor de la película de agua sobre las asperezas del pavimento al final de la trayectoria de flujo, en mm.

PMT: Profundidad media de textura, en mm.

- **Método de Horne y Dreher**

Según la investigación de estos autores, el hidroplaneo se puede producir con un espesor de fluido sobre el pavimento entre 2.5 y 10 mm, dependiendo de las características de la interfaz neumático-pavimento. Determinaron que la velocidad requerida para que se genere el hidroplaneo depende casi exclusivamente de la presión de contacto, la cual se puede asimilar a la presión de inflado y obtuvieron la siguiente expresión:

$$V_H = 6.342\sqrt{P}$$

Donde:

VH: Velocidad a la cual se produce el hidroplaneo, en km/h.

P: Presión de inflado del neumático, en kPa (Se recomienda usar 165 kPa para el diseño).

2.6.2 Justificación de la Metodología Propuesta

Para el cálculo de los caudales de diseño en las obras menores como cunetas que drenan agua de escorrentía proveniente de la vía sólo se utilizó la Ecuación Racional, ya que estos caudales no corresponden a corrientes con agua permanente, el uso de otras metodologías para el cálculo de estos caudales no es aplicable a estas estructuras. La metodología empleada para el estudio hidráulico y el cálculo de socavación es avalada por la comunidad técnica y es de uso frecuente en el medio. El software empleado para el cálculo de las estructuras viales es el HY-8; para el cálculo de cunetas se utilizó software propio empleando la Ecuación de Manning.

2.6.3 Diagnóstico General de la Vía

En el presenta capítulo de muestra el diagnóstico general de las obras encontradas en la visita de campo realizada durante los meses de noviembre y diciembre de 2017.

El corredor vial objeto de este estudio corresponde a una vía existente, la escorrentía superficial en la actualidad corre a través de la ladera y unas cunetas

en algunos tramos de la vía y es recogida por las obras de drenaje existentes y las corrientes permanentes que tienen cauces definidos. Por esta razón la filosofía del diseño consistió en evaluar las obras existentes y prolongar en caso de que cumplan hidráulicamente y diseñar las estructuras hidráulicas solamente en los casos donde la obra hidráulica no cumpla su objetivo. Bajo esta filosofía de diseño la escorrentía se conduce a través de cunetas hasta las obras y en los sitios en los que la capacidad de conducción de las cunetas es superada por la contribución de caudal en longitudes largas, se entrega a un canal de mayor capacidad que la conduce hasta la obra final. Adicionalmente, en caso de requerirse obras nuevas debido a que las longitudes entre obras son extensas, se evaluará la posibilidad de construir descole en el tramo de estudio, para el presente estudio se considera la proyección de un mejoramiento de la vía actual.

Es importante mencionar que actualmente el corredor vial (Puente Iglesias-La Y, La Y-El Líbano) tiene solamente 170 obras existentes, el corredor vial (La Virgen-Casablanca) tiene solamente 26 obras existentes, estas se ubican en el tramo donde la vía va de La Virgen-Casa Blanca, el corredor vial (La Lorena-Maratón) tiene solamente 53 obras existentes, de las cuales la obra LVCB-4 (en la vía La Virgen-Casablanca) y LLM-11 (en la vía La Lorena-Maratón) son tipo batea.

De las obras existentes que se localizaron en la zona en estudio se encontró en el corredor vial (Puente Iglesias - La Y, La Y - El Líbano) que las obras PIL-2, PIL-4 (K0+400.00), PIL-OD1 (K1+209.00), PIL-8 (K1+345.00), PIL-OD2 (K1+910.00), PIL-OD4 (K0+050.00), PIL-13 (K0+285.00), PIL-16 (K0+835.00), PIL-19 (K1+140.00), PIL-OD9 (K2+052.00), PIL-OD12 (K2+303.00), PIL-OD17 (K2+942.00), PIL-37 (K3+525.00), PIL-54 (K5+852.00), PIL-55 (K5+870.00), PIL-OD27 (K5+916.00), PIL-OD28 (K5+981.00), PIL-OD32 (K6+710.00), PIL-67 (K7+139.00), PIL-OD33 (K7+316.00), PIL-71 (K7+557.00), PIL-72 (K7+632.00), PIL-OD37 (K8+505.00), PIL-95 (K10+470.00), PIL-OD47 (K10+786.00), PIL-OD48 (K10+884.00), PIL-OD49 (K11+065.00), PIL-OD50 (K11+236.00), PIL-OD51 (K11+544.00), PIL-109 (K11+943.00), PIL-113 (K12+435.00), PIL-OD52 (K12+743.00), PIL-117 (K12+896.00) se encuentran obstruidas.

En el corredor vial (La Virgen-Casablanca) se encontró que las obras LVCB-OD3 (K0+219.00), LVCB-OD4 (K0+327.00), LVCB-OD7 (K0+486.00), LVCB-OD9

(K0+737.00), LVCB-OD11 (K0+983.00), LVCB-OD13 (K1+180.00), LVCB-OD14 (K1+244.00), LVCB-OD15 (K1+299.00), LVCB-OD17 (K1+550.00), LVCB-OD18 (K1+594.00), LVCB-OD19 (K1+666.00), LVCB-OD20 (K1+733.00), LVCB-OD21 (K1+846.00), LVCB-OD22 (K1+959.00), LVCB-OD27 (K2+822.00) se encuentran obstruidas.

En el corredor vial el corredor vial (La Lorena-Maratón) se encontró que las obras LLM-1 (K0+218.00), LLM-OD6 (K0+465.00), LLM-OD7 (K0+654.00), LLM-OD10 (K0+958.00), LLM-OD15 (K1+688.00), LLM-OD20 (K2+312.00), LLM-OD24 (K3+256.00), LLM-9 (K3+908.00), LLM-OD33 (K6+114.00), LLM-OD34 (K6+226.00) se encuentran obstruidas.

Además, se contempla que las alcantarillas con diámetro menor a 0.90m serán remplazadas por obras circulares igual a 0.90m.

De las obras existentes se tiene que aquellas que se encuentran obstruidas y cumplen hidráulicamente, requieren mantenimiento constante y podrán conservarse, aquellas con diámetros menores a 900mm serán demolidas y se proyectará una dimensión mínima de 900mm.

A continuación, en la **Tabla 4** se hará un resumen de la cantidad de estructuras hidráulicas, clasificadas por tipo (alcantarillas de cajón y puentes), además se divide por estructuras existentes a conservar, existentes a reemplazar y estructuras nuevas dando el total de cada una.

Tabla 4. Cantidad de Obras Existentes y Proyectadas en el Corredor Vial Puente Iglesias-La Y, La Y-El Líbano

Tipo de Obra Existente	Cantidad
Alcantarilla Circular	108
Alcantarilla de Cajón	39
Obras de Drenaje tipo Batea	0
Puentes	8

Sin identificar	15
Total Obras Existentes	**170**
Tipo de Obras Existentes a Conservar	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	17
Alcantarilla de Cajón	3
Total Obras a Conservar	**20**
Tipo de Obras Existentes a Remplazar	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	91
Alcantarilla de Cajón	36
Obras de Drenaje tipo Batea	0
Puentes	8
Sin identificar	15
Total Obras a Remplazar	**150**
Tipo de Obras Nuevas	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	20
Alcantarilla de Cajón	0
Puentes	8
Pontón	1
Total Obras Nuevas	**29**

Tabla 5. Cantidad de Obras Existentes y Proyectadas en el Corredor Vial La Virgen-Casablanca

Tipo de Obra Existente	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	24
Alcantarilla de Cajón	0
Obras de Drenaje tipo Batea	1
Sin identificar	1
Total Obras Existentes	**26**

Tipo de Obras Existentes a Conservar	Cantidad
Alcantarilla Circular	1
Alcantarilla de Cajón	0
Total Obras a Conservar	**1**
Tipo de Obras Existentes a Remplazar	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	23
Alcantarilla de Cajón	0
Obras de Drenaje tipo Batea	1
Sin identificar	1
Total Obras a Remplazar	**25**
Tipo de Obras Nuevas	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	2
Alcantarilla de Cajón	7
Puentes	1
Total Obras Nuevas	**10**

Tabla 6. Cantidad de Obras Existentes y Proyectadas en el Corredor Vial La Lorena-Maratón

Tipo de Obra Existente	Cantidad
Alcantarilla Circular	50
Alcantarilla de Cajón	0
Obras de Drenaje tipo Batea	1
Puentes	1
Sin identificar	1
Total Obras Existentes	53
Tipo de Obras Existentes a Conservar	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	12
Alcantarilla de Cajón	0

Total Obras Existentes a conservar	**12**
Tipo de Obras Existentes a Remplazar	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	38
Alcantarilla de Cajón	0
Obras de Drenaje tipo Batea	1
Puentes	1
Sin identificar	0
Total Obras a Remplazar	**40**
Tipo de Obras Nuevas	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	7
Alcantarilla de Cajón	3
Alcantarilla de Cajón Doble	1
Puentes	1
Total Obras Nuevas	**12**

En el Corredor Vial La Lorena-Maratón, la obra correspondiente a la abscisa K0+587.00, la cual no pude ser identificada, será demolida y no se reemplazará por una obra nueva.

En el **Anexo C** se puede observar el inventario de las obras de cruce existentes, donde se define el estado de la obra conforme a actividades de mantenimiento, repotenciación, rehabilitación, cambios o construcción para garantizar la correcta operación, así mismo, se mencionan cada una de las corrientes identificadas en la cartografía y en las visitas de campo y la definición de la obra hidráulica requerida en cada sitio, adicionalmente, se muestran las obras de drenaje requeridas y proyectadas.

2.6.4 Evaluación y Diseño de Obras de Drenaje

En el presente numeral se muestra la evaluación hidráulica de las obras existentes para drenaje superficial de la vía y que se identificaron tanto en la visita de campo y en la topografía levantada, las obras se evaluaron a partir del software HY-8.

En el presente numeral se muestra la evaluación hidráulica de las obras existentes y proyectadas que drenan agua de escorrentía, para ello se tuvo en cuenta el diseño geométrico y los chaflanes del proyecto, así como los sitios de quebrada. En el **Anexo D** adjunto a este informe se muestra la evaluación de las obras hidráulicas. La evaluación hidráulica de las obras se realizó considerando un periodo de retorno de 25 años, dependiendo de la altura o diámetro de la obra y un rango de caudales de operación entre los períodos de retorno entre 2.33 y 100 años. La evaluación y diseño de las obras se realizó con el software HY-8, que es un programa desarrollado por la Federal Highway Administration (FHWA) en cooperación con la Universidad Brigham Young, elaborado para realizar el análisis y diseño de estructuras de cruce en vías.

Se evaluaron las obras en estudio considerando para ello el caudal de diseño que se muestran en el **Anexo B**, sin embargo, por lo extenso de los resultados, estos se pueden observar en el **Anexo D** donde se puede apreciar el esquema de dimensionamiento de cada una de las obras evaluadas hidráulicamente con el HY-8, los resultados obtenidos para un rango de caudales, dentro de los cuales se encuentra el caudal de diseño.

De las figuras y de los resultados obtenidos del **Anexo D,** se puede ver que las siguientes obras no cumplen hidráulicamente y por tanto no son capaces de evacuar el caudal de diseño

En el Corredor Vial Puente Iglesias-La Y, La Y-El Líbano:

PIL-1 (), PIL-4 (K0+400.00), PIL-5 (K0+595.00), PIL-7 (K1+092.00), PIL-OD1 (K1+209.00), PIL-10 (K1+590.00), PIL-11 (K1+682.00), PIL-12 (K1+822.00), PIL-OD2 (K1+910.00), PIL-OD3 (K2+031.00), PIL-OD4 (K0+050.00), PIL-14 (K0+429.00), PIL-21 (K1+262.00), PIL-27 (K1+915.00), PIL-29 (K2+450.00), PIL-OD13 (K2+569.00), PIL-30 (K2+633.00), PIL-32 (K3+071.00), PIL-OD22 (K4+068.00), PIL-43 (K4+477.00), PIL-44 (K4+637.00), PIL-OD25 (K5+062.00), PIL-46 (K5+222.00), PIL-47 (K5+279.00), PIL-50 (K5+437.00), PIL-OD26 (K5+498.00), PIL-52 (K5+677.00), PIL-57 (K6+092.00), PIL-58 (K6+149.00), PIL-60 (K6+625.00), PIL-61 (K6+830.00), PIL-64 (K6+974.00), PIL-67 (K7+139.00), PIL-69 (K7+197.00), PIL-70 (K7+398.00), PIL-OD34 (K7+473.00), PIL-OD35 (K7+490.00), PIL-72 (K7+632.00), PIL-73 (K7+766.00), PIL-OD36 (K7+836.00), PIL-74

(K7+900.00), PIL-75 (K8+047.00), PIL-76 (K8+288.00), PIL-78 (K8+536.00), PIL-OD42 (K9+501.00), PIL-OD43 (K9+795.00), PIL-90 (K9+946.00), PIL-91 (K10+095.00), PIL-92 (K10+212.00), PIL-93 (K10+258.00), PIL-95 (K10+470.00), PIL-99 (K10+840.00), PIL-OD50 (K11+236.00), PIL-104 (K11+494.00), PIL-OD51 (K11+544.00), PIL-105 (K11+685.00), PIL-109 (K11+943.00), PIL-110 (K12+001.00), PIL-115 (K12+596.00), PIL-117 (K12+896.00), PIL-OD53 (K12+953.00), PIL-119 (K13+135.00).

En el Corredor Vial La Virgen-Casablanca:

LVCB-OD4 (K0+327.00), LVCB-OD6 (K0+454.00), LVCB-OD8 (K0+673.00), LVCB-OD10 (K0+797.00), LVCB-2 (K1+033.00).

En el Corredor Vial La Lorena-Maratón:

LLM-1 (K0+218.00), LLM-4 (K2+426.00), LLM-5 (K2+475.00), LLM-OD21 (K2+700.00), LLM-6 (K2+954.00), LLM-8 (K3+736.00), LLM-10 (K3+968.00), LLM-12 (K4+283.00), LLM-13 (K4+454.00), LLM-14 (K4+562.00), LLM-15 (K4+764.00), LLM-16 (K5+031.00), LLM-20 (K6+286.00), LLM-21 (K6+400.00).

Se realizó el dimensionamiento de las estructuras, permitiendo que tengan la capacidad hidráulica para el caudal de diseño y garantizan el control a la entrada de la estructura, ya que en todos los casos se demuestra que se cumple la condición de diseño (Hw (energía a la entrada) ≤ 1,20D). En los resultados se pueden apreciar las velocidades y profundidades de flujo para el caudal evaluado y se nota que las velocidades son menores que las permisibles en este tipo de estructuras que es de 15m/s en box culvert para un concreto de 28 MPa. Se puede ver además en cada uno de los esquemas que el flujo está contenido dentro de la estructura en toda ocasión para el caudal de diseño, por lo que las dimensiones de las obras hidráulicas se consideran adecuadas.

A continuación, en la **Tabla 7** se muestra el listado de las obras proyectadas y las dimensiones de cada una de estas estructuras, así mismo se muestra la obra existente en los tramos donde la vía nueva coincide con alguna vía actual.

Tabla 7. Resumen Obras de Drenaje Existentes y Proyectadas en la Zona de Estudio, Puente Iglesias-La Y, La Y– El Líbano

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
PIL-1	Caño con agua No.1	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-2	Caño con agua No.2	OBRA COLMATADA	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-ODA	Área Aferente A	-	Tubería de 36"
PIL-3	Qda. Sin Nombre No. 1	PUENTE	PUENTE
PIL-4	Qda. Sin Nombre No. 2	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-ODB	Área Aferente B	-	Tubería de 36"
PIL-5	Qda. Sin Nombre No. 3	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-ODC	Área Aferente C	-	Tubería de 36"
PIL-6	Qda. Sin Nombre No. 4	Alcantarilla de cajón B=2.70m H=3.00m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=3.00m
PIL-ODD	Área Aferente D	-	Tubería de 36"
PIL-7	Qda. Sin nombre No.5	Alcantarilla de cajón B=H=0.50m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-OD1	Área Aferente No.1	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-8	Cauce intermitente No.1	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-9	Qda. Sin nombre No.6	PUENTE	PUENTE
PIL-10	Caño con agua No.3	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-11	Cauce intermitente No.2	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-12	Cauce intermitente No.3	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD2	Área Aferente No.2	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD3	Área Aferente No.3	Tubería de 18"	Tubería de 36"
PIL-OD4	Área Aferente No.4	Tubería de 10"	Tubería de 36"
PIL-OD4A	Área Aferente No.4A	-	Tubería de 36"

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
PIL-13	Qda. Sin nombre No.7	OBRA COLMATADA	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-14	Cauce intermitente No.4	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-15	Qda. Sin nombre No.8	PUENTE	PUENTE
PIL-15A	Cauce intermitente No.5	Alcantarilla de cajón B=1.0m H=1.7m	-
PIL-16	Cauce intermitente No.6	OBRA OBSTRUIDA	Tubería de 36"
PIL-17	Cauce intermitente No.7	Tubería de 36"	-
PIL-OD5	Área Aferente No.5	Tubería de 36"	-
PIL-OD6	Área Aferente No.6	Tubería de 30"	Tubería de 36"
PIL-18	Caño con agua No.4	Alcantarilla de cajón B=0.82m H=0.77m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-19	Cauce intermitente No.8	OBRA COLMATADA	Tubería de 36"
PIL-20	Caño con agua No.5	Tubería de 36"	-
PIL-21	Cauce intermitente No.9	Alcantarilla de cajón B=H=0.5 m	Tubería de 36"
PIL-22	Qda. Sin nombre No.9	Alcantarilla de cajón B=2.0m H=2.5m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=2.50m
PIL-OD7	Área Aferente No.7	Tubería de 36"	-
PIL-OD7A	Área Aferente No.7A	-	Tubería de 36"
PIL-23	Qda. Sin nombre No.10	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
PIL-24	Caño con agua No.6	Alcantarilla de cajón B=H=0.70m	Tubería de 36"
PIL-25	Cauce intermitente No.10	Tubería de 36"	-
PIL-26	Caño con agua No.7	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-27	Qda. Sin nombre No.11	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
PIL-28	Cauce intermitente No.11	Tubería de 36"	-
PIL-OD8	Área Aferente No.8	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD9	Área Aferente No.9	-	Tubería de 36"
PIL-OD10	Área Aferente No.10	Tubería de 36"	-

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
PIL-OD11	Área Aferente No.11	Tubería de 36"	-
PIL-OD12	Área Aferente No.12	OBRA COLMATADA	Tubería de 36"
PIL-29	Cauce intermitente No.12	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD13	Área Aferente No.13	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-30	Qda. Sin nombre No.12	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-OD14	Área Aferente No.14	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD15	Área Aferente No.15	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD16	Área Aferente No.16	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-31	Cauce intermitente No.13	Tubería de 22"	Tubería de 36"
PIL-OD17	Área Aferente No.17	OBRA OBSTRUIDA	Tubería de 36"
PIL-OD18	Área Aferente No.18	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-32	Caño con agua No.8	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-33	Caño con agua No.9	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-34	Cauce intermitente No.14	OBRA NUEVA	Tubería de 36"
PIL-35	Qda. La Vainillala	Alcantarilla de cajón B=H=3.50m	-
PIL-OD18A	Área Aferente No.18A	-	Tubería de 36"
PIL-36	Qda. Sin nombre No.13	PUENTE	PUENTE
PIL-37	Cauce intermitente No.15	OBRA COLMATADA	Tubería de 36"
PIL-38	Qda. Sin nombre No.14	Tubería doble de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
PIL-39	Cauce intermitente No.16	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD19	Área Aferente No.19	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD20	Área Aferente No.20	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-40	Caño con agua No.10	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD21	Área Aferente No.21	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-41	Caño con agua No.11	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD22	Área Aferente No.22	Tubería de 26"	Tubería de 36"
PIL-OD23	Área Aferente No.23	Tubería de 30"	Tubería de 36"
PIL-42	Caño con agua No.12	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
PIL-OD23A	Área Aferente No.23A	-	Tubería de 36"
PIL-43	Qda. Sin nombre No.15	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-44	Qda. Sin nombre No.16	Alcantarilla de cajón B=1.50m H=0.50m	Pontón B=4.00m H=3.00m
PIL-45	Cauce intermitente No.17	Tubería de 38"	-
PIL-OD23B	Área Aferente No.23B	-	Tubería de 36"
PIL-OD24	Área Aferente No.24	Tubería de 36"	-
PIL-OD25	Área Aferente No.25	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD25A	Área Aferente No.25A	-	Tubería de 36"
PIL-46	Qda. Sin nombre No.17	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-47	Qda. Sin nombre No.18	Tubería de 22"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-48	Qda. Sin nombre No.19	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
PIL-49	Qda. Sin nombre No.20	PUENTE	PUENTE
PIL-50	Cauce intermitente No.18	Tubería de 22"	Tubería de 36"
PIL-OD26	Área Aferente No.26	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD26A	Área Aferente No.26A	-	Tubería de 36"
PIL-51	Cauce intermitente No.19	OBRA NUEVA	Tubería de 36"
PIL-52	Qda. Sin nombre No.21	Alcantarilla de cajón B=0.70m H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-53	Caño con agua No.13	OBRA NUEVA	Tubería de 36"
PIL-54	Caño con agua No.14	NO HAY INFORMACION	Tubería de 36"
PIL-55	Cauce intermitente No.20	OBRA COLMATADA	Tubería de 36"
PIL-OD27	Área Aferente No.27	OBRA COLMATADA	Tubería de 36"
PIL-OD28	Área Aferente No.28	NO HAY INFORMACION	Tubería de 36"
PIL-56	Caño con agua No.15	Alcantarilla de cajón B=0.84m H=0.94m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-57	Caño con agua No.16	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
PIL-58	Caño con agua No.17	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-OD29	Área Aferente No.29	Tubería de 36"	-
PIL-59	Qda. Sin nombre No.22	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-OD30	Área Aferente No.30	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD30A	Área Aferente No.30A	-	Tubería de 36"
PIL-OD31	Área Aferente No.31	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-60	Qda. Sin nombre No.23	Tubería de 22"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-OD32	Área Aferente No.32	OBRA COLMATADA	Tubería de 36"
PIL-61	Caño con agua No.18	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-62	Cauce intermitente No.21	Tubería de 36"	-
PIL-63	Cauce intermitente No.22	Tubería de 36"	-
PIL-64	Qda. Sin nombre No.24	Alcantarilla de cajón B=H=0.50m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-65	Qda. Sin nombre No.25	Alcantarilla de cajón B=1.00m H=1.50m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-66	Caño con agua No.19	OBRA NUEVA	Tubería de 36"
PIL-67	Caño con agua No.20	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-68	Caño con agua No.21	Tubería de 36"	-
PIL-69	Qda. Sin nombre No.26	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-OD33	Área Aferente No.33	OBRA COLMATADA	Tubería de 36"
PIL-70	Cauce intermitente No.23	Alcantarilla de cajón B=H=0.50m	Tubería de 36"
PIL-OD34	Área Aferente No.34	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD35	Área Aferente No.35	Tubería de 22"	Tubería de 36"
PIL-71	Qda. Sin nombre No.27	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-72	Cauce intermitente No.24	Alcantarilla de cajón B=1.00m H=0.50m	Tubería de 36"
PIL-73	Caño con agua No.22	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD36	Área Aferente No.36	Tubería de 24"	Tubería de 36"

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
PIL-74	Qda. Sin nombre No.28	Alcantarilla de cajón B=1.30m H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-75	Qda. Sin nombre No.29	Tubería de 22"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-76	Qda. Sin nombre No.30	Tubería de 30"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-77	Qda. La Oculta	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m	-
PIL-OD37	Área Aferente No.37	OBRA COLMATADA	Tubería de 36"
PIL-78	Caño con agua No.23	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-79	Cauce intermitente No.25	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Conservar box en concreto ciclópeo si está en buen estado, de lo contrario poner Tubería de 36"
PIL-OD38	Área Aferente No.38	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD38A	Área Aferente No.38A	-	Tubería de 36"
PIL-80	Qda. Sin nombre No.31	Alcantarilla de cajón B=1.50 H=2.00m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
PIL-81	Qda. Sin nombre No.32	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-82	Cauce intermitente No.26	Tubería de 22"	Tubería de 36"
PIL-OD39	Área Aferente No.39	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-83	Qda. Sin nombre No.33	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-OD40	Área Aferente No.40	Tubería de 36"	-
PIL-84	Qda. Sin nombre No.34	Tubería de 22"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-OD41	Área Aferente No.41	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-85	Qda. La Virgen	PUENTE	PUENTE
PIL-86	Cauce intermitente No.27	Tubería de 36"	-
PIL-87	Qda. Sin nombre No.35	Alcantarilla de cajón B=1.65m X H=1.77m	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
PIL-OD42	Área Aferente No.42	Tubería de 12"	Tubería de 36"

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
PIL-88	Cauce intermitente No.28	Alcantarilla de cajón B=1.45m H=1.25m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-OD43	Área Aferente No.43	Tubería doble de 12"	Tubería de 36"
PIL-89	Qda. El Cerro	PUENTE	PUENTE
PIL-90	Cauce intermitente No.29	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-91	Cauce intermitente No.30	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-92	Caño con agua No.24	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-93	Qda. Sin nombre No.36	Alcantarilla de cajón B=1.10m H=1.50m	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
PIL-OD44	Área Aferente No.44	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-94	Cauce intermitente No.31	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-95	Qda. Sin nombre No.37	Alcantarilla de cajón B=1.10m H=1.10m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-96	Qda. Sin nombre No.38	Alcantarilla de cajón B=1.00m H=1.20m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-OD45	Área Aferente No.45	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD46	Área Aferente No.46	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-97	Cauce intermitente No.32	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-98	Cauce intermitente No.33	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD47	Área Aferente No.47	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-99	Qda. Sin nombre No.39	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
PIL-OD48	Área Aferente No.48	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-100	Cauce intermitente No.34	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-OD49	Área Aferente No.49	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-101	Qda. Sin nombre No.40	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-OD50	Área Aferente No.50	Tubería de 12"	Tubería de 36"
PIL-102	Qda. Sin nombre No.41	Alcantarilla de cajón B=2.50m H=1.60m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
PIL-103	Qda. Sin nombre No.42	Alcantarilla de cajón B=0.67m H=0.80m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-104	Qda. Sin nombre No.43	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
PIL-OD51	Área Aferente No.51	Tubería de 24"	Tubería de 36"
PIL-105	Qda. Sin nombre No.44	Alcantarilla de cajón B=0.80m H=1.30m	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
PIL-106	Qda. La Yarumala	PUENTE	PUENTE
PIL-107	Qda. Sin nombre No.45	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-108	Cauce intermitente No.35	Tubería de 14"	Tubería de 36"
PIL-109	Cauce intermitente No.36	Tubería de 14"	Tubería de 36"
PIL-110	Qda. Sin nombre No.46	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-OD51A	Área Aferente No.51A	-	Tubería de 36"
PIL-111	Qda. Sin nombre No.47	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-112	Qda. Sin nombre No.48	Tubería de 28"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-113	Qda. Sin nombre No.49	Tubería de 28"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-114	Cauce intermitente No.37	Tubería de 36"	-
PIL-115	Qda. Sin nombre No.50	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-OD52	Área Aferente No.52	Tubería de 30"	Tubería de 36"
PIL-116	Cauce intermitente No.38	Tubería de 28"	Tubería de 36"
PIL-117	Cauce intermitente No.39	Tubería de 18"	Tubería de 36"
PIL-OD53	Área Aferente No.53	Tubería de 22"	Tubería de 36"
PIL-OD53A	Área Aferente No.53A	-	Tubería de 36"
PIL-118	Qda. Sin nombre No.51	Alcantarilla de cajón B=2.00m H=2.20m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
PIL-OD54	Área Aferente No.54	-	Tubería de 36"
PIL-119	Qda. Sin nombre No.52	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
PIL-120	Qda. Sin nombre No.53	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m

Tabla 8. Resumen Obras de Drenaje Existentes y Proyectadas en la Zona de Estudio, Vía La Virgen-Casablanca

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
LVCB-OD1	Obra de drenaje No.1	-	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LVCB-OD2	Obra de drenaje No.2	-	Tubería de 36"
LVCB-OD3	Obra de drenaje No.3	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LVCB-OD4	Obra de drenaje No.4	Tubería de 10"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LVCB-OD5	Obra de drenaje No.5	Tubería de 12"	Tubería de 36"
LVCB-OD6	Obra de drenaje No.6	Tubería de 8"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LVCB-OD7	Obra de drenaje No.7	Tubería de 12"	Tubería de 36"
LVCB-OD8	Obra de drenaje No.8	Tubería de 16"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LVCB-OD9	Obra de drenaje No.9	OBSTRUIDA	Tubería de 36"
LVCB-OD10	Obra de drenaje No.10	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LVCB-1	Cauce intermitente No.1	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LVCB-OD11	Obra de drenaje No.11	Tubería de 16"	Tubería de 36"
LVCB-2	Qda. La Oculta	Tubería doble de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
LVCB-OD12	Obra de drenaje No.12	Tubería de 36"	-
LVCB-OD13	Obra de drenaje No.13	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LVCB-OD14	Obra de drenaje No.14	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LVCB-OD15	Obra de drenaje No.15	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LVCB-OD16	Obra de drenaje No.16	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LVCB-OD17	Obra de drenaje No.17	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LVCB-OD18	Obra de drenaje No.18	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LVCB-OD19	Obra de drenaje No.19	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LVCB-OD20	Obra de drenaje No.20	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LVCB-OD21	Obra de drenaje No.21	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LVCB-OD22	Obra de drenaje No.22	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LVCB-OD23	Obra de drenaje No.23	-	Tubería de 36"

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
LVCB-3	Qda. Sin nombre No.1	Tubería de 16"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LVCB-OD24	Obra de drenaje No.24	-	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LVCB-OD25	Obra de drenaje No.25	-	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LVCB-OD25A	Obra de drenaje No.25-A	-	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LVCB-OD25B	Obra de drenaje No.25-B	-	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LVCB-OD26	Obra de drenaje No.26	-	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LVCB-4	Qda. La Virgen	SIN OBRA	Puente
LVCB-OD27	Obra de drenaje No.27	Tubería de 20"	Tubería de 36"
LVCB-OD28	Obra de drenaje No.28	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LVCB-OD29	Obra de drenaje No.29	-	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m

Tabla 9. Resumen Obras de Drenaje Existentes y Proyectadas en la Zona de Estudio, Vía La Lorena-Maratón

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
LLM-OD1	Área aferente No.1	Tubería de 36"	-
LLM-OD2	Área aferente No.2	Tubería de 36"	-
LLM-1	Qda. Sin nombre No.1	2 tuberías de 24" y tubería de 30"	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
LLM-OD3	Área aferente No.3	-	Tubería de 36"
LLM-OD4	Área aferente No.4	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-OD5	Área aferente No.5	-	Tubería de 36"
LLM-OD6	Área aferente No.6	Tubería de 36"	-
	Área aferente A	Obra colmatada	-

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
LLM-OD7	Área aferente No.7	Tubería de 36"	-
LLM-OD8	Área aferente No.8	Tubería de 36"	-
LLM-OD9	Área aferente No.9	-	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LLM-OD10	Área aferente No.10	Tubería de 36"	-
LLM-OD11	Área aferente No.11	-	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LLM-OD12	Área aferente No.12	-	Tubería de 36"
LLM-2	Cauce intermitente No.1	Tubería de 36"	-
LLM-OD13	Área aferente No.13	-	Tubería de 36"
LLM-OD14	Área aferente No.14	Tubería de 36"	-
LLM-OD15	Área aferente No.15	Tubería de 36"	-
LLM-OD16	Área aferente No.16	Tubería de 36"	-
LLM-3	Qda. La Virgen	LUZ=5.00m H=2.60m	Alcantarilla de cajón doble B=5.00m H=3.5m
LLM-OD17	Área aferente No.17	Tubería de 36"	
LLM-OD18	Área aferente No.18	-	Tubería de 36"
LLM-OD19	Área aferente No.19	Alc Ø 0.80 m	Tubería de 36"
LLM-OD20	Área aferente No.20	Tubería de 36"	-
LLM-4	Qda. Sin nombre No.2	Tubería de 36"	Box DIM 2.50 X 2.50 m
LLM-5	Cauce intermitente No.2	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LLM-OD21	Área aferente No.21	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-6	Cauce intermitente No.3	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LLM-OD22	Área aferente No.22	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LLM-OD23	Área aferente No.23	-	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LLM-OD24	Área aferente No.24	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-OD25	Área aferente No.25	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LLM-OD26	Área aferente No.26	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
LLM-7	Caño con agua No.1	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LLM-8	Caño con agua No.2	Tubería de 18"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LLM-OD27	Área aferente No.27	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LLM-9	Caño con agua No.3	2 tuberías de 12"	Tubería de 36"
LLM-10	Qda. Sin nombre No.3	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
LLM-11	Qda. La Oculta	BATEA EN CONCRETO	PUENTE
LLM-12	Qda. Sin nombre No.4	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
LLM-13	Caño con agua No.4	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
LLM-14	Qda. Sin nombre No.5	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
LLM-15	Qda. Sin nombre No.6	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
LLM-OD28	Área aferente No.28	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-16	Qda. Sin nombre No.7	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
LLM-17	Caño con agua No.5	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-18	Caño con agua No.6	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-OD28A	Obra de drenaje No.28A	-	Tubería de 36"
LLM-OD29	Área aferente No.29	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-OD30	Área aferente No.30	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-OD31	Área aferente No.31	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LLM-OD32	Área aferente No.32	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LLM-19	Cauce intermitente No.4	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-OD33	Área aferente No.33	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-OD34	Área aferente No.34	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
LLM-20	Cauce intermitente No.5	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-21	Cauce intermitente No.6	Tubería de 24"	Tubería de 36"

ID	Corriente/Obra	Sección	
		Obra Existente	Obra Propuesta
LLM-OD35	Área aferente No.35	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-OD36	Área aferente No.36	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-OD37	Área aferente No.37	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-OD38	Área aferente No.38	Tubería de 24"	Tubería de 36"
LLM-OD39	Área aferente No.39	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m

En el **Anexo D**, se pueden ver los resultados de la modelación hidráulica a partir del software HY-8 y se puede notar que las obras cumplen hidráulicamente y cumplen condición de energía para el periodo de retorno de diseño.

Es importante mencionar que la alcantarilla de cajón LLM-12 que corresponde a un box de B=H=2,00m, requiere de una campana a la entrada, de dimensiones H=0.3D=0.6m y B=1.2D=2.40m, tal que cumpla la condición de energía a la entrada, el detalle de la campana requerida en dicha obra se puede observar en el **Anexo H**.

El detalle y especificaciones de estas obras proyectadas se pueden ver en los planos hidráulicos (**Anexo G**) y en los planos estructurales asociados al proyecto.

En cuanto a la localización de las obras de drenaje, se tienen que estas están en función del alineamiento de la vía proyectada. Con respecto al eje de la vía proyectada, las obras pueden ser preferiblemente normales, aunque pueden presentar un ángulo de sesgo o esviaje cuando se trata de cruces de corrientes en los cuales se conserva la dirección del drenaje natural.

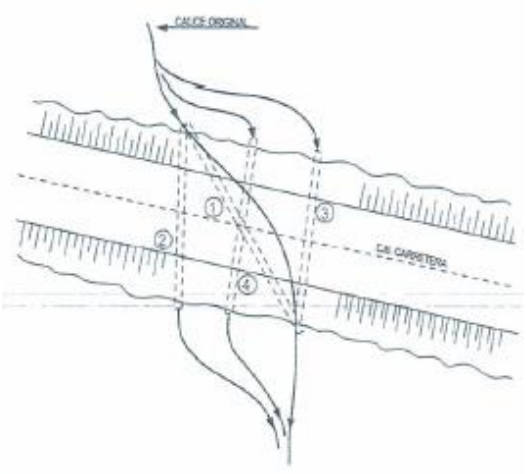


Figura 9. Alternativas para Localización en Planta de Alcantarillas (Fuente: INVÍAS, 2011)

En cuanto a los sitios de ponteadero se tiene que estos fueron concebidos dentro del diseño geométrico; estos puentes tienen alturas desde la rasante al fondo del cauce mayores a 4,00m por lo que no hay probabilidad de que las estructuras sean afectadas por los caudales de creciente, adicionalmente, los estribos en los puentes que lo consideraron se encuentran por fuera del cauce.

De esta manera se tiene que los puentes proyectados cumplen con el borde libre mínimo permitido por el INVIAS (2009), donde el borde libre es la menor distancia entre la lámina de agua correspondiente al caudal de diseño, que en este caso es el caudal asociado a un periodo de retorno de 100 años y el canto inferior de las vigas del puente. En el caso de estudio se debe dejar un gálibo vertical mínimo de 2,00 metros por encima del nivel de aguas máximas (Tr=100 años) que corresponde a corrientes de agua relativamente limpias en toda época y que en algunos periodos transportan desechos, troncos y otros objetos voluminosos. Estos puentes se dimensionaron durante la etapa del diseño. En el **Anexo I** se puede observar el estudio hidrológico, hidráulico y de socavación de cada uno de los puentes en estudio.

Para el sitio LLM-3 quebrada La Virgen se realizó el diseño hidráulico de la obra de cruce correspondiente a una alcantarilla de cajón doble de B=5.00m H=3.50m y cumple con el caudal de diseño, al realizar la mancha de inundación de la quebrada en dicha zona se encontró que el caudal de diseño correspondiente a un periodo de retorno de 25 años se desborda del cauce e inunda la llanura de inundación de la margen izquierda del cauce (zona privada con cultivos). Teniendo en cuenta que en dicha zona el corredor vial puede ser afectado por la creciente de diseño, es

necesario considerar a ambas márgenes de la calzada unos muros perimetrales que protejan a la vía de las crecientes máximas.

2.6.5 Sectorización Drenaje Vía

El presente estudio contempla la evaluación y diseño de las obras hidráulicas necesarias para conducir las aguas superficiales y sub-superficiales que puedan generarse con el corredor vial. Es importante aclarar que las aguas de nivel freático no son consideradas en el diseño, dado que la velocidad de entrega de estas aguas es muy lenta, por tanto desde la componente hidrológica e hidráulica no son consideradas, solamente la componente geotécnica tendrá en cuenta las aguas de nivel freático en el diseño de taludes considerando para ello la proyección de drenes horizontales y que tienen como objetivo evacuar el agua subterránea existente en el terreno, aliviando la presión de poros.

Se revisó el diseño geométrico del corredor vial, con el fin de identificar el sentido de drenaje de la vía y así tomar las medidas necesarias para su captación, control y descarga hacia las quebradas que cruzan el corredor vial, de manera tal que, se garantice el adecuado drenaje de la vía, permitiendo que las personas que transiten la vía lo hagan de manera segura. Dentro de las soluciones dadas al sistema de drenaje en el corredor vial, están las siguientes:

- Se proyectó cuneta vial con dimensiones B=1.20m H=0.25m y filtro francés bajo cuneta de dimensiones B=0.60mn H=1.00m, la localización de estas obras se especifica en el **Anexo E** y **Anexo G**.

- En los tramos donde no fue posible construir obra de drenaje y la cuneta triangular no cumplía capacidad hidráulica, se propuso una cuneta rectangular en concreto de dimensiones B=0,60m H=0.40m.

- En los casos donde una cuneta cruce un acceso a fincas, viviendas o locales comerciales, se debe garantizar el flujo de la obra y para ello se recomiendan pasa cunetas o cuneta batea.

A continuación, se pueden observar los diseños de las cunetas viales, cárcamos, cunetas a pie de talud, canales y geodrenes necesarios para garantizar el drenaje del corredor vial, así mismo se realiza la evaluación de las cunetas existentes identificadas.

2.6.5.1 Evaluación y Diseño Hidráulico de Cunetas Viales

Inicialmente, se evaluaron las cunetas proyectadas para estimar la capacidad hidráulica de éstas y así garantizar el adecuado drenaje. Los tramos de cunetas y sus respectivas dimensiones pueden observarse en el **Anexo G**.

Para la evaluación de la capacidad de la cuneta propuesta se calculó el caudal máximo que es capaz de transportar cada tramo de cuneta a partir de la ecuación de Manning considerando cada tramo de pendiente de la vía. En la **Tabla 10** se muestra las dimensiones de la sección de cuneta vial proyectada en concreto, la sección típica de cuneta triangular se puede observar en la **Figura 10**

Tabla 10. Dimensiones para Cuneta Triangular Proyectada en Concreto

CUNETA TRIANGULAR		Valor
Profundidad (m)	H =	0,20
Ancho hacia Calzada (m)	B1 =	0,56
Ancho hacia Talud (m)	B1 =	0,04
Inclinación hacia Calzada (Adi.)	z1 =	2,80
Inclinación hacia Talud (Adi.)	z2 =	0,20
Coeficiente de Rugosidad de Manning (Concreto)	n =	0,015
Ancho Superficial (m)	B =	0,60
Área Mojada (m2)	A =	0,06
Perímetro Mojado (m)	P =	0,80
Radio Hidráulico (m)	Rh =	0,08

Tabla 11. Dimensiones para Cuneta Rectangular Proyectada en Concreto

CUNETA RECTANGULAR		Valor
Profundidad (m)	H =	0,40
Ancho Superficial (m)	B =	0,60
Coeficiente de Rugosidad de Manning (Concreto)	n =	0,015
Área Mojada (m2)	A =	0,24
Perímetro Mojado (m)	P =	1,40
Radio Hidráulico (m)	Rh =	0,171

Las cunetas viales entregarán directamente a las obras de cruce o a la quebrada mediante estructuras de disipación de B=H=0.60m, en caso que la cuneta triangular no cumpla hidráulicamente se proyectaron obras de drenaje a lo largo de la vía que permitirán un adecuado drenaje del sector, para los tramos donde no fue posible hacer descargas nuevas, se proyectó un canal rectangular de 0,60m de ancho y 0,40m de altura, la ubicación de todas las obras se puede observar en el **Anexo E y Anexo G**.

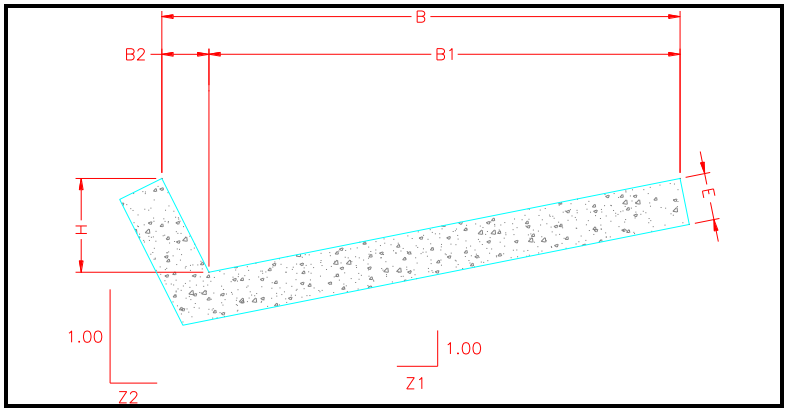


Figura 10. Esquema de la Sección de Cuneta proyectada en Concreto

2.6.5.2 Evaluación del Subdrenaje - Geodrén

Para la vía en estudio se diseñó un sub-drenaje tipo filtro francés con tubería de B=0,60m y H=1,00m (filtro bajo cuneta vial) con tubería perforada variable entre 4" (100m) y 6" (150mm) conformado por un geotextil, material granular y una tubería de fondo, el primer elemento cumple la función de captar y conducir las aguas del subsuelo a través del filtro, mientras que el segundo elemento constituye el medio filtrante. El geotextil utilizado es NT 2500 o similar, a continuación, se hará una evaluación del filtro francés considerando únicamente el aporte por infiltración y abatimiento de la vía.

El diámetro de filtro mayor a 6" obedece a aquellos tramos donde las pendientes de la vía son bajas y los tramos donde no es posible localizar obra de cruce, en el diseño de las obras se presentan tanto el cumplimiento de la capacidad hidráulica de las tuberías de 100mm y 150mm; y la capacidad del filtro para tamaños de agregado de ¾", 1" y 2, es importante tener en cuenta que el filtro debe estar mínimo 0,20m por debajo de la cuneta, este diseño se puede observar en el **Anexo D**, la

localización definitiva y los detalles específicos se pueden observar en el **Anexo F** y **Anexo G** respectivamente.

2.6.5.3 Diseño Estructuras de Disipación Obras de Cruce

Las estructuras de disipación a la salida o descole de las obras de cruce se proyectaron considerando escalones variables entre 0.60m y 1.00m y longitudes de huella de mínimo 1.00m. Las características del flujo para los escalones de cada una de las estructuras propuestas se pueden observar en el **Anexo D**. En esta tabla se puede observar que en el tramo de estructura con escalones se cumple flujo saltante o rasante, esto implica que las dimensiones propuestas permiten realizar una disipación de la energía, condición que se considera adecuada, en ningún caso se presenta flujo en transición que es una situación no recomendada en este tipo de estructuras.

2.6.6 Evaluación y Diseño de Obras de Cruce en Corrientes

En el presente numeral se muestra la evaluación hidráulica de las obras existentes por donde transitan corrientes permanentes en la zona de estudio y que se identificaron tanto en la visita de campo como en la cartografía del I.G.A.C., las obras tipo alcantarilla de cajón se evaluaron a partir del software HY-8.

Adicionalmente, se muestra la evaluación hidráulica de las obras proyectadas que drenan agua permanente, para ello se tuvo en cuenta el diseño geométrico y los chaflanes del proyecto, así como los sitios de quebrada. En el **Anexo D** adjunto a este informe se muestra la evaluación de las obras hidráulicas. La evaluación hidráulica de las obras se realizó considerando un periodo de retorno de 10 y 25 años, dependiendo de la altura o diámetro de la obra y un rango de caudales de operación entre los períodos de retorno entre 2.33 y 100 años. La evaluación y diseño de las obras se realizó con el software HY-8, que es un programa desarrollado por la Federal Highway Administration (FHWA) en cooperación con la Universidad Brigham Young, elaborado para realizar el análisis y diseño de estructuras de cruce en vías.

Se evaluaron las obras en estudio considerando para ello el caudal de diseño que se muestran en el **Anexo B**, sin embargo, por lo extenso de los resultados, estos se pueden observar en el **Anexo D** donde se puede apreciar el esquema de dimensionamiento de cada una de las obras evaluadas hidráulicamente con el HY-8, los resultados obtenidos para un rango de caudales, dentro de los cuales se encuentra el caudal de diseño.

De las figuras y de los resultados obtenidos del **Anexo D,** se puede ver que las obras de cruce cumplen hidráulicamente y son capaces de evacuar el caudal de diseño, además garantizan el control a la entrada de la estructura, ya que en todos los casos se demuestra que se cumple la condición de diseño (Hw (energía a la entrada) ≤ 1,20D). En los resultados se pueden apreciar las velocidades y profundidades de flujo para el caudal evaluado y se nota que las velocidades son menores que las permisibles en este tipo de estructuras que es de 15m/s en box culvert para un concreto de 28 MPa. Se puede ver además en cada uno de los esquemas que el flujo está contenido dentro de la estructura en toda ocasión para el caudal de diseño, por lo que las dimensiones de las obras hidráulicas se consideran adecuadas.

A continuación, en la **Tabla 7** se muestra el listado de las obras proyectadas y las dimensiones de cada una de estas estructuras, así mismo se muestra la obra existente en los tramos donde la vía nueva coincide con alguna vía actual.

Tabla 12. Resumen Obras con Corriente Permanente en la Zona de Estudio, Tramo1: Puente Iglesias-La Y, La Y– El Líbano

Abscisa	ID	Corriente	Sección	
			Obra Existente	Obra Propuesta
	PIL-1	Caño con agua No.1	Tubería de 24"	Tubería de 36"
	PIL-2	Caño con agua No.2	OBRA COLMATADA	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K0+288.00	PIL-3	Qda. Sin Nombre No. 1	PUENTE	PUENTE
K0+400.00	PIL-4	Qda. Sin Nombre No. 2	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K0+595.00	PIL-5	Qda. Sin Nombre No. 3	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K0+880.00	PIL-6	Qda. Sin Nombre No. 4	Alcantarilla de cajón B=2.70m H=3.00m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=3.00m
K1+092.00	PIL-7	Qda. Sin nombre No.5	Alcantarilla de cajón B=H=0.50m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K1+450.00	PIL-9	Qda. Sin nombre No.6	PUENTE	PUENTE

Abscisa	ID	Corriente	Sección	
			Obra Existente	Obra Propuesta
K1+590.00	PIL-10	Caño con agua No.3	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K0+285.00	PIL-13	Qda. Sin nombre No.7	OBRA COLMATADA	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K0+535.00	PIL-15	Qda. Sin nombre No.8	PUENTE	PUENTE
K1+101.00	PIL-18	Caño con agua No.4	Alcantarilla de cajón B=0.82m H=0.77m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K1+159.00	PIL-20	Caño con agua No.5	Tubería de 36"	-
K1+291.00	PIL-22	Qda. Sin nombre No.9	Alcantarilla de cajón B=2.0m H=2.5m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=2.50m
K1+590.00	PIL-23	Qda. Sin nombre No.10	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K1+644.00	PIL-24	Caño con agua No.6	Alcantarilla de cajón B=H=0.70m	Tubería de 36"
K1+830.00	PIL-26	Caño con agua No.7	Tubería de 24"	Tubería de 36"
K1+915.00	PIL-27	Qda. Sin nombre No.11	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K2+633.00	PIL-30	Qda. Sin nombre No.12	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K3+071.00	PIL-32	Caño con agua No.8	Tubería de 24"	Tubería de 36"
K3+117.00	PIL-33	Caño con agua No.9	Tubería de 24"	Tubería de 36"
K3+287.00	PIL-35	Qda. La Vainillala	Alcantarilla de cajón B=H=3.50m	-
K3+477.00	PIL-36	Qda. Sin nombre No.13	PUENTE	PUENTE
K3+600.00	PIL-38	Qda. Sin nombre No.14	Tubería doble de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K3+905.00	PIL-40	Caño con agua No.10	Tubería de 24"	Tubería de 36"
K4+025.00	PIL-41	Caño con agua No.11	Tubería de 24"	Tubería de 36"
K4+236.00	PIL-42	Caño con agua No.12	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K4+477.00	PIL-43	Qda. Sin nombre No.15	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m

Abscisa	ID	Corriente	Sección	
			Obra Existente	Obra Propuesta
K4+637.00	PIL-44	Qda. Sin nombre No.16	Alcantarilla de cajón B=1.50m H=0.50m	Pontón B=4.00m H=3.00m
K5+222.00	PIL-46	Qda. Sin nombre No.17	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K5+279.00	PIL-47	Qda. Sin nombre No.18	Tubería de 22"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K5+316.00	PIL-48	Qda. Sin nombre No.19	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K5+405.00	PIL-49	Qda. Sin nombre No.20	PUENTE	PUENTE
K5+677.00	PIL-52	Qda. Sin nombre No.21	Alcantarilla de cajón B=0.70m H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K5+834.00	PIL-53	Caño con agua No.13	OBRA NUEVA	Tubería de 36"
K5+852.00	PIL-54	Caño con agua No.14	NO HAY INFORMACION	Tubería de 36"
K6+043.00	PIL-56	Caño con agua No.15	Alcantarilla de cajón B=0.84m H=0.94m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K6+092.00	PIL-57	Caño con agua No.16	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K6+149.00	PIL-58	Caño con agua No.17	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K6+354.00	PIL-59	Qda. Sin nombre No.22	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K6+625.00	PIL-60	Qda. Sin nombre No.23	Tubería de 22"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K6+830.00	PIL-61	Caño con agua No.18	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K6+974.00	PIL-64	Qda. Sin nombre No.24	Alcantarilla de cajón B=H=0.50m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K7+107.00	PIL-65	Qda. Sin nombre No.25	Alcantarilla de cajón B=1.00m H=1.50m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K7+120.00	PIL-66	Caño con agua No.19	OBRA NUEVA	Tubería de 36"
K7+139.00	PIL-67	Caño con agua No.20	Tubería de 24"	Tubería de 36"
K7+167.00	PIL-68	Caño con agua No.21	Tubería de 36"	-

Abscisa	ID	Corriente	Sección	
			Obra Existente	Obra Propuesta
K7+197.00	PIL-69	Qda. Sin nombre No.26	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K7+557.00	PIL-71	Qda. Sin nombre No.27	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K7+766.00	PIL-73	Caño con agua No.22	Tubería de 24"	Tubería de 36"
K7+900.00	PIL-74	Qda. Sin nombre No.28	Alcantarilla de cajón B=1.30m H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K8+047.00	PIL-75	Qda. Sin nombre No.29	Tubería de 22"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K8+288.00	PIL-76	Qda. Sin nombre No.30	Tubería de 30"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K8+375.00	PIL-77	Qda. La Oculta	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m	-
K8+536.00	PIL-78	Caño con agua No.23	Tubería de 24"	Tubería de 36"
K8+798.00	PIL-80	Qda. Sin nombre No.31	Alcantarilla de cajón B=1.50 H=2.00m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K8+820.00	PIL-81	Qda. Sin nombre No.32	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K8+968.00	PIL-83	Qda. Sin nombre No.33	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K9+139.00	PIL-84	Qda. Sin nombre No.34	Tubería de 22"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K9+340.00	PIL-85	Qda. La Virgen	PUENTE	PUENTE
K9+475.00	PIL-87	Qda. Sin nombre No.35	Alcantarilla de cajón B=1.65m X H=1.77m	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K9+884.00	PIL-89	Qda. El Cerro	PUENTE	PUENTE
K10+212.00	PIL-92	Caño con agua No.24	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K10+258.00	PIL-93	Qda. Sin nombre No.36	Alcantarilla de cajón B=1.10m H=1.50m	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K10+470.00	PIL-95	Qda. Sin nombre No.37	Alcantarilla de cajón B=1.10m H=1.10m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m

Abscisa	ID	Corriente	Sección	
			Obra Existente	Obra Propuesta
K10+497.00	PIL-96	Qda. Sin nombre No.38	Alcantarilla de cajón B=1.00m H=1.20m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K10+840.00	PIL-99	Qda. Sin nombre No.39	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K11+145.00	PIL-101	Qda. Sin nombre No.40	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K11+336.00	PIL-102	Qda. Sin nombre No.41	Alcantarilla de cajón B=2.50m H=1.60m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K11+395.00	PIL-103	Qda. Sin nombre No.42	Alcantarilla de cajón B=0.67m H=0.80m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K11+494.00	PIL-104	Qda. Sin nombre No.43	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K11+685.00	PIL-105	Qda. Sin nombre No.44	Alcantarilla de cajón B=0.80m H=1.30m	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K11+780.00	PIL-106	Qda. La Yarumala	PUENTE	PUENTE
K11+853.00	PIL-107	Qda. Sin nombre No.45	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K12+001.00	PIL-110	Qda. Sin nombre No.46	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K12+248.00	PIL-111	Qda. Sin nombre No.47	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K12+375.00	PIL-112	Qda. Sin nombre No.48	Tubería de 28"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K12+435.00	PIL-113	Qda. Sin nombre No.49	Tubería de 28"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K12+596.00	PIL-115	Qda. Sin nombre No.50	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K13+036.00	PIL-118	Qda. Sin nombre No.51	Alcantarilla de cajón B=2.00m H=2.20m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K13+135.00	PIL-119	Qda. Sin nombre No.52	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K13+195.00	PIL-120	Qda. Sin nombre No.53	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m en concreto ciclópeo	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m

Tabla 13. Resumen Obras con Corriente Permanente en la Zona de Estudio, Vía La Virgen-Casablanca

Abscisa	ID	Corriente	Sección	
			Obra Existente	Obra Propuesta
K1+033.00	LVCB-2	Qda. La Oculta	Tubería doble de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K2+140.00	LVCB-3	Qda. Sin nombre No.1	Tubería de 16"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
K2+760.00	LVCB-4	Qda. La Virgen	SIN OBRA	Puente

Tabla 14. Resumen Obras con Corriente Permanente en la Zona de Estudio, Tramo 3: Acceso a Fincas hacia Pacífico II

Abscisa	ID	Corriente	Sección	
			Obra Existente	Obra Propuesta
K0+218.00	LLM-1	Qda. Sin nombre No.1	2 tuberías de 24" y tubería de 30"	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K1+873.00	LLM-3	Qda. La Virgen	LUZ=5.00m H=2.60m	Alcantarilla de cajón doble B=5.00m H=3.5m
K2+426.00	LLM-4	Qda. Sin nombre No.2	Tubería de 36"	Box DIM 2.50 X 2.50 m
K3+526.00	LLM-7	Caño con agua No.1	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
K3+736.00	LLM-8	Caño con agua No.2	Tubería de 18"	Alcantarilla de cajón B=H=1.00m
K3+908.00	LLM-9	Caño con agua No.3	2 tuberías de 12"	Tubería de 36"
K3+968.00	LLM-10	Qda. Sin nombre No.3	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K4+100.00	LLM-11	Qda. La Oculta	BATEA EN CONCRETO	PUENTE
K4+283.00	LLM-12	Qda. Sin nombre No.4	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=2.00m
K4+454.00	LLM-13	Caño con agua No.4	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K4+562.00	LLM-14	Qda. Sin nombre No.5	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K4+764.00	LLM-15	Qda. Sin nombre No.6	Tubería de 36"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m
K5+031.00	LLM-16	Qda. Sin nombre No.7	Tubería de 24"	Alcantarilla de cajón B=H=1.50m

Abscisa	ID	Corriente	Sección	
			Obra Existente	Obra Propuesta
K5+136.00	LLM-17	Caño con agua No.5	Tubería de 24"	Tubería de 36"
K5+346.00	LLM-18	Caño con agua No.6	Tubería de 24"	Tubería de 36"

En el **Anexo D**, se pueden ver los resultados de la modelación hidráulica a partir del software HY-8 y se puede notar que las obras cumplen hidráulicamente y cumplen condición de energía para el periodo de retorno de diseño.

En cuanto a los sitios de ponteadero se tiene que estos fueron concebidos dentro del diseño geométrico para el paso de las corrientes de caudal considerable; estos puentes tienen alturas desde la rasante al fondo del cauce mayores a 5,00m por lo que no hay probabilidad de que las estructuras sean afectadas por los caudales de creciente, adicionalmente, los estribos considerados para cada uno de los puentes que lo consideraron se encuentran por fuera del cauce.

De esta manera se tiene que los puentes proyectados cumplen con el borde libre mínimo permitido por el INVIAS (2011), donde el borde libre es la menor distancia entre la lámina de agua correspondiente al caudal de diseño, que en este caso es el caudal asociado a un periodo de retorno de 50 años y el canto inferior de las vigas del puente. En el caso de estudio se debe dejar un gálibo vertical mínimo de 2,00 metros por encima del nivel de aguas máximas (Tr=50 años) que corresponde a corrientes de agua relativamente limpias en toda época y que en algunos periodos transportan desechos, troncos y otros objetos voluminosos. Estos puentes se dimensionaron, y los resultados obtenidos específicos para cada uno de los puentes se pueden observar en el informe que se adjunta en el **Anexo I**.

A continuación, en la **Tabla 15 a Tabla 17** se pueden observar los puentes y las quebradas que cruzan.

Tabla 15. Resumen Obras con Corriente Permanente en la Zona de Estudio, Tramo1: Puente Iglesias-La Y, La Y– El Líbano

Abscisa	ID	Corriente	Obra	Luz (m)
K0+288.00	PIL-3	Qda. Sin Nombre No. 1	Puente	15,00
K1+450.00	PIL-9	Qda. Sin nombre No.6	Puente	25,00
K0+535.00	PIL-15	Qda. Sin nombre No.8	Puente	15,00
K3+477.00	PIL-36	Qda. Sin nombre No.13	Puente	15,00

Abscisa	ID	Corriente	Obra	Luz (m)
K5+405.00	PIL-49	Qda. Sin nombre No.20	Puente	25,00
K9+340.00	PIL-85	Qda. La Virgen	Puente	15,00
K9+884.00	PIL-89	Qda. El Cerro	Puente	15,00
K11+780.00	PIL-106	Qda. La Yarumala	Puente	25,00

Tabla 16. Resumen Obras con Corriente Permanente en la Zona de Estudio, Vía La Virgen-Casablanca

Abscisa	ID	Corriente	Obra	Luz (m)
K2+760.00	LVCB-4	Qda. La Virgen	Puente	25,00

Tabla 17. Resumen Obras con Corriente Permanente en la Zona de Estudio, Vía La Lorena-Maratón

Abscisa	ID	Corriente	Obra	Luz (m)
K1+873.00	LLM-3	Qda. La Virgen	Alcantarilla de Cajón Doble B=5,00m H=3,50m	10,00
K4+100.00	LLM-11	Qda. La Oculta	Puente	25,00

El detalle y especificaciones de estas obras proyectadas se pueden ver en los planos hidráulicos (**Anexo G**) y en los planos estructurales asociados al proyecto.

En cuanto a la localización de las obras de cruce para corrientes, se tienen que estas están en función del alineamiento de la vía proyectada y del alineamiento de la quebrada según el caso. Con respecto al eje de la vía proyectada, las obras pueden ser preferiblemente normales aunque pueden presentar un ángulo de sesgo o esviaje cuando se trata de cruces de corrientes en los cuales se conserva la dirección del drenaje natural. Ver **Figura 16**.

2.6.7 Cálculo del Espesor de la Lámina de Agua – Hidroplaneo

El fenómeno de hidroplaneo involucra una gran cantidad de factores. El único de ellos que puede ser controlado a través del diseño y de la construcción del pavimento, es el espesor de la película de agua. Otros factores, como el comportamiento del conductor, la presión de inflado, el labrado de los neumáticos y

la intensidad de las lluvias son claramente ajenos a la gobernabilidad del diseñador (INVIAS, 2011). En el **Anexo D** se muestran los resultados obtenidos por el método de Gallaway y por el método de Horne y Dreher para el lado izquierdo y derecho de la calzada, ambas metodologías se presentaron al inicio del presente capítulo.

2.7 ESTUDIO DE SOCAVACIÓN Y APLICACIÓN TEORÍAS DE SOCAVACIÓN

En el presente capítulo se muestra la estimación de la socavación general en los sitios de corriente permanente y la socavación a la salida de las obras de cruce.

2.7.1 Metodología

2.7.1.1 Metodología para el Cálculo de la Socavación General

Para estimar la socavación general en el lecho se utilizó la teoría de Lischtvan – Levediev (Suarez, 2001) en la que la condición de equilibrio se alcanza cuando Vr = Ve.

Donde:

Vr: Velocidad de arrastre de la corriente.

Ve: Velocidad que se necesita para arrastrar el material.

De acuerdo a esta condición, la profundidad de socavación para suelos granulares se define como:

$$H_S = \left(\frac{\alpha H_O^{5/3}}{0{,}68\,\beta\,\phi\,D_{50}^{0.28}} \right)^{1/1+x} \qquad \text{Con:} \qquad \alpha = \frac{Q_{Tr}}{H_m^{5/3}\,B_e \mu}$$

Donde:

HS: Profundidad medida desde la lámina de agua hasta el fondo al pasar la creciente en m.

H0: Profundidad de flujo antes de la erosión en m.

Hm: Profundidad hidráulica promedio de la sección en m.

β: Coeficiente que depende de la frecuencia con que se presente el gasto de diseño, en este caso la probabilidad de que se presente el gasto de diseño correspondiente a 100 años de período de retorno.

ϕ: Coeficiente que depende de la concentración del material de fondo. Para una mezcla agua – sedimento de 1,10 (10% de sedimento), se obtiene un coeficiente ϕ = 1,13.

D50: Diámetro medio de las partículas de fondo en mm.

x: Exponente variable que está en función del Diámetro medio de las partículas de fondo (mm), los valores del exponente X se encuentran en (Suarez, 2001).

Be: Ancho superficial promedio de la sección en m.

μ: Coeficiente que depende del grado de contracción del cauce, los valores pueden ser consultados en la referencia (Suarez, 2001).

2.7.1.2 Metodología para el Cálculo de Socavación a la Salida de Obras

Las alcantarillas generan concentraciones de aguas, las cuales producen a la salida varios procesos asociados, así:

- Socavación por flujo concentrado, si el fondo de la estructura se encuentra descubierto.
- Erosión aguas abajo de la estructura por chorros concentrados de agua a velocidades generalmente altas. Estos chorros pueden producir cárcavas de erosión de gran magnitud, si la fuerza tractiva de la corriente es superior a la resistencia a la erosión.

Breusers y Raudhivi (1991) recomiendan utilizar las siguientes expresiones para determinar la profundidad, y la longitud de las fosas de socavación aguas abajo de las alcantarillas, de la siguiente manera:

Profundidad de Socavación Ys:

$$\frac{Y_S}{D} = 0.65\left(\frac{V}{V_C^*}\right)^{1/3}$$

Donde:

V: Velocidad promedio de la alcantarilla en m/s.

D: Diámetro de la alcantarilla en m.

V*c: Velocidad cortante crítica para el material del suelo en m/s.

2.7.2 Resultados de Socavación

Para la calzada en estudio, se estimó la socavación a la salida de las obras de cruce, ya que serían las obras que generarían un impacto al cauce natural y por tanto se considera necesario dimensionar las obras de protección requeridas y la profundidad de la llave de entrada de salida, teniendo en cuenta lo anterior, se obtuvieron las profundidades de socavación para cada una de las obras y que se pueden observar en el **Anexo D**, por tanto se considera esta dimensión la profundidad de diseño de las llaves de entrada y salida.

Para los puentes, los resultados obtenidos y su análisis se pueden observar en el **Anexo I**.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizado el estudio hidrológico, el diseño hidráulico de las obras de cruce proyectadas, el diseño de las obras de drenaje y la estimación de la socavación y que hacen parte de los *"ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA POR EL SISTEMA DE VALORIZACIÓN",* en la vía San Jerónimo-Loma Hermosa, se tienen las siguientes conclusiones de importancia.

3.1 ESTUDIO HIDROLÓGICO

a. Para el cálculo de los caudales de las cuencas principales y de las áreas aferentes del corredor vial, se consideraron los usos del suelo obtenidos del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras (I.G.A.C, 2007).

b. Es importante mencionar que las cuencas existentes en el corredor vial, no cuentan con registros de caudales máximos instantáneos, por tanto, se hizo uso de métodos lluvia-escorrentía como lo es la Ecuación Racional.

c. Para el cálculo de los caudales máximos a las obras de cruce se utilizó la Ecuación Racional, esto para las áreas aferentes a las obras de drenaje y las cuencas encontradas en el tramo en estudio con área menor a 2,50 km², en el **Anexo B** se puede encontrar toda la información de los caudales máximos para cada una de las cuencas en estudio.

d. Para las cuencas mayores a 2,50 km² (quebrada La Playita) se aplicaran la Ecuación Racional y las hidrógrafas unitarias; se encontraron otras dos cuencas (río Aurra y quebrada Sopetrana) con área mayor a 2,50 km², sin embargo, estas dos cuencas no serán estudiadas en el presente informe, ya que requieren un estudio particular.

3.2 ESTUDIO HIDRÁULICO

e. En el estudio se hizo énfasis al diseño de las obras requeridas para captar el flujo superficial proveniente de la vía y taludes, con el fin de darle continuidad al drenaje en la vía.

f. Se realizó la evaluación y el diseño de las obras hidráulicas requeridas a lo largo del corredor vial, a continuación, en la **Tabla 18** se muestra un resumen de la cantidad de obras existentes y obras nuevas en la vía en estudio.

Tabla 18. Cantidad de Obras Existentes y Proyectadas en el Corredor Vial Puente Iglesias-La Y, La Y-El Líbano

Tipo de Obra Existente	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	108
Alcantarilla de Cajón	39
Obras de Drenaje tipo Batea	0
Puentes	8
Sin identificar	15
Total Obras Existentes	**170**
Tipo de Obras Existentes a Conservar	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	17
Alcantarilla de Cajón	3
Total Obras a Conservar	**20**
Tipo de Obras Existentes a Remplazar	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	91
Alcantarilla de Cajón	36
Obras de Drenaje tipo Batea	0
Puentes	8
Sin identificar	15
Total Obras a Remplazar	**150**
Tipo de Obras Nuevas	**Cantidad**

Alcantarilla Circular	20
Alcantarilla de Cajón	0
Puentes	8
Pontón	1
Total Obras Nuevas	**29**

Tabla 18. (Continuación) Cantidad de Obras Existentes y Proyectadas en el Corredor Vial La Virgen-Casablanca

Tipo de Obra Existente	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	24
Alcantarilla de Cajón	0
Obras de Drenaje tipo Batea	1
Sin identificar	1
Total Obras Existentes	**26**
Tipo de Obras Existentes a Conservar	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	1
Alcantarilla de Cajón	0
Total Obras a Conservar	**1**
Tipo de Obras Existentes a Remplazar	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	23
Alcantarilla de Cajón	0
Obras de Drenaje tipo Batea	1
Sin identificar	1
Total Obras a Remplazar	**25**
Tipo de Obras Nuevas	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	2
Alcantarilla de Cajón	7
Puentes	1
Total Obras Nuevas	**10**

Tabla 18. (Continuación) Cantidad de Obras Existentes y Proyectadas en el Corredor Vial La Lorena-Maratón

Tipo de Obra Existente	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	50
Alcantarilla de Cajón	0
Obras de Drenaje tipo Batea	1

Puentes	1
Sin identificar	1
Total Obras Existentes	53
Tipo de Obras Existentes a Conservar	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	12
Alcantarilla de Cajón	0
Total Obras Existentes a conservar	**12**
Tipo de Obras Existentes a Remplazar	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	38
Alcantarilla de Cajón	0
Obras de Drenaje tipo Batea	1
Puentes	1
Sin identificar	0
Total Obras a Remplazar	**40**
Tipo de Obras Nuevas	**Cantidad**
Alcantarilla Circular	7
Alcantarilla de Cajón	3
Alcantarilla de Cajón Doble	1
Puentes	1
Total Obras Nuevas	**12**

g. Es importante mencionar que la alcantarilla de cajón LLM-12 que corresponde a un box de B=H=2,00m, requiere de una campana a la entrada, de dimensiones H=0.3D=0.6m y B=1.2D=2.40m, tal que cumpla la condición de energía a la entrada, el detalle de la campana requerida en dicha obra se puede observar en el Anexo H.

h. Se realizó una simulación hidráulica de cada una de las obras de cruce con el software HY-8. Las obras proyectadas se pueden visualizar en el **Anexo D y Anexo E** adjunto a este informe donde se observa la simulación hidráulica y la ubicación de las obras a lo largo del corredor vial.

i. Los puentes nuevos que harán parte de la vía son viaductos entre 15,00m y 25,00m de luz, estas estructuras tienen gálibos a la viga inferior de 2,00m por encima del nivel de aguas máximas considerado que acorde con el INVÍAS es el asociado a 50 años de periodo de retorno, adicionalmente, se tiene que los estribos de los puentes se localizan por fuera del cauce, exceptuando el puente sobre la quebrada La Virgen (LLM-4) en el corredor La Lorena-Maratón que por las condiciones de diseño vial, estos estribos se localizan sobre toda la llanura de inundación y estará expuesto ante socavación por estribos y contracción, socavación que fue definida para el diseño de la cimentación, de igual manera se garantizó que los puentes tengan galibo suficiente para evacuar los caudales de diseño.

j. Es importante mencionar que previo a la construcción de las obras de drenaje en el tramo de vía se debe investigar el sitio por donde cruzan las redes existentes de servicios en los sitios urbanos, si es necesario remover alguna de estas redes se debe solicitar a la dependencia correspondiente del municipio de San Jerónimo o a la entidad competente la ejecución de estos trabajos o la autorización para ejecutarlos.

k. Adicionalmente, se diseñó el subdrenaje correspondiente a un filtro francés con tubería perforada bajo cuneta vial de dimensiones B=0.60m y H=1.00m y diámetro variable entre 4” y 6”, siendo los diámetros mayores a 6” requeridos en aquellos tramos donde la pendiente longitudinal de la vía sea muy baja y la tubería de 4” no cumple hidráulicamente, o porque el área de talud considerada sea muy grande.

l. Se realizó la sectorización del drenaje para identificar las obras de drenaje requeridas. Teniendo en cuenta lo anterior, se diseñaron cunetas viales para dar continuidad al flujo, adicionalmente, para aquellos tramos donde la cuneta vial no tenía capacidad hidráulica y las obras de drenaje no fueron posibles de ubicar se proyectó cuneta rectangular en concreto de B=0,60m y H=0,40m.

m. Es necesario hacer revisión estructural de las alcantarillas de cajón existentes y que cumplen hidráulicamente, ya que estas están construidas en concreto ciclópeo y varias de ellas por el alineamiento de la calzada deben prolongarse. En caso tal, de que estructuralmente deban cambiarse, las dimensiones propuestas pueden ser las mismas o las dadas hidráulicamente y que pueden verse en el **Anexo G**.

n. Las dimensiones de las cunetas y geodrenes se pueden visualizar en el **Anexo G**.

o. En el **Anexo H** se muestra el informe y los planos planta-perfil de cada uno de los puentes que hacen parte del corredor vial con las manchas de inundación de aquellas quebradas que cruzan los puentes propuestos.

4. BIBLIOGRAFÍA

- CHOW, Ven Te., MAIDMENT, David R. y MAYS, Larry W. Hidrología Aplicada. Colombia: Mc Graw-Hill S.A, 1994.

- CHOW, Ven Te. Hidráulica de canales abiertos. Colombia: Mc Graw Hill, 1982, página 111, tabla 5.6.

- HENDERSON, F. M. Open Channel Flow. New York: Macmillan Publishing Co., Inc., Pag. 200, 1966.

- I.G.A.C., Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Tomos I, II y III. Departamento de Antioquia. 2007.

- INVIAS, Manual de Drenaje para Carreteras. Ministerio de Transporte e Instituto Nacional de Vías. Diciembre de 2011.

- MAIDMENT, David R. Handbook of hydrology. Unites States of America: Mc Graw-Hill, 1993, Capítulo 4.

- MAIDMENT, David R. y MAYS, Larry W. Hidrología Aplicada. Colombia: Nomos S.A, 1994.

- PAVCO. Manual de Diseño de Geosintéticos. Departamento de Ingeniería. Novena Edición. Colombia, 2012.

- SMITH, Ricardo y VÉLEZ, María Victoria. Hidrología de Antioquia. Medellín: Secretaría de Obras Públicas del departamento de Antioquia, 1997.

- SOTELO, Ávila, Gilberto. Hidráulica General Tomo I. Ed. Limusa. México D. F. 1997.

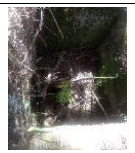
- SUÁREZ, Jaime. Control de Erosión en Zonas Tropicales. Ed. Universidad Industrial de Santander. 2001VARGAS, Rodrigo. Curvas Sintéticas de Intensidad-Duración-

Frecuencia para Colombia. Magíster en Ingeniería Civil Universidad de los Andes. Santa Fe de Bogotá. 1998.

- VÉLEZ, María Victoria y SMITH, Ricardo. Hidrología de Antioquia. Medellín: Secretaría de Obras Públicas del departamento de Antioquia, 1997.

LA LORENA - MARATÓN

CONSECUTIVO OBRA	No. CUENCA	ABSCISA	TIPO DE OBRA	SECCIÓN EXISTENTE	TIPO DE OBRA	SECCIÓN PROPUESTA	OBSERVACION	OE= OBRA EXISTENTE / ON= OBRA NUEVA		FOTO
1	LLM-OD1	K0+080,00	Alcantarilla Circular	36"	-	-	Área aferente No.1: A Conservar	OE	-	 
2	LLM-OD2	K0+147,00	Alcantarilla Circular	36"	-	-	Área aferente No.2: A Conservar	OE	-	 
3	LLM-1	K0+218,00	Alcantarilla Circular	2 Φ24" y 30"	Alcantarilla de Cajón	B=2.00m H=2.00m	Qda. Sin nombre No.1: Hay dos tuberías colmatadas y una aleta volcada Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
4	LLM-OD3	K0+266,00	-	-	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.3: Obra nueva	-	ON	
5	LLM-OD4	K0+356,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.4: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
6	LLM-OD5	K0+422,00	-	-	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.5: Obra nueva	-	ON	
7	LLM-OD6	K0+465,00	Alcantarilla Circular	36"	-	-	Área aferente No.6: Salida colmatada, requiere mantenimiento A Conservar	OE	-	 

CONSECUTIVO OBRA	No. CUENCA	ABSCISA	TIPO DE OBRA	SECCIÓN EXISTENTE	TIPO DE OBRA	SECCIÓN PROPUESTA	OBSERVACION	OE= OBRA EXISTENTE / ON= OBRA NUEVA		FOTO
8		K0+587,00	SIN INFORMACIÓN	Obra Colmatada a Demoler	-	-	Área aferente A: Colmatada A demoler	OE	-	 
9	LLM-OD7	K0+654,00	Alcantarilla Circular	36"	-	-	Área aferente No.7: Poceta colmatada, requiere mantenimiento A Conservar	OE	-	 
10	LLM-OD8	K0+815,00	Alcantarilla Circular	36"	-	-	Área aferente No.8: A Conservar	OE	-	 
11	LLM-OD9	K0+912,00	-	-	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Área aferente No.9: Obra nueva	-	ON	
12	LLM-OD10	K0+958,00	Alcantarilla Circular	36"	-	-	Área aferente No.10: Poceta y descole colmatados, requiere mantenimiento y estructura de disipación A Conservar	OE	-	 
13	LLM-OD11	K1+100,00	-	-	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Área aferente No.11: Obra nueva	-	ON	
14	LLM-OD12	K1+234,00	-	-	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.12: Obra nueva	-	ON	

CONSECUTIVO OBRA	No. CUENCA	ABSCISA	TIPO DE OBRA	SECCIÓN EXISTENTE	TIPO DE OBRA	SECCIÓN PROPUESTA	OBSERVACION	OE= OBRA EXISTENTE / ON= OBRA NUEVA		FOTO
15	LLM-2	K1+416,00	Alcantarilla Circular	36"	-	-	Cauce intermitente No.1: Requiere mantenimiento y adecuar descole A Conservar	OE	-	
16	LLM-OD13	K1+493,00	-	-	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.13: Obra nueva	-	ON	
17	LLM-OD14	K1+582,00	Alcantarilla Circular	36"	-	-	Área aferente No.14: Colmatda, requiere mantenimiento A Conservar	OE	-	
18	LLM-OD15	K1+688,00	Alcantarilla Circular	36"	-	-	Área aferente No.15: Poceta colmatada A Conservar	OE	-	
19	LLM-OD16	K1+784,00	Alcantarilla Circular	36"	-	-	Área aferente No.16: A Conservar	OE	-	
20	LLM-3	K1+873,00	Puente	Luz=5.00m H=2.60m	Puente	Luz=15.00m H=3.75m	Qda. La Virgen: Obra Existente a Demoler	OE	ON	
21	LLM-OD17	K1+916,00	Alcantarilla Circular	36"	-	-	Área aferente No.17: Requiere mantenimiento A Conservar	OE	-	

CONSECUTIVO OBRA	No. CUENCA	ABSCISA	TIPO DE OBRA	SECCIÓN EXISTENTE	TIPO DE OBRA	SECCIÓN PROPUESTA	OBSERVACION	OE= OBRA EXISTENTE / ON= OBRA NUEVA		FOTO
22	LLM-OD18	K2+091,00	-	-	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.18: Obra nueva	-	ON	
23	LLM-OD19	K2+183,00	Alcantarilla Circular	32"	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.19: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
24	LLM-OD20	K2+312,00	Alcantarilla Circular	36"	-	-	Área aferente No.20: Colmatada, requiere mantenimiento A Conservar	OE	-	 
25	LLM-4	K2+426,00	Alcantarilla Circular	36"	Alcantarilla de Cajón	B=2.50m H=2.50m	Qda. Sin nombre No.2: Hay un muro en llantas para contención de vía Obra Existente a Demoler	OE	ON	  
26	LLM-5	K2+475,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Cauce intermitente No.2: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
27	LLM-OD21	K2+700,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.21: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
28	LLM-6	K2+954,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Cauce intermitente No.3: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 

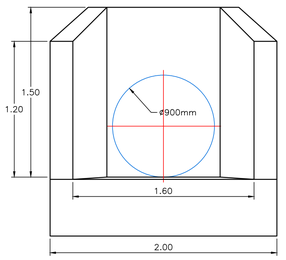
CONSECUTIVO OBRA	No. CUENCA	ABSCISA	TIPO DE OBRA	SECCIÓN EXISTENTE	TIPO DE OBRA	SECCIÓN PROPUESTA	OBSERVACION	OE= OBRA EXISTENTE / ON= OBRA NUEVA		FOTO
29	LLM-OD22	K3+041,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Área aferente No.22: Obra Existente a Demoler	OE	ON	
30	LLM-OD23	K3+156,00	-	-	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Área aferente No.23: Obra nueva	-	ON	
31	LLM-OD24	K3+256,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.24: Colmatada Obra Existente a Demoler	OE	ON	
32	LLM-OD25	K3+335,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Área aferente No.25: Obra Existente a Demoler	OE	ON	
33	LLM-OD26	K3+412,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Área aferente No.26: Obra Existente a Demoler	OE	ON	
34	LLM-7	K3+526,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Caño con agua No.1: Hay agua empozada, se debe adecuar el descole Obra Existente a Demoler	OE	ON	
35	LLM-8	K3+736,00	Alcantarilla Circular	18"	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Caño con agua No.2: Obra Existente a Demoler	OE	ON	

CONSECUTIVO OBRA	No. CUENCA	ABSCISA	TIPO DE OBRA	SECCIÓN EXISTENTE	TIPO DE OBRA	SECCIÓN PROPUESTA	OBSERVACION	OE= OBRA EXISTENTE / ON= OBRA NUEVA		FOTO
36	LLM-OD27	K3+833,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Área aferente No.27: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
37	LLM-9	K3+908,00	Alcantarilla Circular	2Φ12"	Alcantarilla Circular	36"	Caño con agua No.3: Entrada colmatada Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
38	LLM-10	K3+968,00	Alcantarilla Circular	36"	Alcantarilla de Cajón	B=2.00m H=2.00m	Qda. Sin nombre No.3: Se debe adecuar el descole Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
39	LLM-11	K4+110,00	Batea	Batea en concreto	Puente	Luz=25.00m	Qda. La Oculta: Batea en concreto Obra Existente a Demoler	OE	ON	    
40	LLM-12	K4+309,00	Alcantarilla Circular	36"	Alcantarilla de Cajón	B=2.00m H=2.00m	Qda. Sin nombre No.4: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
41	LLM-13	K4+480,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.50m H=1.50m	Caño con agua No.4: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 

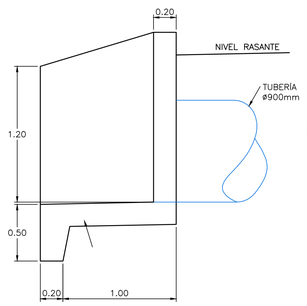
CONSECUTIVO OBRA	No. CUENCA	ABSCISA	TIPO DE OBRA	SECCIÓN EXISTENTE	TIPO DE OBRA	SECCIÓN PROPUESTA	OBSERVACION	OE= OBRA EXISTENTE / ON= OBRA NUEVA		FOTO
42	LLM-14	K4+590,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.50m H=1.50m	Qda. Sin nombre No.5: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
43	LLM-15	K4+789,00	Alcantarilla Circular	36"	Alcantarilla de Cajón	B=1.50m H=1.50m	Qda. Sin nombre No.6: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
44	LLM-OD28	K4+872,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.28: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
45	LLM-16	K5+057,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.50m H=1.50m	Qda. Sin nombre No.7: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
46	LLM-17	K5+162,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Caño con agua No.5: Obra Existente a Demoler	OE	ON	
47	LLM-18	K5+372,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Caño con agua No.6: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
48	LLM-OD28A	K5+470,00	-	-	Alcantarilla Circular	36"	Obra de drenaje No.28A: Obra nueva	-	ON	

CONSECUTIVO OBRA	No. CUENCA	ABSCISA	TIPO DE OBRA	SECCIÓN EXISTENTE	TIPO DE OBRA	SECCIÓN PROPUESTA	OBSERVACION	OE= OBRA EXISTENTE / ON= OBRA NUEVA		FOTO
49	LLM-OD29	K5+622,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.29: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
50	LLM-OD30	K5+703,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.30: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
51	LLM-OD31	K5+805,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Área aferente No.31: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
52	LLM-OD32	K5+910,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Área aferente No.32: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
53	LLM-19	K6+030,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Cauce intermitente No.4: Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
54	LLM-OD33	K6+140,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.33: Colmatada a la entrada Obra Existente a Demoler	OE	ON	 
55	LLM-OD34	K6+252,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Área aferente No.34: Colmatada Obra Existente a Demoler	OE	ON	 

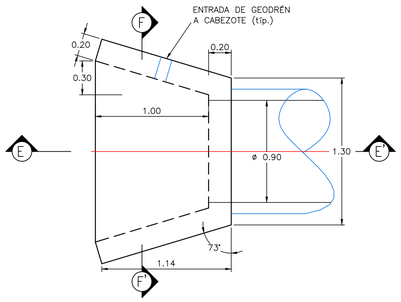
CONSECUTIVO OBRA	No. CUENCA	ABSCISA	TIPO DE OBRA	SECCIÓN EXISTENTE	TIPO DE OBRA	SECCIÓN PROPUESTA	OBSERVACION	OE= OBRA EXISTENTE / ON= OBRA NUEVA		FOTO
56	LLM-20	K6+312,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Cauce intermitente No.5: Se debe adecuar encole de obra y construir estructura de disipación que conecte con la obra LLM-21. Obra Existente a Demoler	OE	ON	
57	LLM-21	K6+426,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Cauce intermitente No.6: Obra Existente a Demoler	OE	ON	
58	LLM-OD35	K6+517,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.35: Obra Existente a Demoler	OE	ON	
59	LLM-OD36	K6+618,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.36: Obra Existente a Demoler	OE	ON	
60	LLM-OD37	K6+702,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.37: Obra Existente a Demoler	OE	ON	
61	LLM-OD38	K6+803,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla Circular	36"	Área aferente No.38: Obra Existente a Demoler	OE	ON	
62	LLM-OD39	K6+887,00	Alcantarilla Circular	24"	Alcantarilla de Cajón	B=1.00m H=1.00m	Área aferente No.39: Obra Existente a Demoler	OE	ON	



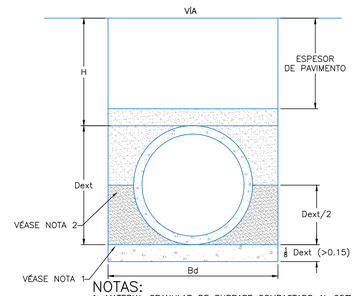
ELEVACIÓN FRONTAL
CABEZOTE DE SALIDA
ESCALA 1:25



SECCIÓN E–E'
ESCALA 1:25

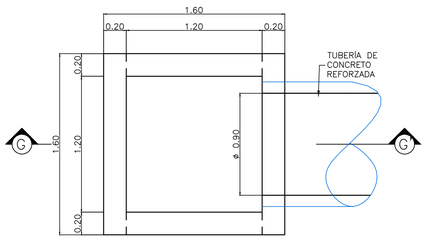


PLANTA CABEZOTE
DE SALIDA
ESCALA 1:25

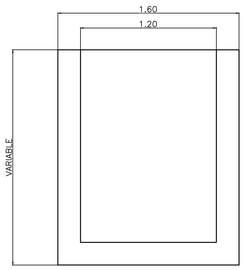


NOTAS:
1. MATERIAL GRANULAR DE SUBBASE COMPACTADO AL 95% DEL PROCTOR MODIFICADO NORMA INVIAS 661
2. MATERIAL SELECCIONADO PARA LLENO
3. ANCHO DE ZANJA Bd=1.80m

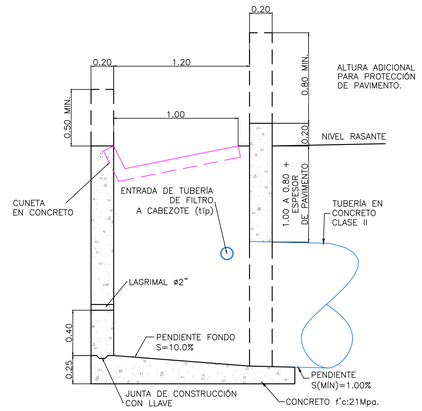
CIMENTACIÓN PARA TUBERIA DE CONCRETO REFORZADO CLASE II H MAYOR O IGUAL A 0.90 M PARA OBRAS DE CRUCE
ESCALA. 1:25



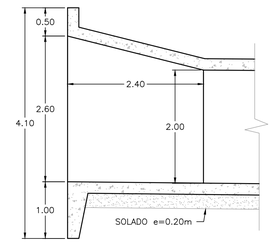
PLANTA POCETA
ESCALA 1:25



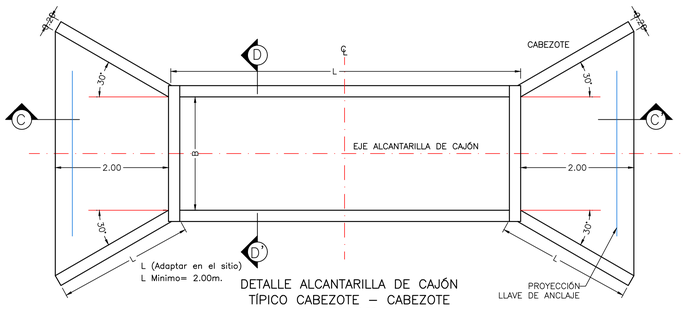
SECCIÓN G–G'
REFUERZO PAREDES
ESCALA 1:25



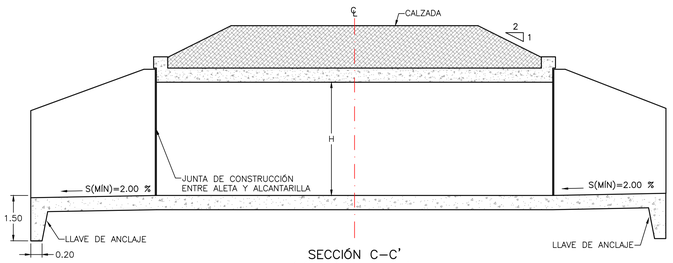
SECCIÓN G–G'
ESCALA 1:25



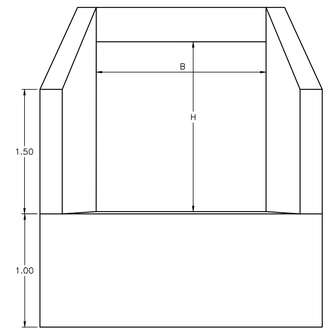
DETALLE DE CAMPANA EN
ALCANTARILLA DE CAJÓN PROYECTADA
PARA OBRA LLM–12
ESCALA 1:50



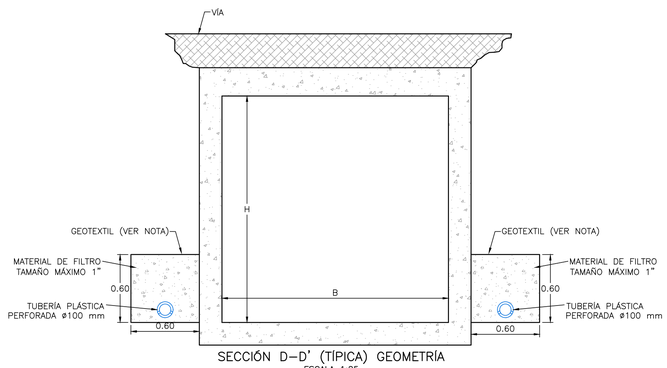
DETALLE ALCANTARILLA DE CAJÓN
TÍPICO CABEZOTE – CABEZOTE
ESCALA 1:50



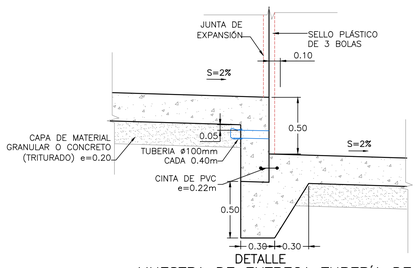
SECCIÓN C–C'
(TÍPICA) GEOMETRÍA
ESCALA 1:50



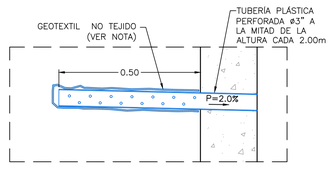
ELEVACIÓN FRONTAL CABEZOTE DE ENTRADA Y SALIDA
ALCANTARILLA DE CAJÓN
ESCALA 1:25



SECCIÓN D–D' (TÍPICA) GEOMETRÍA
ESCALA 1:25



DETALLE
MUESTRA DE ENTREGA TUBERÍA DE
FILTRO LATERAL EN CADA ESCALÓN
ESCALA 1 : 25



DETALLE LLORADERO
ESCALA 1:10

FECHA	RESPONSABLE	DIBUJO	MODIFICACION

GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA
PIENSA EN GRANDE
GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA
INGENIEROS CIVILES S.A.S

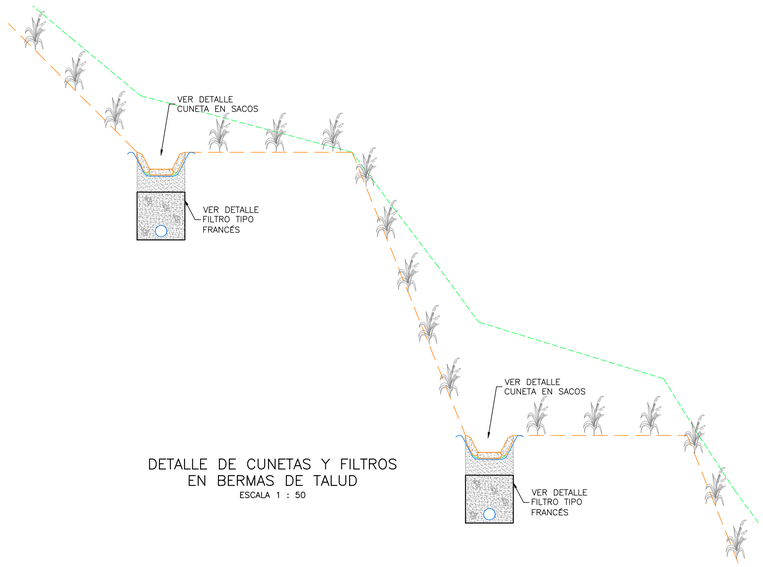
PROYECTO:
CONSULTORÍA PARA LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA POR EL SISTEMA DE VALORIZACIÓN

CONTIENE:
DETALLES OBRAS PROYECTADAS

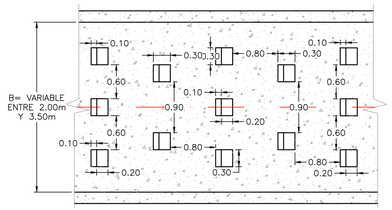
DIRECTOR DE ESTUDIOS Y DISEÑOS:
Ing. BEATRIZ ELENA ACOSTA ÁNGEL
Mat. N° 05202 – 48631 Ant.

DISEÑADOR:
Ing. GLORIA JENNY MEJIA SIERRA
Mat. N° 05202 – 08696 Ant

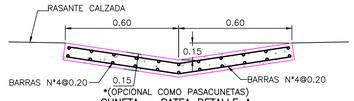
CONTRATISTA: ARREDONDO MADRID INGENIEROS CIVILES S.A.S (AIM S.A.S)
No DE CONTRATO: 4600007123 de 2017
ESCALA: INDICADAS
FECHA: ABRIL/2018
APROBÓ:
GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA
ARCHIVO:
Detalles Obras Proyectadas\AIM-CGDA-PLYEL-V0.dwg
PLANO: 01 / 02



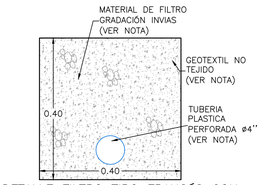
DETALLE DE CUNETAS Y FILTROS
EN BERMAS DE TALUD
ESCALA 1 : 50



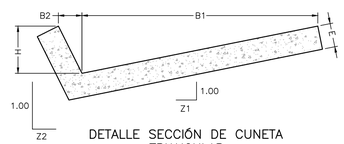
DETALLE EN PLANTA DE BAFLES
ESCALA 1:50



*(OPCIONAL COMO PASACUNETAS)
CUNETA – BATEA DETALLE A
ESCALA 1:20



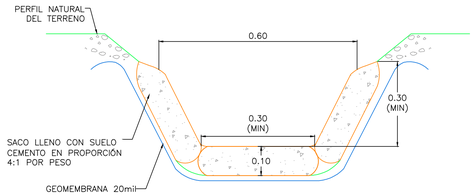
DETALLE FILTRO TIPO FRANCÉS CON
TUBERIA EN BERMAS
ESCALA 1:10



DETALLE SECCIÓN DE CUNETA
TRIANGULAR
ESCALA 1:20

DIMENSIÓN PARA CUNETA TRIANGULAR PROYECTADA						
CUNETA	B1 (m)	B2 (m)	H (m)	Z1	Z2	E (m)
TRIANGULAR	0.56	0.04	0.20	2.80	0.20	0.15

DIMENSIONES PARA CUNETA RECTANGULAR PROYECTADA		
CUNETA	B (m)	H (m)
RECTANGULAR	0.60	0.40



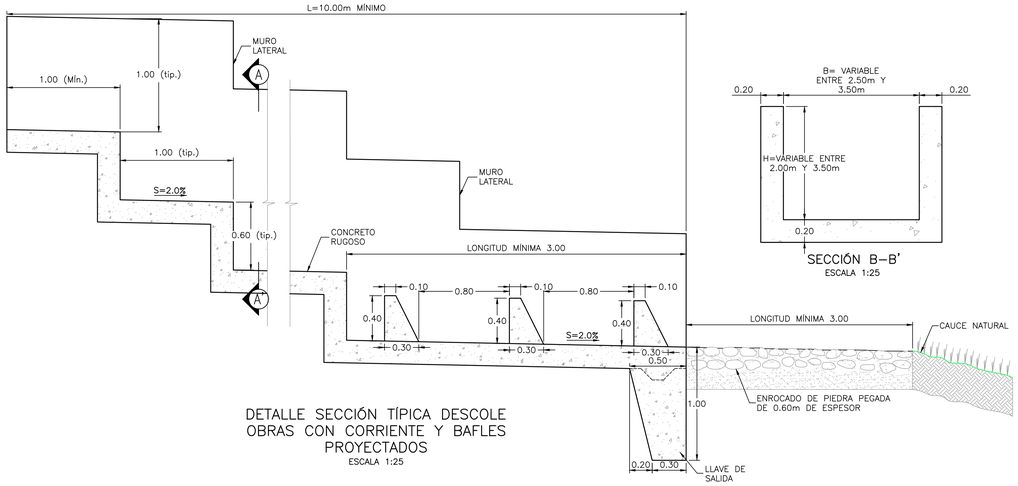
CUNETA EN SACOS DE SUELO CEMENTO
PARA BERMAS
ESCALA 1:10

ESPECIFICACIONES:

- LOS SACOS SERÁN DE GEOTEXTIL TEJIDO. COMPUESTO POR HILOS DE POLIPROPILENO, DE DIMENSIONES COMERCIALES, APROXIMADAMENTE 0,6 X 0,9 m.
- EL VOLUMEN A EMPACAR EN CADA SACO SERÁ TAL QUE EL ESPESOR MÁXIMO DEL SACO LLENO SEA DE 0,20 m.
- EL SUELO A UTILIZAR NO DEBE CONTENER MATERIA ORGÁNICA, MÍNIMO EL 80% DEBE PASAR LA MALLA No 4 Y LOS FINOS DEBEN TENER UN LÍMITE LÍQUIDO INFERIOR A 50% E INDICE DE PLASTICIDAD INFERIOR A 25%.
- SE DEBE UTILIZAR CEMENTO PORTLAND TIPO 1, CUMPLIENDO LAS ESPECIFICACIONES PARA EL CONCRETO.
- LA RELACIÓN SUELO CEMENTO ES DE 4:1, ES DECIR, EN UNA MEZCLA SE SUELO CEMENTO DE 100 Kg. 87.5 KILOS SERÁN DE SUELO Y 14.6 kg DE CEMENTO.
- EL SUELO CEMENTO SE COMPACTARÁ EN EL COSTAL A UNA DENSIDAD MÍNIMA DEL 90% DE LA OBTENIDA EN UN ENSAYO PROCTOR ESTANDAR.
- LAS JUNTAS ENTRE SACOS DEBERÁN SER SELLADAS CON SUELO CEMENTO CONSERVANDO LA MISMA RELACIÓN DE LOS SACOS. LA COMPACTACIÓN PUEDE REALIZARSE CON PISÓN MANUAL EVITANDO ROMPER EL COSTAL DURANTE EL PROCESO.

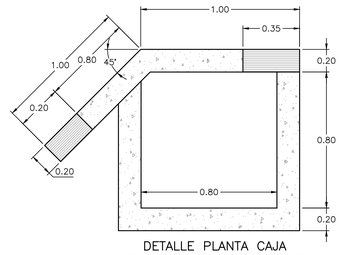
NOTAS:

1. TODAS LA UNIDADES ESTAN DADAS EN METROS A NO SER QUE SE INDIQUE OTRA UNIDAD.
2. NO TOMAR MEDIDAS SOBRE EL PLANO.
3. COMO REGLA GENERAL EN TODO EL CORREDOR VIAL, SE DEBE CONTROLAR LA ENTRADA DEL AGUA LATERALMENTE A LA ESTRUCTURA DE LA VÍA.
4. LAS ALCANTARILLAS DE CAJÓN PROYECTADAS HAN SIDO DISEÑADAS EN TODOS LOS CASOS PARA ATENDER LA CRECIENTE CON PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS, LA DIMENSIÓN MÍNIMA CONSIDERADA ES DE 1.50m DE ALTURA.
5. LOS FILTROS SON TIPO FRANCÉS PARA RONDAS DE CORONACIÓN CON TUBERÍA, LAS ESPECIFICACIONES DE TELA GEOTEXTIL TIPO NO TEJIDO SON:
RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO: 350N (79lb)
TAMAÑO ABERTURA APARENTE: 0.15mm (TAMÍZ N°100)
PERMITIVIDAD: 1.7 S−1
PERMEABILIDAD: $29x10^{-2}$ cm/s
ESPESOR: 1.70mm
6. COMO SISTEMA DE SUB−DRENAJE GENERAL SE VERIFICÓ UN FILTRO TIPO FRANCÉS CON TUBERÍA PERFORADA CON SECCIÓN DE B=0,50m Y H=1,00m, LA TUBERÍA PERFORADA ES VARIABLE ACORDE A LOS TRAMOS INDICADOS EN LA TABLA QUE SE MUESTRA EN EL PRESENTE PLANO, ESTOS DIÁMETROS CUMPLEN HIDRÁULICAMENTE PARA EL CAUDAL DE DISEÑO, ES IMPORTANTE MENCIONAR QUE SE PROYECTARON TRAMOS CON TUBERÍA HASTA DE 6" (150mm) ESTO DEBIDO A LAS LONGITUDES TAN LARGAS QUE PRESENTA EL CORREDOR EN ALGUNOS TRAMOS SIN OBRA DE CRUCE DONDE REALIZAR LA DESCARGA.
7. PARA EL MATERIAL DE COBERTURA DE LOS FILTROS SE DEBE EMPLEAR ARENA O MATERIAL DRENANTE, ÉSTE DEBE ESTAR LIMPIO DE MATERIA ORGÁNICA Y DE ARCILLA.
8. LAS CARACTERÍSTICAS DEL GEOTEXTIL SON LAS MISMAS QUE SE PRESENTAN EN LA NOTA NÚMERO 5.
9. LA TUBERÍA PARA FILTRO DEBE SER PERFORADA, IGUAL O SIMILAR A LA PVC.
10. LAS CUNETAS LATERALES ADYACENTES A LA VÍA ESTÁN DISEÑADAS PARA UNA CRECIENTE ASOCIADA A UN PERÍODO DE RETORNO DE 10 AÑOS, LA DESCARGA DE LAS CUNETAS SE REALIZARÁ A LAS OBRAS DE CRUCE O A LAS ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN.
11. PARA LOS TRAMOS DONDE LA CUNETA TRIANGULAR NO CUMPLE HIDRÁULICAMENTE Y NO FUE POSIBLE PROYECTAR OBRA NUEVA, SE PROYECTÓ UNA CUNETA RECTANGULAR EN CONCRETO CICLÓPEO DE B=0.60m H=0.40m.
12. LOS EMPALMES DE LAS CUNETAS EN LA VÍA NO DEBEN SOBRESALIR DEL PAVIMENTO.
13. LAS CURVAS DE NIVEL MOSTRADAS CORRESPONDEN AL TERRENO EXISTENTE LEVANTADO IN SITU DURANTE LA EJECUCIÓN DEL CONTRATO.
14. LA LOCALIZACIÓN DEFINITIVA DE LAS OBRAS EN EL MOMENTO DE SU CONSTRUCCIÓN PODRÁ MODIFICARSE DE ACUERDO A LAS CONDICIONES REALES DE CAMPO, PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INTERVENTORÍA.
15. EL MATERIAL QUE SE EMPLEE COMO FILTRO ESTA CONFORMADO POR MATERIALES DURABLES, LIBRES DE PARTICULAS DESCOMPUESTAS Y CON UNA GRANULOMETRIA COMPRENDIDA ENTRE 3/4", 1" Y 2".
16. LA LONGITUD ESTIMADA PARA LAS ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN ES DE 15.00m, LA LONGITUD MÁXIMA SE DETERMINARÁ EN CONJUNTO CON LA INTERVENTORÍA EN CAMPO.
17. PARA LAS OBRAS DE CRUCE QUE TRANSPORTAN CORRIENTE PERMANENTE, SE DEBE CONSIDERAR ESTRUCTURA DE ENCOLE Y DESCOLE QUE PERMITAN LA ENTRADA ADECUADA DEL FLUJO A LO LARGO DEL CONDUCTO.
18. EL FUNCIONAMIENTO DE TODAS LAS OBRAS DE DRENAJE PROPUESTAS EN LOS PLANOS DEBEN SER MONITOREADAS PERMANENTEMENTE PARA VERIFICAR LA EFICACIA DE LA SOLUCIÓN Ó REALIZAR LOS CORRECTIVOS NECESARIOS.
19. EN EL TRAMO DE ESTUDIO SE LOCALIZAN VARIAS OBRAS EXISTENTES QUE CUMPLEN HIDRÁULICAMENTE, PERO ESTAS NO CUMPLEN EL LLENO SUPERIOR DE LA VÍA, PARA ESTOS CASOS SE DEBE CONSULTAR AL INGENIERO GEOTÉCNISTA Y ESTRUCTURAL PARA DAR LA RECOMENDACIÓN DE LLENO PARA PROTECCIÓN DE LA TUBERÍA.
20. LAS LONGITUDES DE LAS OBRAS QUE SE MUESTRAN EN LOS PLANOS GENERALES DE DISEÑO PODRÁN SER AJUSTADAS Y MODIFICADAS, PREVIA ACEPTACIÓN DE LA INTERVENTORÍA DE OBRA.
21. LA RESISTENCIA DEL CONCRETO PARA LAS POCETAS, CABEZOTES, CANALES, CUNETAS Y ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN ES DE 28 MPa A LOS 28 DÍAS.
22. LA RESISTENCIA DEL ACERO ES DE 42 MPa.
23. PARA LA ADECUACIÓN DE LAS ALCANTARILLAS, CUNETAS Y CANALES SE DEBERÁ RETIRAR GRAVAS Y BOLAS O FRAGMENTOS DE ROCAS SUPERFICIALES QUE SE ENCUENTREN SUELTOS SOBRE EL ESTRATO DE CIMENTACIÓN DE LA ESTRUCTURA.
24. VER ESPESORES DE LOSA, FONDO, PAREDES Y REFUERZO Y CIMENTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS EN EL INFORME Y PLANOS ESTRUCTURALES REALIZADOS PARA EL PROYECTO Y ANEXOS A ESTE ESTUDIO.
25. LAS ESPECIFICACIONES GEOTÉCNICAS SE DEBEN CONSULTAR EN EL INFORME DE DISEÑO REALIZADO PARA EL PROYECTO EN ESTUDIO.
26. DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DEBE VERIFICARSE LA CORRECTA DISPOSICIÓN DE TUBERÍAS Y DESCOLES EN LAS VERTIENTES EN LOS TALUDES ADYACENTES, ESPECIALMENTE, SE LE SOLICITA AL CONTRATISTA REALIZAR UNA INVESTIGACIÓN DE LAS REDES HÚMEDAS Y SECAS DEL CORREDOR VIAL ANTES DE INICIAR CONSTRUCCIÓN.



DETALLE SECCIÓN TÍPICA DESCOLE
OBRAS CON CORRIENTE Y BAFLES
PROYECTADOS
ESCALA 1:25

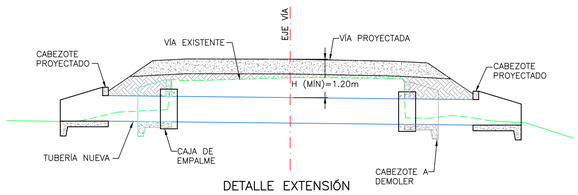
SECCIÓN B–B'
ESCALA 1:25



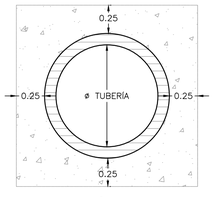
DETALLE PLANTA CAJA
EMPALME DE PASACUNETAS
ESCALA 1:25



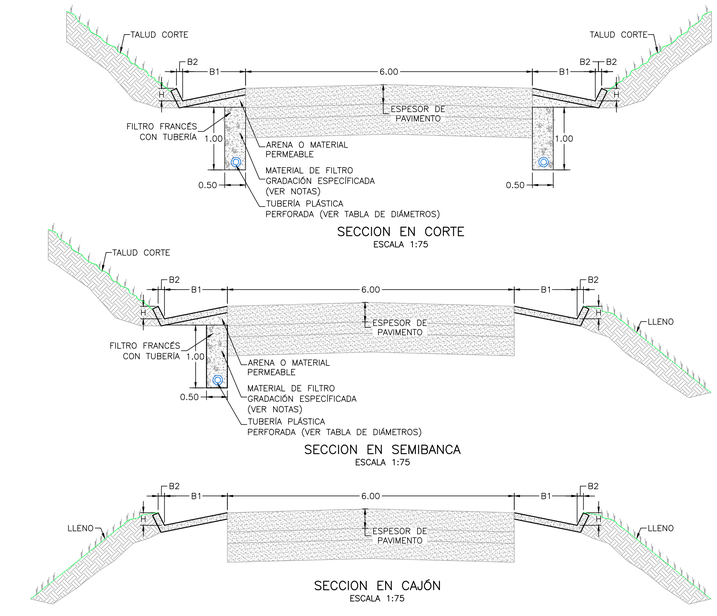
PLANTA EXTENSIÓN
OBRAS EXISTENTES
ESCALA 1:100



DETALLE EXTENSIÓN
OBRAS EXISTENTES
ESCALA 1:100



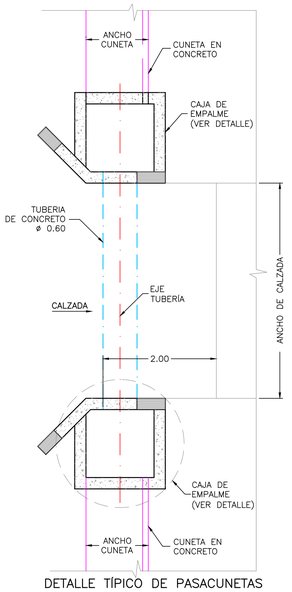
SECCIÓN B–B
ESCALA 1:25



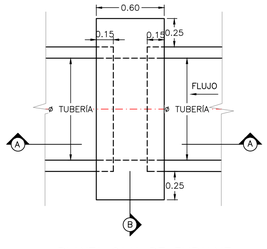
SECCION EN CORTE
ESCALA 1:75

SECCION EN SEMIBANCA
ESCALA 1:75

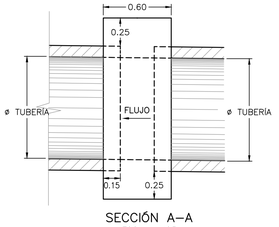
SECCION EN CAJÓN
ESCALA 1:75



DETALLE TÍPICO DE PASACUNETAS
ESCALA 1:50



PLANTA CAJA DE EMPALME
ESCALA 1:25



SECCIÓN A–A
ESCALA 1:25

GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA
PIENSA EN GRANDE
GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA
INGENIEROS CIVILES S.A.S

PROYECTO:
CONSULTORÍA PARA LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA POR EL SISTEMA DE VALORIZACIÓN

CONTIENE:
DETALLES OBRAS PROYECTADAS

DIRECTOR DE ESTUDIOS Y DISEÑOS:
Ing. BEATRIZ ELENA ACOSTA ÁNGEL
Mat. N° 05202 – 49631 Ant.

DISEÑADOR:
Ing. GLORIA JEANY MEJÍA SIERRA
Mat. N° 05202 – 08656 Ant.

CONTRATISTA: ARREDONDO MADRID INGENIEROS CIVILES S.A.S (ANI S.A.S)
No DE CONTRATO: 4600007123 de 2017
ESCALA: INDICADAS
FECHA: ABRIL/2018
APROBÓ:
GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA
ARCHIVO:
Detalles Obras Proyectadas(ANI-CGR-PR/ES.-V0.dwg
PLANO: 02/02

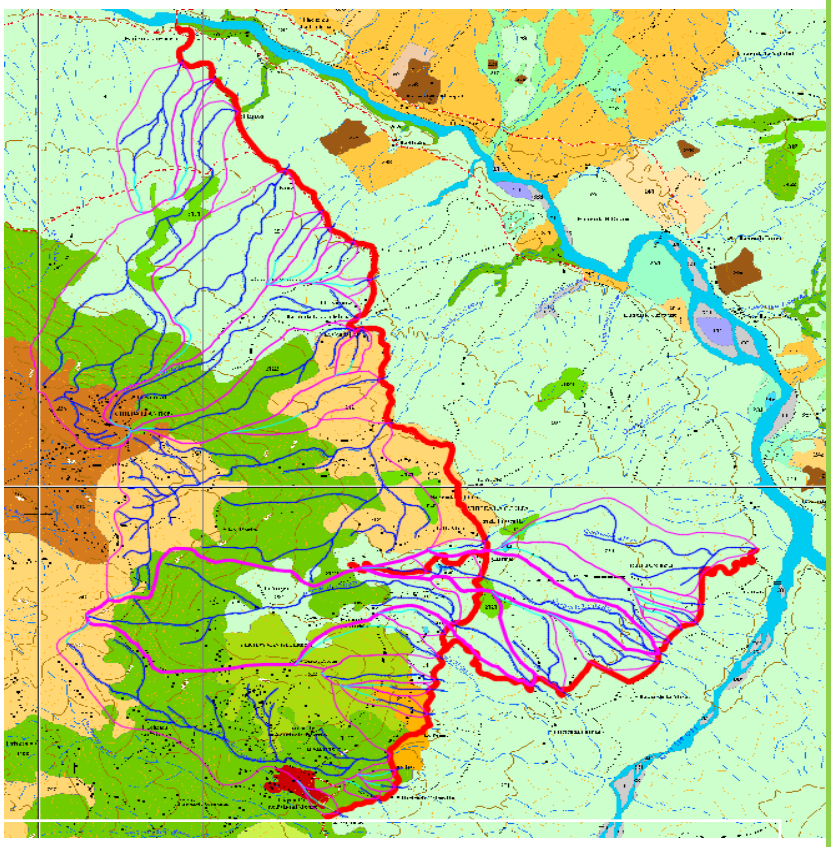
FECHA	RESPONSABLE	DIBUJO	MODIFICACION

AIM-INF-H&H-SUROESTE
VERSIÓN 0

INGENIEROS CIVILES S.A.S

CONSULTORÍA PARA LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA POR EL SISTEMA DE VALORIZACIÓN

ESTUDIO Y DISEÑO DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA SUROESTE
PUENTE IGLESIAS-LAY- EL LIBANO
LA LORENA MARATÓN – CASA BLANCA – LA VIRGEN
ANEXO I: INFORME PUENTES



CONTRATANTE:

GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA

PIENSA EN GRANDE

Carrera 81A No. 49 – 75
Conmutador: 440 00 40
E-mail: gtec1@aimingenieros.com.co

Medellín, diciembre de 2017

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1. INTRODUCCIÓN 17

1.1. OBJETIVO GENERAL 18
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18
1.3. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 19
1.4. METODOLOGÍA 22
1.4.1. Metodología para el Cálculo del Tiempo de Concentración 23
1.4.2. Metodología para el Cálculo de la Intensidad de Precipitación 25
1.4.3. Metodología para el Cálculo de Caudales Máximos con Información Escasa 25
1.4.4. Metodología para el Cálculo de los Perfiles de Flujo – Descripción del HEC-RAS 5.0.4 31
1.4.5. Metodología para el Cálculo de la Rugosidad por el Método de Cowan ... 31
1.4.6. Metodología para el Cálculo de la Socavación General 32
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA 33

2. ESTUDIO HIDROLÓGICO PUENTES 34

2.1. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS 35
2.2. CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN 37
2.3. FACTOR DE REDUCCIÓN EN EL ÁREA 38
2.4. CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN Y PRECIPITACIÓN TOTAL 39
2.5. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN 40
2.6. PRECIPITACIÓN PROMEDIA MULTIANUAL PONDERADA 42
2.6.1. Distribución de la Precipitación en el Tiempo 42
2.7. CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE CRECIENTE 42
2.7.1. Determinación del Coeficiente de Escorrentía Ponderado (C) 43
2.7.2. Cálculo de Pérdidas Hidrológicas 47
2.7.3. Resultados Obtenidos 53

3. ESTUDIO HIDRÁULICO PUENTE K0+288,00 PIL-3 66

3.1. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES EXISTENTES 66
3.1.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 66
3.1.2. Condiciones del Modelamiento 70
3.1.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Actuales 71
3.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES PROYECTADAS 73
3.2.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 73
3.2.2. Condiciones del Modelamiento 74
3.2.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Proyectadas 74
3.2.4. Cálculo de Socavación General del Cauce 77

4. ESTUDIO HIDRÁULICO PUENTE K1+450,00 PIL-9 80

4.1. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES EXISTENTES 80

4.1.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 80
4.1.2. Condiciones del Modelamiento 85
4.1.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Actuales 85
4.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES PROYECTADAS 88
4.2.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 88
4.2.2. Condiciones del Modelamiento 89
4.2.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Proyectadas 89
4.2.4. Cálculo de Socavación General del Cauce 91

5. ESTUDIO HIDRÁULICO PUENTE K0+535,00 PIL-15 93

5.1. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES EXISTENTES 93
5.1.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 93
5.1.2. Condiciones del Modelamiento 97
5.1.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Actuales 98
5.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES PROYECTADAS 100
5.2.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 100
5.2.2. Condiciones del Modelamiento 101
5.2.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Proyectadas ... 102
5.2.4. Cálculo de Socavación General del Cauce 104

6. ESTUDIO HIDRÁULICO PUENTE K3+477,00 PIL-36 106

6.1. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES EXISTENTES 106
6.1.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 106
6.1.2. Condiciones del Modelamiento 110
6.1.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Actuales 111
6.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES PROYECTADAS 113
6.2.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 113
6.2.2. Condiciones del Modelamiento 114
6.2.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Proyectadas ... 114
6.2.4. Cálculo de Socavación General del Cauce 117

7. ESTUDIO HIDRÁULICO PUENTE K5+405,00 PIL-49 118

7.1. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES EXISTENTES 118
7.1.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 118
7.1.2. Condiciones del Modelamiento 122
7.1.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Actuales 123
7.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES PROYECTADAS 125
7.2.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 125
7.2.2. Condiciones del Modelamiento 126
7.2.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Proyectadas ... 126
*7.2.4. Cálculo de Socavación General del Cauce .. **¡Error! Marcador no definido.***

8. ESTUDIO HIDRÁULICO PUENTE K9+340,00 PIL-85 130

8.1. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES EXISTENTES 130
8.1.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 130
8.1.2. Condiciones del Modelamiento 134
8.1.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Actuales 135
8.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES PROYECTADAS 137
8.2.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 137

8.2.2. Condiciones del Modelamiento ... 138
8.2.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Proyectadas ... 138
8.2.4. Cálculo de Socavación General del Cauce ... 140

9. ESTUDIO HIDRÁULICO PUENTE K9+884,00 PIL-89 ... 142

9.1. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES EXISTENTES ... 142
9.1.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica ... 142
9.1.2. Condiciones del Modelamiento ... 146
9.1.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Actuales ... 147
9.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES PROYECTADAS ... 149
9.2.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica ... 149
9.2.2. Condiciones del Modelamiento ... 150
9.2.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Proyectadas ... 150
9.2.4. Cálculo de Socavación General del Cauce ... 152

10. ESTUDIO HIDRÁULICO PUENTE K11+780,00 PIL-106 ... 154

10.1. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES EXISTENTES ... 154
10.1.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica ... 154
10.1.2. Condiciones del Modelamiento ... 158
10.1.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Actuales ... 159
10.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES PROYECTADAS ... 161
10.2.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica ... 161
10.2.2. Condiciones del Modelamiento ... 162
10.2.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Proyectadas ... 162
10.2.4. Cálculo de Socavación General del Cauce ... 164

11. ESTUDIO HIDRÁULICO PUENTE K2+760,00 LVCB-4 ... 166

11.1. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES EXISTENTES ... 166
11.1.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica ... 166
11.1.2. Condiciones del Modelamiento ... 170
11.1.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Actuales ... 171
11.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES PROYECTADAS ... 172
11.2.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica ... 173
11.2.2. Condiciones del Modelamiento ... 173
11.2.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Proyectadas ... 173
11.2.4. Cálculo de Socavación General del Cauce ... 176

12. ESTUDIO HIDRÁULICO PUENTE K1+873,00 LLM-3 ... 178

12.1. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES EXISTENTES ... 178
12.1.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica ... 178
12.1.2. Condiciones del Modelamiento ... 182
12.1.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Actuales ... 183
12.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES PROYECTADAS ... 185
12.2.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica ... 185
12.2.2. Condiciones del Modelamiento ... 186
12.2.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Proyectadas ... 186
12.2.4. Cálculo de Socavación General del Cauce ... 188

13. ESTUDIO HIDRÁULICO PUENTE K4+100,00 LLM-11 ... 191

13.1. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES EXISTENTES 191
13.1.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 191
13.1.2. Condiciones del Modelamiento 195
13.1.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Actuales 196
13.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES PROYECTADAS 198
13.2.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica 198
13.2.2. Condiciones del Modelamiento 199
13.2.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Proyectadas ... 199
13.2.4. Cálculo de Socavación General del Cauce 201

14. LIMITACIONES DEL ESTUDIO 203

14.1. INFORMACIÓN PRIMARIA 203
14.2. ESTUDIO HIDROLÓGICO 203
14.3. ESTUDIO HIDRÁULICO 203

15. CONCLUSIONES 204

15.1. ESTUDIO HIDROLÓGICO 204
15.2. ESTUDIO HIDRÁULICO 205

16. BIBLIOGRAFIA 1

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Localización Sitios de Estudio en el Corredor Vial Puente Iglesias- La Ye, La Ye- El Líbano y Ramales. Fuente: Elaboración Propia 19
Tabla 2. Porcentajes de Incidencia Estaciones en el Corredor Vial Puente Iglesias- La Ye, La Ye- El Líbano y Ramales. Fuente: Elaboración Propia 21
Tabla 3. Parámetros Morfométricos De Las Cuencas en Estudio. 35
Tabla 4. Tiempos de Concentración de las cuencas en Estudio. Fuente: Elaboración Propia 37
Tabla 5. Factor de Reducción Aplicado. Fuente: Elaboración Propia..... 39
Tabla 6. Intensidad de Precipitación y Precipitación Total. Fuente: Elaboración Propia... 39
Tabla 7. Precipitación Efectiva AMC II. Fuente: Elaboración Propia 40
Tabla 8. Precipitaciones Promedias Multianuales. Fuente: Elaboración Propia 42
Tabla 9. Reclasificación Usos del Suelo. Fuente: Elaboración Propia..... 45
Tabla 10. Porcentaje Usos del Suelo de la Zona en Estudio. Fuente: Elaboración Propia 45
Tabla 11. Coeficientes de Escorrentía Tabulados por Ven Te Chow. Fuente: Elaboración Propia 46
Tabla 12. Coeficientes de Escorrentía Ponderados. Fuente: Elaboración Propia..... 47
Tabla 13. Número de Curva (CN) para los Diferentes Usos del Suelo. Fuente: Elaboración Propia 47
Tabla 14. Valores del CN para la Cuenca en Estudio. Fuente: Elaboración Propia..... 53
Tabla 15. Resumen de Caudales Máximos PIL-3 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia 53
Tabla 16. Resumen de Caudales Máximos PIL-9 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia 54
Tabla 17. Resumen de Caudales Máximos PIL-15 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia ... 55
Tabla 18. Resumen de Caudales Máximos PIL-36 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia ... 56
Tabla 19. Resumen de Caudales Máximos PIL-49 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia ... 57
Tabla 20. Resumen de Caudales Máximos PIL-85 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia ... 58
Tabla 21. Resumen de Caudales Máximos PIL-89 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia ... 59
Tabla 22. Resumen de Caudales Máximos PIL-106 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia . 60
Tabla 23. Resumen de Caudales Máximos LVCB-4 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia . 61
Tabla 24. Resumen de Caudales Máximos LLM-3 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia.... 62
Tabla 25. Resumen de Caudales Máximos LLM-11 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia.. 63
Tabla 26. Caudales Máximos en los Sitios de Estudio. Fuente: Elaboración Propia 65
Tabla 27: Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning Básica en el Lecho. Fuente: Elaboración Propia..... 69
Tabla 28: Método de Cowan y Factores de Cálculo Utilizados. Fuente: Elaboración Propia 70
Tabla 29. Condiciones de Frontera para los Tramos de la Modelación Hidráulica 70
Tabla 30. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Existente 73
Tabla 31. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Existente AMC II 73
Tabla 32. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Proyectado..... 77
Tabla 33. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Proyectado AMC II 77
Tabla 34. Parámetros para el Cálculo de la Socavación General del Cauce. Fuente: Elaboración Propia..... 78
Tabla 35. Resultados para el Cálculo de Socavación General del Cauce Tr=50 años. Fuente: Elaboración Propia..... 79

Tabla 36: Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning Básica en el Lecho. Fuente: Elaboración Propia 84
Tabla 37: Método de Cowan y Factores de Cálculo Utilizados. Fuente: Elaboración Propia 84
Tabla 38. Condiciones de Frontera para los Tramos de la Modelación Hidráulica 85
Tabla 39. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Existente 87
Tabla 40. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Existente AMC II 87
Tabla 41. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Proyectado 91
Tabla 42. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Proyectado AMC II 91
Tabla 43. Parámetros para el Cálculo de la Socavación General del Cauce. Fuente: Elaboración Propia 91
Tabla 44. Resultados para el Cálculo de Socavación General del Cauce Tr=50 años. Fuente: Elaboración Propia 91
Tabla 45: Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning Básica en el Lecho. Fuente: Elaboración Propia 96
Tabla 46: Método de Cowan y Factores de Cálculo Utilizados. Fuente: Elaboración Propia 97
Tabla 47. Condiciones de Frontera para los Tramos de la Modelación Hidráulica 97
Tabla 48. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Existente 100
Tabla 49. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Existente AMC II 100
Tabla 50. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Proyectado 103
Tabla 51. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Proyectado AMC II 103
Tabla 52. Parámetros para el Cálculo de la Socavación General del Cauce. Fuente: Elaboración Propia 104
Tabla 53. Resultados para el Cálculo de Socavación General del Cauce Tr=50 años. Fuente: Elaboración Propia 104
Tabla 54: Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning Básica en el Lecho. Fuente: Elaboración Propia 109
Tabla 55: Método de Cowan y Factores de Cálculo Utilizados. Fuente: Elaboración Propia 110
Tabla 56. Condiciones de Frontera para los Tramos de la Modelación Hidráulica 110
Tabla 57. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Existente 113
Tabla 58. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Existente AMC II 113
Tabla 59. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Proyectado 116
Tabla 60. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Proyectado AMC II 116
Tabla 61. Parámetros para el Cálculo de la Socavación General del Cauce. Fuente: Elaboración Propia 117
Tabla 62. Resultados para el Cálculo de Socavación General del Cauce Tr=50 años. Fuente: Elaboración Propia 117
Tabla 63: Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning Básica en el Lecho. Fuente: Elaboración Propia 121
Tabla 64: Método de Cowan y Factores de Cálculo Utilizados. Fuente: Elaboración Propia 122
Tabla 65. Condiciones de Frontera para los Tramos de la Modelación Hidráulica 123
Tabla 66. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Existente 125
Tabla 67. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Existente AMC II 125
Tabla 68. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Proyectado 128
Tabla 69. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Proyectado AMC II 128

Tabla 70. Parámetros para el Cálculo de la Socavación General del Cauce. Fuente: Elaboración Propia 129
Tabla 71. Resultados para el Cálculo de Socavación General del Cauce Tr=50 años. Fuente: Elaboración Propia 129
Tabla 72: Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning Básica en el Lecho. Fuente: Elaboración Propia 133
Tabla 73: Método de Cowan y Factores de Cálculo Utilizados. Fuente: Elaboración Propia 134
Tabla 74. Condiciones de Frontera para los Tramos de la Modelación Hidráulica 134
Tabla 75. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Existente 137
Tabla 76. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Existente AMC II 137
Tabla 77. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Proyectado 140
Tabla 78. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Proyectado AMC II 140
Tabla 79. Parámetros para el Cálculo de la Socavación General del Cauce. Fuente: Elaboración Propia 141
Tabla 80. Resultados para el Cálculo de Socavación General del Cauce Tr=50 años. Fuente: Elaboración Propia 141
Tabla 81: Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning Básica en el Lecho. Fuente: Elaboración Propia 145
Tabla 82: Método de Cowan y Factores de Cálculo Utilizados. Fuente: Elaboración Propia 146
Tabla 83. Condiciones de Frontera para los Tramos de la Modelación Hidráulica 147
Tabla 84. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Existente 149
Tabla 85. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Existente AMC II 149
Tabla 86. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Proyectado 152
Tabla 87. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Proyectado AMC II 152
Tabla 88. Parámetros para el Cálculo de la Socavación General del Cauce. Fuente: Elaboración Propia 153
Tabla 89. Resultados para el Cálculo de Socavación General del Cauce Tr=50 años. Fuente: Elaboración Propia 153
Tabla 90: Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning Básica en el Lecho. Fuente: Elaboración Propia 157
Tabla 91: Método de Cowan y Factores de Cálculo Utilizados. Fuente: Elaboración Propia 158
Tabla 92. Condiciones de Frontera para los Tramos de la Modelación Hidráulica 158
Tabla 93. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Existente 161
Tabla 94. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Existente AMC II 161
Tabla 95. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Proyectado 164
Tabla 96. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Proyectado AMC II 164
Tabla 97. Parámetros para el Cálculo de la Socavación General del Cauce. Fuente: Elaboración Propia 165
Tabla 98. Resultados para el Cálculo de Socavación General del Cauce Tr=50 años. Fuente: Elaboración Propia 165
Tabla 99: Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning Básica en el Lecho. Fuente: Elaboración Propia 169
Tabla 100: Método de Cowan y Factores de Cálculo Utilizados. Fuente: Elaboración Propia 170
Tabla 101. Condiciones de Frontera para los Tramos de la Modelación Hidráulica 170
Tabla 102. Cotas de Fondo – Cruce Existente (Batea) 172

Tabla 103. Niveles Alcanzados – Cruce Existente (Batea) AMC II 172
Tabla 104. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Proyectado 175
Tabla 105. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Proyectado AMC II 175
Tabla 106. Parámetros para el Cálculo de la Socavación General del Cauce. Fuente: Elaboración Propia 176
Tabla 107. Resultados para el Cálculo de Socavación General del Cauce Tr=50 años. Fuente: Elaboración Propia 176
Tabla 108: Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning Básica en el Lecho. Fuente: Elaboración Propia 181
Tabla 109: Método de Cowan y Factores de Cálculo Utilizados. Fuente: Elaboración Propia 182
Tabla 110. Condiciones de Frontera para los Tramos de la Modelación Hidráulica 182
Tabla 111. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Existente 185
Tabla 112. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Existente AMC II 185
Tabla 113. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Proyectado 188
Tabla 114. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Proyectado AMC II 188
Tabla 115. Parámetros para el Cálculo de la Socavación General del Cauce. Fuente: Elaboración Propia 189
Tabla 116. Resultados para el Cálculo de Socavación General del Cauce Tr=50 años. Fuente: Elaboración Propia 189
Tabla 117: Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning Básica en el Lecho. Fuente: Elaboración Propia 194
Tabla 118: Método de Cowan y Factores de Cálculo Utilizados. Fuente: Elaboración Propia 195
Tabla 119. Condiciones de Frontera para los Tramos de la Modelación Hidráulica 195
Tabla 120. Cotas de Fondo – Cruce Existente 198
Tabla 121. Niveles Alcanzados – Cruce Existente AMC II 198
Tabla 122. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Proyectado 201
Tabla 123. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Proyectado AMC II 201
Tabla 124. Parámetros para el Cálculo de la Socavación General del Cauce. Fuente: Elaboración Propia 202
Tabla 125. Resultados para el Cálculo de Socavación General del Cauce Tr=50 años. Fuente: Elaboración Propia 202
Tabla 126. Caudales Máximos Sitio de Estudio. Fuente: Elaboración Propia 204

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Localización General De Los Sitios de Estudio. Fuente: Google Earth (2018) .. 20
Figura 2: Coeficientes del método de Cowan. Fuente: Chow, 1994 32
Figura 3. Localización de las Cuencas y Polígonos de Thiessen. Fuente: Elaboración Propia 34
Figura 4. Reducción de Área con Valores de la OMM. Fuente: Elaboración Propia..... 38
Figura 5.Distribución de Precipitación Mensual Promedio – Estación Hacienda Túnez ... 41
Figura 6.Distribución de Precipitación Mensual Promedio – Estación La Granja Nacional41
Figura 7.Distribución de Precipitación Mensual Promedio – Estación El Dique..... 41
Figura 8. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-3. Fuente: Elaboración Propia 54
Figura 9.Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-9. Fuente: Elaboración Propia 55
Figura 10. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-15. Fuente: Elaboración Propia..... 56
Figura 11. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-36. Fuente: Elaboración Propia..... 57
Figura 12. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-49. Fuente: Elaboración Propia..... 58
Figura 13. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-85. Fuente: Elaboración Propia..... 59
Figura 14 . Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-89. Fuente: Elaboración Propia..... 60
Figura 15. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-106. Fuente: Elaboración Propia..... 61
Figura 16. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – LVCB-4. Fuente: Elaboración Propia..... 62
Figura 17. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – LLM-3. Fuente: Elaboración Propia..... 63
Figura 18. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – LLM-11. Fuente: Elaboración Propia..... 64
Figura 19. Localización Sitio de Interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Existentes 68
Figura 20: Curva Granulométrica de la quebrada Sin Nombre No.1 usando material del lecho. Fuente: Elaboración Propia 69
Figura 21. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Actuales. Fuente: Elaboración Propia..... 71
Figura 22. Entrada (Sección 60) 72
Figura 23. Salida (Sección 60)..... 72
Figura 24. Perfil del Flujo de la Quebrada Sin Nombre No.1 Condiciones Existentes. Condición AMC II 72
Figura 25. Localización Sitio de interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Proyectadas..... 74
Figura 26. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Proyectadas..... 75
Figura 27. Sección 60 BR U..... 76

Figura 28. Sección 60 BR D 76
Figura 29. Perfil del Flujo de la quebrada–Condiciones Proyectadas. Condición AMCII .. 76
Figura 30. Localización Sitio de Interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Existentes 82
Figura 31: Curva Granulométrica de la quebrada Sin Nombre No.6 usando material del lecho. Fuente: Elaboración Propia 83
Figura 32. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Actuales 86
Figura 33. Entrada (Sección 46 BR U) 86
Figura 34. Salida (Sección 46 BR D) 86
Figura 35. Perfil del Flujo de la Quebrada Sin Nombre No.6 Condiciones Existentes. Condición AMC II 87
Figura 36. Localización Sitio de interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Proyectadas 88
Figura 37. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Proyectadas 90
Figura 38. Sección 46 BR U 90
Figura 39. Sección 46 BR D 90
Figura 40. Perfil del Flujo de la quebrada–Condiciones Proyectadas. Condición AMCII .. 90
Figura 41. Localización Sitio de Interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Existentes 95
Figura 42: Curva Granulométrica de la quebrada Sin Nombre No.8 usando material del lecho. Fuente: Elaboración Propia 96
Figura 43. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Actuales 98
Figura 44. Entrada (Sección 25 BR U) 99
Figura 45. Salida (Sección 25 BR D) 99
Figura 46. Perfil del Flujo de la Quebrada Sin Nombre No.8 Condiciones Existentes. Condición AMC II 99
Figura 47. Localización Sitio de interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Proyectadas 101
Figura 48. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Proyectadas 102
Figura 49. Sección 25 BR U 102
Figura 50. Sección 25 BR D 102
Figura 51. Perfil del Flujo de la quebrada–Condiciones Proyectadas. Condición AMCII 103
Figura 52. Localización Sitio de Interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Existentes 108
Figura 53: Curva Granulométrica de la quebrada Sin Nombre No.13 usando material del lecho. Fuente: Elaboración Propia 109
Figura 54. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Actuales 111
Figura 55. Entrada (Sección 25 BR U) 112
Figura 56. Salida (Sección 25 BR D) 112
Figura 57. Perfil del Flujo de la Quebrada Sin Nombre No.13 Condiciones Existentes. Condición AMC II 112
Figura 58. Localización Sitio de interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Proyectadas 114
Figura 59. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Proyectadas 115
Figura 60. Sección 25 BR U 115
Figura 61. Sección 25 BR D 115
Figura 62. Perfil del Flujo de la quebrada–Condiciones Proyectadas. Condición AMCII 116
Figura 63. Localización Sitio de Interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Existentes 120

Figura 64: Curva Granulométrica de la quebrada Sin Nombre No.20 usando material del lecho. Fuente: Elaboración Propia 121
Figura 65. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Actuales 123
Figura 66. Entrada (Sección 23 BR U) 124
Figura 67. Salida (Sección 23 BR D) 124
Figura 68. Perfil del Flujo de la Quebrada Sin Nombre No.20 Condiciones Existentes. Condición AMC II 124
Figura 69. Localización Sitio de interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Proyectadas 126
Figura 70. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Proyectadas 127
Figura 71. Sección 25 BR U 127
Figura 72. Sección 25 BR D 127
Figura 73. Perfil del Flujo de la quebrada–Condiciones Proyectadas. Condición AMCII 128
Figura 74. Localización Sitio de Interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Existentes 132
Figura 75: Curva Granulométrica de la quebrada La Virgen usando Material del Lecho. Fuente: Elaboración Propia 133
Figura 76. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Actuales 135
Figura 77. Entrada (Sección 25 BR U) 136
Figura 78. Salida (Sección 25 BR D) 136
Figura 79. Perfil del Flujo de la Quebrada La Virgen Condiciones Existentes. Condición AMC II 136
Figura 80. Localización Sitio de interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Proyectadas 138
Figura 81. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Proyectadas 139
Figura 82. Sección 25 BR U 139
Figura 83. Sección 25 BR D 139
Figura 84. Perfil del Flujo de la quebrada–Condiciones Proyectadas. Condición AMCII 140
Figura 85. Localización Sitio de Interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Existentes 144
Figura 86: Curva Granulométrica de la quebrada El Cerro usando material del lecho. Fuente: Elaboración Propia 145
Figura 87. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Actuales 147
Figura 88. Entrada (Sección 25 BR U) 148
Figura 89. Salida (Sección 25 BR D) 148
Figura 90. Perfil del Flujo de la Quebrada El Cerro Condiciones Existentes. Condición AMC II 148
Figura 91. Localización Sitio de interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Proyectadas 150
Figura 92. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Proyectadas 151
Figura 93. Sección 25 BR U 151
Figura 94. Sección 25 BR D 151
Figura 95. Perfil del Flujo de la quebrada–Condiciones Proyectadas. Condición AMCII 152
Figura 96. Localización Sitio de Interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Existentes 156
Figura 97: Curva Granulométrica de la quebrada La Yarumala usando Material del Lecho. Fuente: Elaboración Propia 157
Figura 98. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Actuales 159
Figura 99. Entrada (Sección 25 BR U) 160

Figura 100. Salida (Sección 25 BR D) 160
Figura 101. Perfil del Flujo de la Quebrada La Yarumala Condiciones Existentes. Condición AMC II 160
Figura 102. Localización Sitio de interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Proyectadas 162
Figura 103. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Proyectadas 163
Figura 104. Sección 25 BR U 163
Figura 105. Sección 25 BR D 163
Figura 106. Perfil del Flujo de la quebrada–Condiciones Proyectadas. Condición AMCII 164
Figura 107. Localización Sitio de Interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Existentes 168
Figura 108: Curva Granulométrica de la quebrada La Virgen usando material del lecho. Fuente: Elaboración Propia 169
Figura 109. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Actuales 171
Figura 110. Sección 45.42. Justo aguas arriba del cruce existente con la vía (Batea) ... 171
Figura 111. Sección 41.36. Justo aguas abajo del cruce existente con la vía (Batea) 171
Figura 112. Perfil del Flujo de la quebrada La Virgen Condiciones Existentes. Condición AMC II 172
Figura 113. Localización Sitio de interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Proyectadas 173
Figura 114. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Proyectadas 174
Figura 115. Sección 18 BR U 174
Figura 116. Sección 18 BR D 174
Figura 117. Perfil del Flujo de la quebrada–Condiciones Proyectadas. Condición AMCII 175
Figura 118. Localización Sitio de Interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Existentes 180
Figura 119: Curva Granulométrica de la quebrada La Virgen usando material del lecho. Fuente: Elaboración Propia 181
Figura 120. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Actuales 183
Figura 121. Entrada (Sección 90 BR U) 184
Figura 122. Salida (Sección 90 BR D) 184
Figura 123. Perfil del Flujo de la Quebrada La Virgen Condiciones Existentes. Condición AMC II 184
Figura 124. Localización Sitio de interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Proyectadas 186
Figura 125. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Proyectadas 187
Figura 126. Sección 90 BR U 187
Figura 127. Sección 90 BR D 187
Figura 128. Perfil del Flujo de la quebrada–Condiciones Proyectadas. Condición AMCII 188
Figura 129. Localización Sitio de Interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Existentes 193
Figura 130: Curva Granulométrica de la quebrada La Oculta usando material del lecho. Fuente: Elaboración Propia 194
Figura 131. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Actuales 196
Figura 132. Sección 58.04. Justo aguas arriba del cruce existente con la vía (Batea en concreto) 197

Figura 133. Sección 50.74. Justo aguas abajo del cruce existente con la vía (Batea en concreto) 197
Figura 134. Perfil del Flujo de la quebrada La Oculta Condiciones Existentes. Condición AMC II 197
Figura 135. Localización Sitio de interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Proyectadas 199
Figura 136. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Proyectadas 200
Figura 137. Sección 25 BR U 200
Figura 138. Sección 25 BR D 200
Figura 139. Perfil del Flujo de la quebrada–Condiciones Proyectadas. Condición AMCII 201

1. INTRODUCCIÓN

La empresa AIM Ingenieros Civiles S.A.S. realiza a nivel de consultoría los "ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS PARA LA PAVIMENTACIÓN DE VÍAS EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA POR EL SISTEMA DE VALORIZACIÓN", donde se pretende la activación de importantes procesos de conectividad en las subregiones del Departamento de Antioquia, por el sistema de valorización.

Para lograr este cometido se desarrollaron una serie de estudios en diversas disciplinas que incluyen hidrología, hidráulica y socavación con el fin de establecer las condiciones más seguras para la implementación de la estructura en los sitios de ponteadero.

Inicialmente se busca determinar los caudales de creciente para todos los periodos de retorno, y determinar los niveles que las crecientes citadas alcanzan en el tramo de estudio, así como su correspondiente mancha de inundación para el período de retorno de 50 años; esto se hace con el fin de minimizar el riesgo de localización de los estribos y evitar que queden dentro del cauce.

Para la estimación de los caudales máximos se trabajó con la Ecuación Racional y con métodos precipitación – escorrentía; estos métodos se evaluaron para una condición de humedad antecedente: AMC II (Condiciones Intermedias). Dadas las condiciones de precipitación en la zona se decidió considerar el borde libre según norma de 2,00m a partir de la lámina de agua definida para la condición AMC II.

El presente informe muestra de forma ordenada el desarrollo de cada uno de los diferentes temas y consta de dieciséis capítulos:

Capítulo uno: Introducción, objetivos, localización de la zona de estudio y metodología.
Capítulo dos: Estudio hidrológico de las cuencas en estudio.
Capítulo tres a Capítulo trece: Estudio hidráulico puentes proyectados.
Capítulo catorce: Limitaciones del estudio.
Capítulo quince: Conclusiones y recomendaciones.
Capítulo dieciséis: Bibliografía empleada para el presente estudio.

1.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de este estudio es determinar las características hidráulicas del cauce de las quebradas donde se requiere puente proyectado, definiendo la altura de la superficie del agua, la cota más segura para el nivel inferior de la viga, la profundidad de socavación para el caudal de diseño y las protecciones complementarias en el sitio de implantación del puente en caso de ser requeridas.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio hidrológico de las cuencas en estudio, utilizando los métodos aplicables al tipo de información disponible.
- Evaluar las características morfométricas de las cuencas.
- Establecer la estación de precipitación que gobierna este proceso en el sitio, adquirir la información necesaria, elaborar la caracterización pertinente, calcular las intensidades de diseño.
- Estimar los caudales de creciente para períodos de retorno de 2.33; 5; 10; 25; 50 y 100 años, sin embargo, el diseño de los puentes se realizó para un periodo de retorno de 50 años.
- Seleccionar los valores estimados para los caudales de diseño, los cuales se emplearán para la evaluación hidráulica de la corriente en estudio.
- Elaborar un diagnóstico de las obras existentes en el sitio de interés.
- Una vez se cuente con la evaluación hidrológica de la cuenca, analizar el comportamiento hidráulico en sus condiciones naturales. Se determinarán las variables hidráulicas como altura de flujo, velocidad, número de Froude, etc.
- Calcular la mancha de inundación para las condiciones hidrológicas evaluadas.
- Establecer la posición de los estribos del puente proyectado.
- Determinar los gálibos verticales requeridos en el puente.
- Evaluar el cálculo de la socavación en el cauce considerando el estudio geotécnico.
- Recomendar las profundidades de cimentación de la estructura una vez analizados los perfiles de suelo que se encuentran en el sitio y que fueron suministrados por el Ingeniero Geotecnista.
- Diseñar las obras complementarias requeridas en el tramo de estudio en caso de ser requeridas.

1.3. LOCALIZACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Los sitios de estudio se localizan en la vía Puente Iglesias – La Ye, La Ye – El Líbano, La Virgen-Casa Blanca y La Lorena-Maratón en el departamento de Antioquia, la localización geográfica de cada sitio en estudio se muestra a continuación en la **Tabla 1**. En la **Figura 1** se puede ver la localización geográfica de los sitios de interés.

Tabla 1. Localización Sitios de Estudio en el Corredor Vial Puente Iglesias- La Ye, La Ye- El Líbano y Ramales. Fuente: Elaboración Propia

Vía Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano			
Río/Quebrada	**ID**	**Coordenada Este**	**Coordenada Norte**
K0+288,00 Qda. Sin Nombre N°1	PIL-3	1151732,94	1135955,29
K1+450,00 Qda. Sin Nombre N°6	PIL-9	1152391,98	1135286,72
K0+535,00 Qda. Sin Nombre N°8	PIL-15	1152977,08	1134429,97
K3+477,00 Qda. Sin Nombre N°13	PIL-36	1153819,94	1132216,24
K5+405,00 Qda. Sin Nombre N°20	PIL-49	1154240,67	1130899,4
K9+340,00 Qda. La Virgen	PIL-85	1155009,7	1128074,41
K9+884,00 Qda. El Cerro	PIL-89	1154833,19	1127622,32
K11+780,00 Qda. La Yarumala	PIL-106	1154244,8	1126219,84
Vía La Virgen-Casa Blanca			
Río/Quebrada	**ID**	**Coordenada Este**	**Coordenada Norte**
2+760,00 Qda, La Virgen	LVCB-4	1153371,81	1128523,97
Vía **La Lorena-Maratón**			
Río/Quebrada	**ID**	**Coordenada Este**	**Coordenada Norte**
K1+873,00 Qda, La Virgen	LLM-3	1155998,74	1127269,92
K4+100,00 Qda, La Oculta	LLM-11	1157496,98	1127686,13

*Coordenadas con Datum Magna Sirgas - Origen Oeste

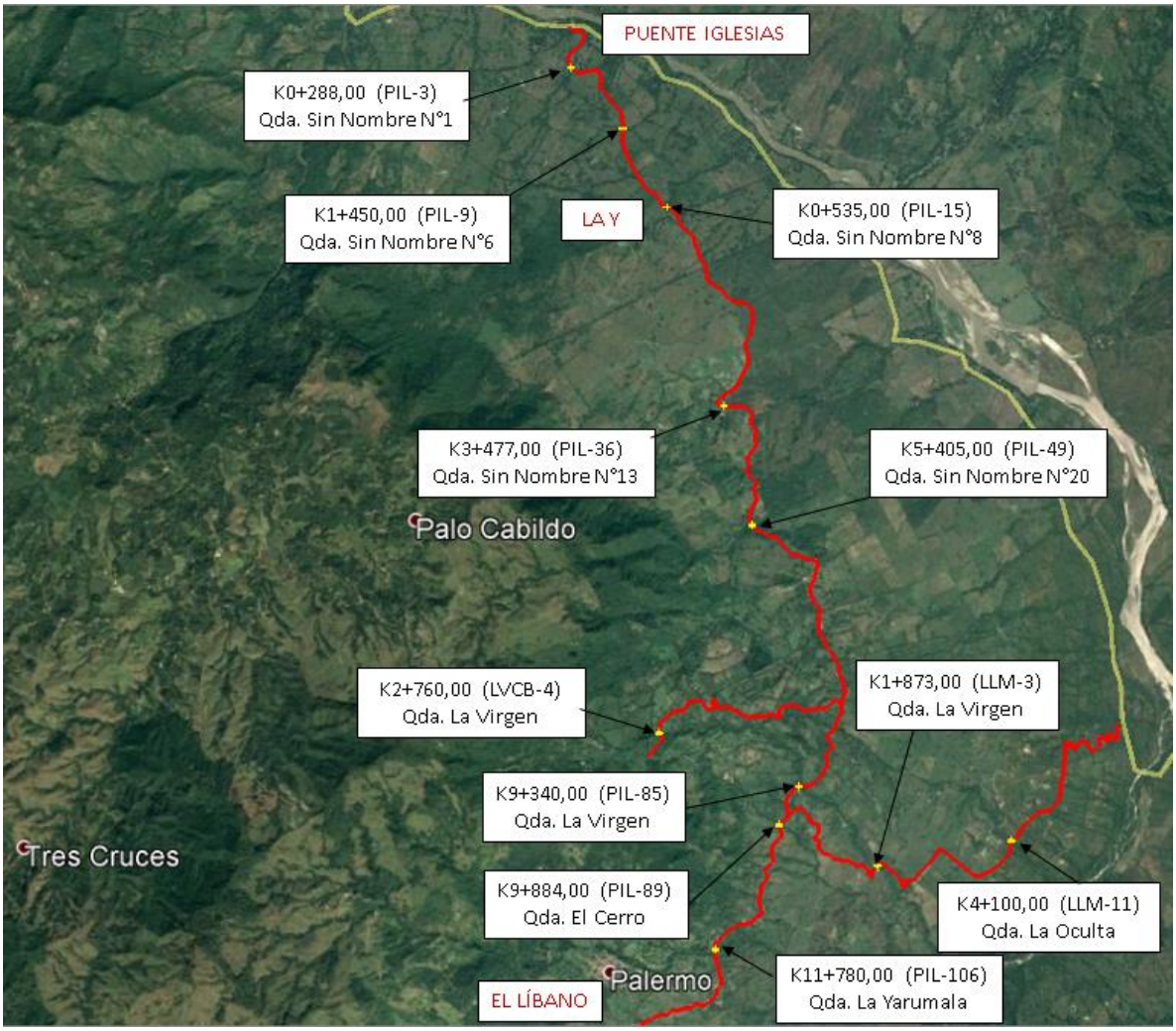


Figura 1. Localización General De Los Sitios de Estudio. Fuente: Google Earth (2018)

1.3.1.1. Información Hidrometeorológica Disponible

A continuación, en la **Tabla 2** se muestra el porcentaje de incidencia de las estaciones sobre las cuencas en estudio, la información de dichos porcentajes se utilizó para el cálculo de la intensidad de precipitación.

Tabla 2. Porcentajes de Incidencia Estaciones en el Corredor Vial Puente Iglesias-La Ye, La Ye- El Líbano y Ramales. Fuente: Elaboración Propia

Vía Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano				
Sitio/Obra	**ID**	**Hacienda Túnez**	**La Granja Nacional**	**El Dique**
K0+288,00 Qda. Sin Nombre N°1	PIL-3	0%	0%	100%
K1+450,00 Qda. Sin Nombre N°6	PIL-9	0%	0%	100%
K0+535,00 Qda. Sin Nombre N°8	PIL-15	0%	0%	100%
K3+477,00 Qda. Sin Nombre N°13	PIL-36	0%	0%	100%
K5+405,00 Qda. Sin Nombre N°20	PIL-49	7,73%	8,86%	83,41%
K9+340,00 Qda. La Virgen	PIL-85	0%	83,75%	16,25%
K9+884,00 Qda. El Cerro	PIL-89	0%	100%	0%
K11+780,00 Qda. La Yarumala	PIL-106	0%	99,87%	0,13%
Vía La Virgen-Casa Blanca				
Sitio/Obra	**ID**	**Hacienda Túnez**	**La Granja Nacional**	**El Dique**
2+760,00 Qda. La Virgen	LVCB-4	0%	76,9%	23,1%
Vía La Lorena-Maratón				
Sitio/Obra	**ID**	**Hacienda Túnez**	**La Granja Nacional**	**El Dique**
K1+873,00 Qda. La Virgen	LLM-3	0%	85,7%	14,3%
K4+100,00 Qda. La Oculta	LLM-11	35,1%	64,9%	0%

En el **Anexo A** se incluyen las cuencas en estudio y los polígonos de Thiessen realizados con las estaciones existentes en la zona.

1.3.1.2. Estudios e Informes Previos

Del Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras (I.G.A.C, 2007) se disponen de mapas en escala 1:25000 con las coberturas actualizadas en Colombia en el periodo 2005 a 2009 y con versión vigente al año 2012, estos mapas fueron generados a partir de imágenes de sensores remotos en escala 1:30000 y 1:60000. En este mapa se superpuso las cuencas en interés y se definieron los usos del suelo.

1.4. METODOLOGÍA

En este numeral se describe la metodología general empleada para el estudio hidrológico e hidráulico de las cuencas en estudio, así como para el diseño de las obras complementarias requeridas. La metodología se resume así:

- Visitas de campo para la identificación de la zona y para hacer el diagnóstico del estado hidráulico de la corriente.

- Las cuencas en estudio no cuenta con una estación limnigráfica en la corriente, por lo que no cuenta con caudales máximos instantáneos y por tanto el uso de análisis de frecuencias no es posible realizarlo, para el cálculo de caudales se utilizan métodos lluvia-escorrentía de común uso en el medio para lo cual se usó la información pluviométrica incidente.

- Se elaboró un estudio hidrológico hasta el sitio de interés de las cuencas en estudio y se seleccionaron los caudales de diseño.

- Una vez obtenidos los caudales de diseño se modela hidráulicamente la zona en condiciones existentes para conocer el comportamiento de la corriente, y se estimó el nivel de la lámina de agua para los periodos de retorno de 1.4, 2.33, 5, 10, 25, 50, y 100 años, se definió como caudal de diseño un periodo de retorno de 50 años.

- Se modeló hidráulicamente el puente en condición AMCII y se dibujaron las manchas de inundación.

- Se seleccionaron las secciones hidráulicas en el puente garantizando que los estribos estuvieran siempre por fuera de las manchas de inundación.

- Se decidió dejar en el puente un borde libre mínimo de 2,00m para la creciente evaluada en condición AMCII.

- Se socializó la sección de cada puente con el equipo de geotecnia con el fin de analizar la vulnerabilidad de las estructuras de acuerdo con la situación de los taludes y se seleccionaron las dimensiones definitivas en cada caso.

- Se determinó la socavación general que puede presentarse en el tramo de estudio.

A continuación, se presenta la metodología detallada para el cálculo de los caudales máximos, para la modelación hidráulica y para la estimación del valor de socavación.

1.4.1. Metodología para el Cálculo del Tiempo de Concentración

Para el cálculo del tiempo de concentración se tuvo en cuenta la definición de este parámetro: Tiempo que tarda una gota de agua en viajar desde la parte superior de la cuenca hasta el punto de interés del estudio; entiéndase punto superior de la cuenca como la divisoria de aguas, esto incluye el tramo de cauce en el que aún no se ha concentrado el flujo; es decir, el tramo entre la divisoria y el surgimiento de la expresión geomorfológica del cauce principal. Esta definición es bien importante en esta cuenca, ya que se tiende a considerar como cauce solamente la longitud en la que la corriente se visualiza físicamente como tal; En consecuencia, para el cálculo del tiempo de concentración se utilizará la longitud del cauce proyectada hasta la divisoria de la cuenca. A continuación, se describen las ecuaciones empleadas para la determinación del tiempo de concentración. (Ver Vélez, 1997)

1.4.1.1. Ecuación de Témez

$$Tc = 0.30\left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$$

Donde:
Tc: Tiempo de concentración en horas.
L: Longitud del cauce principal en km.
S: Pendiente del cauce principal en %.

1.4.1.2. Ecuación de Kirpich (Tennessee)

$$Tc = \left[0.0078\left(\frac{L_m^{0.77}}{S_o^{0.385}}\right)\right]\left(\frac{1}{60}\right)$$

Donde:
Tc: Tiempo de concentración en horas.
L_m: Longitud máxima del flujo en pies.
S_m: Pendiente media del cauce principal a lo largo de la longitud máxima del flujo en m/m.

1.4.1.3. Ecuación de California Culvert Practice

$$Tc = 11.9\left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385}$$

Donde:
Tc: Tiempo de concentración en horas.
L: Longitud del cauce principal en millas.
H: Diferencia de cotas entre el punto de interés y la divisoria en metros.

1.4.1.4. Ecuación de SCS - Ranser

$$Tc = 0.947\left(\frac{L_c^{\ 3}}{H}\right)^{0.385}$$

Donde:
Tc: Tiempo de concentración en horas.
Lc: Distancia desde el sitio de interés al punto en el cual la corriente principal corta la divisoria en km.
H: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente en metros.

1.4.1.5. Ecuación Giandotti

$$Tc = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{25.3\sqrt{LS_o}}$$

Donde:
Tc: Tiempo de concentración en horas.
L: Longitud del cauce principal en kilómetros.
A: Área de la cuenca en kilómetros cuadrados.
So: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente en m/m.

1.4.1.6. Ecuación de Chow

$$Tc = 0.00116\left(\frac{L_m}{\sqrt{S_c/100}}\right)^{0.64}$$

Donde:
Tc: Tiempo de concentración en horas.
Lm: Longitud máxima del flujo en metros.
S_o: Pendiente media del cauce principal en %.

1.4.2. Metodología para el Cálculo de la Intensidad de Precipitación

En razón a que las estaciones de incidencia en el tramo de estudio correspondientes a las estaciones climatológicas ordinarias La Granja Nacional y Hacienda Túnez, y la estación pluviométrica El Dique no poseen curvas IDF, se decidió emplear una metodología alterna con el objeto de obtener las intensidades de precipitación asociadas a los diferentes periodos de retorno, esta metodología se fundamenta en curvas sintéticas de Intensidad – Duración – Frecuencia. A partir de la información de las series de precipitación multianual se halló el promedio del valor máximo anual de precipitación diaria en la zona (M); Con las series del número de días mensuales de precipitación y valores mensuales de precipitación se hallaron: el promedio del número de días con lluvia al año (N) y la precipitación media multianual (PT).

A partir de esta información se desarrolló en un trabajo de maestría en la Universidad de los Andes, en este estudio se dedujeron ecuaciones típicas para el cálculo de la intensidad de precipitación en todas las regiones de Colombia, en este caso se usaron las ecuaciones de la zona denominada en este estudio como **Zona Andina**, la ecuación usada se presenta a continuación (Vargas, 1998):

$$\textbf{Zona Andina: } I = 1{,}61\left(\frac{T_r^{\,0.19}}{t_c^{\,0.65}}\right) M^{0.75} N^{-0.15} PT^{0.08} \quad - \quad \textit{Zona Andina}$$

Donde:
I: Intensidad de lluvia en mm/h.
Tr: Período de retorno en años.
Tc: Duración de diseño en horas.
M: Promedio de valores máximos anuales de precipitación diaria en mm.
N: Promedio del número de días con lluvia al año.
PT: Precipitación promedia multianual en mm.

Las curvas IDF sintéticas obtenidas para las estaciones de estudio se pueden visualizar en el informe general.

1.4.3. Metodología para el Cálculo de Caudales Máximos con Información Escasa

Se realizó el estudio de caudales máximos para las cuencas en estudio, para ello se utilizaron los planos cartográficos en escala 1:100000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (I.G.A.C) y la información meteorológica del departamento de Hidrometría del IDEAM. **(Ver Tabla 1 de Informe General)**

Para la determinación de los caudales máximos se utilizaron varios métodos de común aceptación en el medio técnico y que son empleados cuando no existe información de caudales en la corriente (información escasa); estos son:

- Ecuación Racional aplicada de dos formas, utilizando los coeficientes de escorrentía del método original como lo propone Ven Te Chow y utilizando los coeficientes de escorrentía como una función del Número de Curva (CN).
- Hidrógrafas unitarias del Soil Conservation Service (SCS), Snyder y Williams & Hann.

A continuación, se describe la metodología de cada uno de ellos:

1.4.3.1. Ecuación Racional

Para calcular los caudales de creciente asociados a los diferentes períodos de retorno en las cuencas pequeñas se empleó la Ecuación Racional como la propone Ven Te Chow (Chow et al., 1994). El umbral de área y las condiciones de aplicabilidad de la Ecuación Racional han sido objeto de numerosas discusiones técnicas, inicialmente Kuickling en 1888 la concibió para drenajes en zonas urbanas con áreas relativamente pequeñas, pero estudios posteriores han avalado sus resultados en cuencas de áreas mayores; Chow recomienda para áreas hasta de 50 km^2; otros autores como (Maidment, 1993) reportan trabajos con la Ecuación Racional para cuencas hasta de 250 km^2.

La expresión para esta ecuación es la siguiente (Chow, 1994):

$$Q = CIA$$

Donde:
Q: Caudal correspondiente al período de diseño seleccionado.
I: Intensidad de la precipitación correspondiente al tiempo de concentración de diseño.
A: Área de drenaje.
C: Coeficiente de escorrentía del suelo que depende de los usos del suelo y del Periodo de retorno de diseño (Adi.).

La intensidad de precipitación corresponde a una duración igual al tiempo de concentración.

El coeficiente de escorrentía se ponderó utilizando los coeficientes del método original como lo propone Ven Te Chow y utilizando los coeficientes de escorrentía como una función del Número de Curva (CN) de acuerdo a los usos del suelo de la zona de estudio. La expresión empleada para calcular el coeficiente en función del CN es la siguiente:

$$C = \frac{(P - I_a)^2}{P^2 + 4PI_a}$$

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía de la Ecuación Racional (SI).
P = Precipitación de diseño.

$$I_a = 0.2\,S \qquad S = 25{,}4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right)$$

La infiltración en este método depende de cuatro factores:

- Uso del suelo.
- Tratamiento superficial al que ha sido sometido el suelo.
- Condición hidrológica del suelo (Pobre si están erosionados y buena si están protegidos con cobertura vegetal).
- Grupo hidrológico del suelo, (**NRCS, 2002**):

  ✓ **A.** Muy permeable: Suelos con bajo potencial de escurrimiento por su gran permeabilidad y con elevada capacidad de infiltración, aun cuando estén húmedos. Se trata principalmente de suelos profundos con texturas gruesas (arenosa o areno limosa).

  ✓ **B.** Permeable: Son suelos con moderada capacidad de infiltración cuando están saturados. Principalmente consisten en suelos de mediana a alta profundidad, con buen drenaje. Sus texturas van desde moderadamente finas a moderadamente gruesas, (franca, franco-arenosa o arenosa).

  ✓ **C.** Impermeable: Son suelos con escasa capacidad de infiltración una vez saturados. Su textura va de moderadamente fina a fina (franco arcillosa o arcillosa). También se incluye aquí suelos que presentan horizontes someros bastantes impermeables.

  ✓ **D.** Muy impermeable: Suelos muy arcillosos con elevado potencial de escurrimiento y, por lo tanto, con muy baja capacidad de infiltración cuando están saturados. También se incluyen aquí los suelos que presentan una capa de arcilla somera y muy impermeable, así como suelos jóvenes de escaso espesor sobre una roca impermeable, ciertos suelos salinos y suelos con nivel freático alto.

Para la estimación del CN II se realizó una ponderación de los valores tabulados en Chow et al. (1994) para cada tipo de suelo, para el cálculo del CN III se hizo uso de la ecuación que depende del CN II y que se muestra a continuación:

$$CN\,III = \frac{23\,CN\,II}{10 + 0{,}13\,CN\,II}$$

1.4.3.2. Hidrógrafas Unitarias

Las hidrógrafas Unitarias se pueden definir como la hidrógrafa de escorrentía directa que resulta de una precipitación efectiva de profundidad unitaria, uniformemente distribuida sobre la cuenca y de duración específica (Ver Vélez, 1997). En general, estos modelos relacionan las características principales de la hidrógrafa unitaria (caudal pico, tiempo al pico, tiempo base) con características morfométricas de la cuenca. Cuando se conoce el Hietograma de precipitación efectiva y la hidrógrafa unitaria de igual duración, la hidrógrafa unitaria respectiva se puede calcular realizando la convolución de esa precipitación efectiva con el hidrograma unitario. El caudal máximo para determinado periodo de retorno, se calcula con la convolución de la precipitación efectiva de ese periodo de retorno y se asume que el pico de la hidrógrafa de escorrentía directa representa el caudal máximo para ese periodo de retorno. Las hidrógrafas unitarias son métodos de cálculo de caudales generalmente empleados para cuencas de áreas mayores a 1 km², sin que este sea un concepto de cálculo excluyente.

Las hidrógrafas unitarias empleadas se describen a continuación.

- **Hidrógrafa Unitaria del Soil Conservation Service (S.C.S.)**

Esta hidrógrafa unitaria sintética adimensional fue desarrollada inicialmente por Víctor Mockus en 1950, su deducción fue hecha a partir del análisis de un gran número de hidrogramas unitarios naturales de un amplio rango de tamaños de cuencas hidrográficas y sitios geográficos de los Estados Unidos. Posteriormente este método fue reconocido como la hidrógrafa unitaria sintética del SCS, y ha sido aplicado a hoyas hidrográficas de mediano tamaño en todo el mundo.

La duración de la lluvia de diseño se estableció según el criterio del SCS, en 0,133Tc; el valor del *Lag* para esta hidrógrafa es de 0,60Tc.

- **Hidrógrafa de Snyder**

F. F. Snyder fue el primer investigador en introducir el concepto de Hidrograma Unitario Sintético. El análisis de un gran número de hidrogramas de cuencas en la región de los montes Apalaches en Estados Unidos, le permitió deducir una expresión para el cálculo del tiempo de rezago, en dicha ecuación interviene el coeficiente Ct, el cual es una función de la pendiente de la cuenca y el almacenamiento de la cuenca. Así mismo en la ecuación planteada para el cálculo del caudal pico, introduce otro coeficiente, Cp, el cual es un coeficiente empírico que relaciona el tiempo base del hidrograma triangular y el tiempo de rezago de la cuenca. En el método propuesto por Snyder, la duración de la precipitación efectiva esta dada por 2/11 del tiempo de rezago, en la aplicación del procedimiento para la estimación de crecientes, Snyder reconoce que la duración de la tormenta es usualmente menor que la duración de la precipitación efectiva calculada como 2/11 del tiempo de rezago, por lo que ideó la manera de aumentar el tiempo de rezago con el fin de incrementar la duración de la precipitación efectiva, pese a esta consideración y con el objeto de comparar los resultados obtenidos para el cálculo de esta hidrógrafa con el de las demás hidrógrafas, se utilizará la duración de la precipitación de diseño según el criterio del SCS, es decir, du= 0,1333 Tc, así como el tiempo de rezago Tr = Lag = 0,60 Tc.

Snyder incluyó el flujo sub-superficial como parte de la escorrentía directa, por lo que el tiempo base del hidrograma es usualmente mayor al que produciría solo el flujo superficial. El método de Snyder fue muy utilizado por el U. S. Army Corps of Engineers, su experiencia condujo a dos fórmulas empíricas que ayudan a determinar la forma del hidrograma unitario, en las cuales se define el ancho del hidrograma unitario para el 50% y 75% del caudal pico, estos anchos de tiempo deben ser proporcionados de tal manera que un tercio quede localizado antes del caudal pico y los restantes dos tercios lo sean después de este, las expresiones utilizadas son:

$$W_{50} = \frac{770}{Up^{1.08}}$$

$$W_{75} = \frac{440}{Up^{1.08}}$$

Donde:
W50: Intervalo de tiempo en horas correspondiente al 50% del caudal pico.
W75: Intervalo de tiempo en horas correspondiente al 75% del caudal pico.
Qp: Caudal pico por unidad de área en pies3/millas2.

Se tomó adicionalmente un valor del Cp (Coeficiente de Retención y Almacenamiento) de 0,80 y un valor del Ct (Coeficiente de topografía) de 1,20 recomendados en la literatura técnica para cuencas de alta pendiente.

- **Hidrógrafa de Williams y Hann**

A principios de la década del setenta, Jimmy R. Williams y Roy W. Hann propusieron un modelo para calcular la hidrógrafa unitaria sintética producida por una precipitación instantánea en una cuenca, a partir de las características geomorfológicas, como el área,

la pendiente del canal principal y la relación largo - ancho de la cuenca; las características geomorfológicas de la cuenca están representadas en el modelo mediante dos parámetros, que son la constante de recesión K y el tiempo al pico Tp. La hidrógrafa puede expresarse en forma adimensional dividiendo las abscisas y ordenadas por el tiempo al pico Tp y el caudal pico Qp respectivamente, aunque también puede trabajarse en las unidades de caudal y tiempo definidas por el usuario.

Los investigadores propusieron definir la hidrógrafa utilizando tres ecuaciones, cada una representa un segmento de la curva, la primera define la rama de concentración, la segunda y tercera definen la rama de recesión; en este modelo los parámetros K y Tp fueron determinados mediante análisis de regresión realizados sobre una muestra de 34 cuencas localizadas en los estados de Texas, Oklahoma, Arkansas, Luisiana, Mississippi y Tennessee de los Estados Unidos cuyas áreas oscilan entre 0,50 y 25 Millas²

Esta hidrógrafa se calculó a partir de la duración unitaria calculada para el SCS y descrita en el numeral anterior. A continuación, se describen las ecuaciones básicas del método.

Ecuaciones que determinan la forma del hidrograma:

$$U = U_p \left(\frac{t}{T_p}\right)^{n-1} e^{(1-n)(t/Tp-1)} \quad \text{Para } t <= to$$

$$U = U_0 \, e^{((to-t)/K)} \quad \text{Para } to < t < t1$$

$$U = U_1 e^{((t1-T)/3K)} \quad \text{Para } t > t1$$

Ecuaciones para los tiempos y los parámetros que definen el modelo:

$$K = 27\, A^{0.231} S_{cp}^{-0.777} \left(\frac{L_c}{W_e}\right)^{0.124}$$

$$n = 1 + \left\{ \frac{1}{2}\left(\frac{K}{T_{op}}\right) + \left[\frac{1}{4}\left(\frac{K}{T_{op}}\right)^2 + \frac{1}{K/T_{op}} \right]^{1/2} \right\}^2$$

$$T_p = 4{,}63\, A^{0{,}22}\, S_{cp}^{-0{,}46} \left(\frac{L_c}{W_c}\right)^{-0{,}133}$$

$$t_o = T_p \left(1 + \left(\frac{1}{n-1}\right)^{1/2}\right)$$

$$t_1 = t_o + 2K$$

Dónde:
K: Constante de recesión.
n: Parámetro de forma.
T_p: Tiempo al pico en horas.
A: Área de la cuenca en millas^2.
S_{cp}: Pendiente media del canal en pies/millas.
L_c/W_c: Relación largo – ancho de la cuenca adimensional.

1.4.4. Metodología para el Cálculo de los Perfiles de Flujo – Descripción del HEC-RAS 5.0.4

Como se mencionó inicialmente uno de los objetos del estudio es el de efectuar la modelación en condiciones existentes del cauce, con el fin de determinar las variables hidráulicas bajo condiciones de caudales máximos. Es importante mencionar que todos los valores hallados a partir de los perfiles de flujo que se presentarán en el capítulo del estudio hidráulico, corresponden a la consideración de lecho fijo. Se describen los aspectos más importantes del software HEC-RAS 5.0.4.

El HEC-RAS es un modelo hidráulico que permite calcular los niveles de la superficie del agua bajo condiciones de flujo permanente o no permanente y gradualmente variado, en un canal natural o artificial. Este programa tiene la capacidad de calcular las condiciones de flujo para regímenes de flujo subcrítico y supercrítico o cuando se presente una mezcla de ambos. Igualmente, el programa, presenta también opciones de cálculo para la simulación de diferentes estructuras hidráulicas como puentes, box-culverts (alcantarillas de cajón) y vertederos.

El procedimiento básico de cálculo se fundamenta en la solución de la ecuación de energía, en la cual las pérdidas de energía por fricción se calculan por la ecuación de Manning y las pérdidas locales por contracción y expansión del flujo, se calculan como una fracción del cambio en la cabeza de velocidad entre dos secciones. El programa requiere como datos básicos de entrada la geometría del canal, el caudal, los valores de los coeficientes de pérdidas y las condiciones de frontera para el cálculo de acuerdo con el régimen de flujo y los controles existentes en el tramo.

1.4.5. Metodología para el Cálculo de la Rugosidad por el Método de Cowan

Una vez establecido el valor básico del coeficiente de rugosidad de Manning del lecho se calcula el valor general para lo cual se utiliza el método de Cowan utilizando la siguiente ecuación (Chow, 1982):

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

En esta ecuación n_0 es un valor básico de n para un canal recto y uniforme, n_1 es un valor agregado a n_0 para corregir el efecto de irregularidades de superficie, n_2 es un valor para las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal, n_3 es un valor de obstrucciones, n_4 es un valor para la vegetación y condiciones de flujo, y m_5 es un factor de corrección para los meandros del canal. Los valores correspondientes a estos factores se obtuvieron de la Tabla 5-5 del libro Hidráulica de canales de Chow, 1994, estos valores se pueden observar en la **Figura 2**.

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n_0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n_2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n_3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	m_5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Figura 2: Coeficientes del método de Cowan. Fuente: Chow, 1994

1.4.6. Metodología para el Cálculo de la Socavación General

Para estimar la socavación general en el lecho se utilizó la teoría de Lischtvan – Levediev (Suarez, 2001) en la que la condición de equilibrio se alcanza cuando Vr = Ve.

Donde:
Vr: Velocidad de arrastre de la corriente.
Ve: Velocidad que se necesita para arrastrar el material.
De acuerdo a esta condición, la profundidad de socavación para suelos granulares se define como:

$$H_S = \left(\frac{\alpha H_O^{5/3}}{0{,}68\,\beta\,\phi\,D_{50}^{0.28}} \right)^{1/1+x} \qquad \text{Con:} \qquad \alpha = \frac{Q_{Tr}}{H_m^{5/3}\,B_e\,\mu}$$

Donde:
HS: Profundidad medida desde la lámina de agua hasta el fondo al pasar la creciente en m.
H0: Profundidad de flujo antes de la erosión en m.
Hm: Profundidad hidráulica promedio de la sección en m.
β: Coeficiente que depende de la frecuencia con que se presente el gasto de diseño, en este caso la probabilidad de que se presente el gasto de diseño correspondiente a 100 años de período de retorno.
□: Coeficiente que depende de la concentración del material de fondo. Para una mezcla agua – sedimento de 1,10 (10% de sedimento), se obtiene un coeficiente □□= 1,13.
D50: Diámetro medio de las partículas de fondo en mm.
x: Exponente variable que está en función del Diámetro medio de las partículas de fondo (mm), los valores del exponente X se encuentran en (Suarez, 2001).
Be: Ancho superficial promedio de la sección en m.
□: Coeficiente que depende del grado de contracción del cauce, los valores pueden ser consultados en la referencia (Suarez, 2001).

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

El desarrollo de la metodología propuesta depende siempre de la información disponible; en este caso ante la ausencia de información de caudales máximos instantáneos de la corriente se recurrió a métodos precipitación escorrentía. Para el estudio de intensidad de precipitación se utilizó la información las estaciones hidrometeorológicas en la zona de estudio y se empleó un método de cálculo deducido en estudios aceptados por la comunidad técnica nacional.

Para la modelación hidráulica se emplea el programa de software HEC-RAS V5.0.4, que es internacionalmente aceptado.

2. ESTUDIO HIDROLÓGICO PUENTES

El estudio hidrológico tiene por objeto la estimación de los caudales máximos asociados a los siguientes períodos de retorno 1.4, 2,33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, hasta los sitios de interés. En la estimación de caudales se utilizaron los métodos descritos en la metodología vista en el **Numeral 1.4.3**. En la **Figura 3** se muestran las cuencas hasta el punto de estudio (ubicación de obras existentes) donde se estimaron caudales máximos, así como la localización de las estaciones incidentes. (Ver **Anexo A del Informe General**)

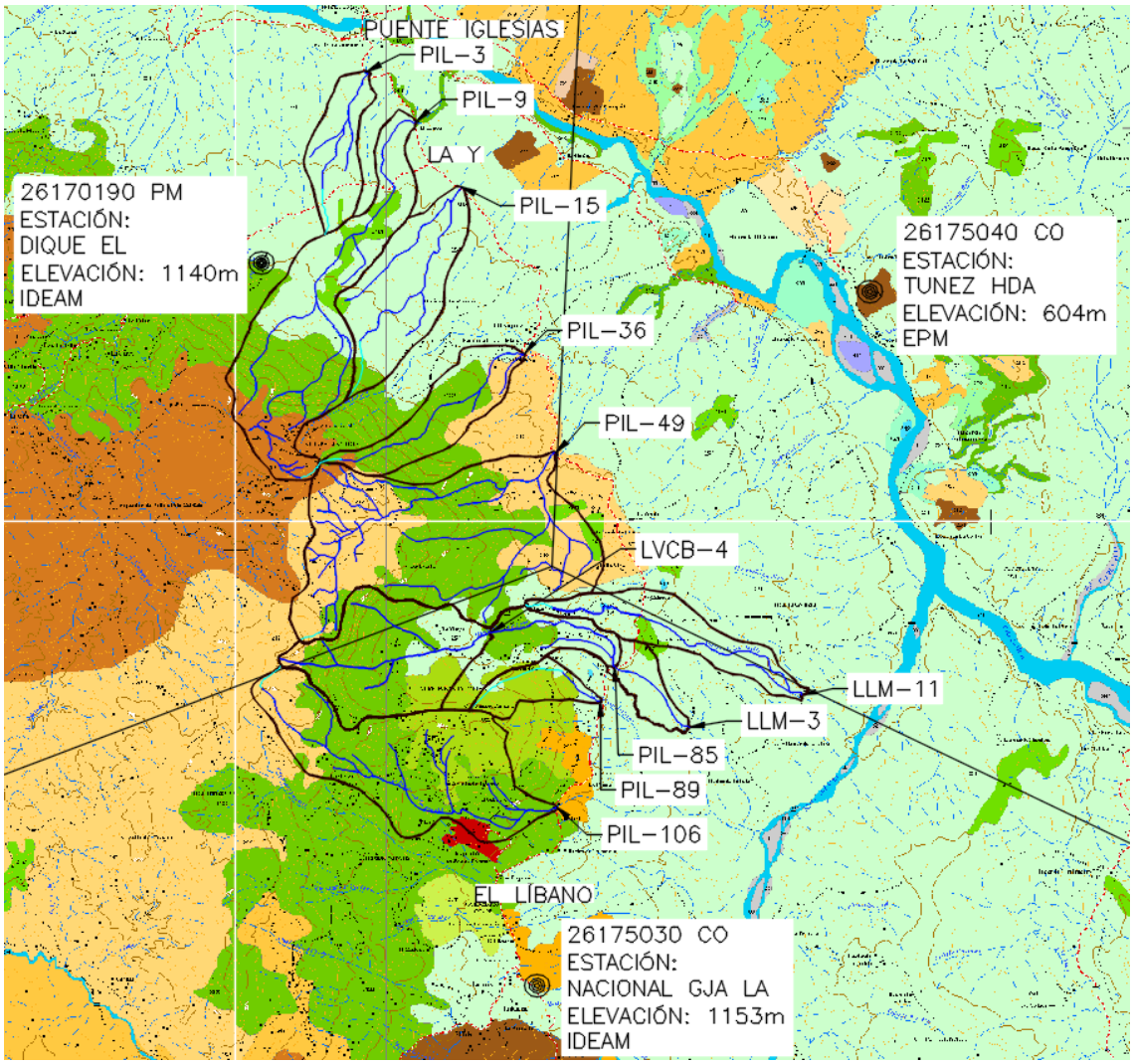


Figura 3. Localización de las Cuencas y Polígonos de Thiessen. Fuente: Elaboración Propia

2.1. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Se determinaron los parámetros morfométricos de las cuencas en estudio hasta los puntos de interés mencionados anteriormente y trazados en la cartografía del I.G.A.C. (Ver **Figura 3**), los parámetros de las cuencas se muestran a continuación en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Parámetros Morfométricos De Las Cuencas en Estudio.
Fuente: Elaboración Propia

Vía Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano				
Variable	**PIL-3**	**PIL-9**	**PIL-15**	**PIL-36**
Área de la cuenca (km^2):	1,168	4,462	2,382	1,592
Perímetro de la cuenca (km)	5,13	12,77	7,29	6,92
Ancho medio de la cuenca (km):	0,49	0,64	0,63	0,47
Longitud del cauce principal (km):	1,75	6,69	2,80	3,09
Longitud máxima del flujo (km):	2,37	7,01	3,81	3,38
Longitud del sitio de interés a la divisoria en línea recta (km)	2,22	4,69	3,22	3,06
Longitud en línea recta desde el sitio de interés al centro de gravedad (km)	1,12	2,95	1,55	1,33
Cota superior de la divisoria (msnm):	915,00	2153,00	1715,00	2153,00
Cota superior del cauce principal (msnm):	830,00	2100,00	1080,00	2102,00
Cota sitio de interés (msnm):	617,99	690,39	718,12	801,95
Pendiente media del cauce (%):	12,12	21,06	12,92	39,99
Índice de Compacidad o de Gravelius:	1,34	1,70	1,33	1,55
Índice de Horton:	0,21	0,09	0,16	0,14
Sinuosidad:	1,06	1,35	1,15	1,11

Vía Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano				
Variable	**PIL-49**	**PIL-85**	**PIL-89**	**PIL-106**
Área de la cuenca (km^2):	6,812	4,254	0,690	4,414
Perímetro de la cuenca (km)	12,83	11,42	4,19	10,86
Ancho medio de la cuenca (km):	1,34	0,85	0,33	0,84
Longitud del cauce principal (km):	4,81	5,01	0,68	4,83
Longitud máxima del flujo (km):	5,09	5,03	2,07	5,24
Longitud del sitio de interés a la divisoria en línea recta (km)	4,20	4,44	1,75	4,10
Longitud en línea recta desde el sitio de interés al centro de gravedad (km)	1,90	2,44	0,93	2,09
Cota superior de la divisoria (msnm):	2402,00	2450,00	1675,00	2402,00
Cota superior del cauce principal (msnm):	2250,00	2425,00	1150,00	2200,00
Cota sitio de interés (msnm):	928,79	991,90	981,46	1051,41
Pendiente media del cauce (%)	28,95	28,13	24,92	23,79
Índice de Compacidad o de Gravelius	1,39	1,56	1,42	1,46
Índice de Horton	0,26	0,17	0,16	0,16
Sinuosidad	1,22	1,13	1,05	1,15

Vía La Virgen-Casa Blanca	
Variable	**LVCB-4**
Área de la cuenca (km^2):	2,997
Perímetro de la cuenca (km)	7,69
Ancho medio de la cuenca (km):	1,01
Longitud del cauce principal (km):	2,93
Longitud máxima del flujo (km):	2,95
Longitud del sitio de interés a la divisoria en línea recta (km)	2,82
Longitud en línea recta desde el sitio de interés al centro de gravedad (km)	1,38
Cota superior de la divisoria (msnm):	2450,00
Cota superior del cauce principal (msnm):	2425,00
Cota sitio de interés (msnm):	1316,20
Pendiente media del cauce (%):	38,40
Índice de Compacidad o de Gravelius:	1,25
Índice de Horton:	0,34
Sinuosidad:	1,05

Vía La Lorena-Maratón		
Variable	**LLM-3**	**LLM-11**
Área de la cuenca (km^2):	4,859	1,697
Perímetro de la cuenca (km)	14,28	8,51
Ancho medio de la cuenca (km):	0,76	0,39
Longitud del cauce principal (km):	6,35	3,93
Longitud máxima del flujo (km):	6,37	4,31
Longitud del sitio de interés a la divisoria en línea recta (km)	5,50	3,83
Longitud en línea recta desde el sitio de interés al centro de gravedad (km)	3,20	1,87
Cota superior de la divisoria (msnm):	2450,00	1285,00
Cota superior del cauce principal (msnm):	2425,00	1203,00
Cota sitio de interés (msnm):	811,00	715,10
Pendiente media del cauce (%)	25,71	13,23
Índice de Compacidad o de Gravelius	1,83	1,84
Índice de Horton	0,12	0,09
Sinuosidad	1,16	1,13

2.2. CÁLCULO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Una vez aplicadas las ecuaciones descritas en la metodología para el cálculo del tiempo de concentración, se obtuvieron los resultados que se presentan en la **Tabla 4,** así mismo en esta tabla se muestra el valor definitivo con el cual se efectuaron los cálculos siguientes.

Tabla 4. Tiempos de Concentración de las cuencas en Estudio. Fuente: Elaboración Propia

CUENCA	Tiempo de concentración [minutos]						
	Autor/Entidad						Tiempo de Concentración Definitivo
	Témez	Kirpich (Tennessee)	California Culvert Practice	SCS - Ranser	Giandotti	Chow	
Vía Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano							
PIL-3	21,492	17,228	17,248	17,232	34,315	19,585	17,236
PIL-9	44,414	32,574	32,611	32,581	37,198	33,255	32,589
PIL-15	26,739	18,646	18,667	18,650	28,230	20,916	18,654
PIL-36	22,531	14,449	14,465	14,452	20,639	16,921	14,455
PIL-49	32,703	22,426	22,452	22,431	35,312	24,384	22,437
PIL-85	32,396	22,206	22,232	22,211	31,016	24,186	22,217
PIL-89	16,085	10,629	10,641	10,631	18,318	13,110	10,634
PIL-106	34,183	23,985	24,013	23,991	33,188	25,785	23,996
Vía La Virgen-Casa Blanca							
LVCB-4	20,495	13,230	13,245	13,233	25,288	15,726	13,236
Vía La Lorena-Maratón							
LLM-3	39,692	27,919	27,951	27,925	34,044	29,254	27,932
LLM-11	33,427	26,659	26,690	26,665	36,662	28,153	26,671

Del análisis de resultados se tiene que los tiempos de concentración presentan un orden de magnitud muy similar, descartando el valor arrojado por los métodos de Témez, Giandotti y Chow. Adicionalmente, dado que es una zona de alta montaña, la escorrentía en la cuenca es de alta velocidad, por tal motivo los tiempos de concentración serán cortos, lo que indica que los valores escogidos son acordes a las condiciones orográficas de la zona de estudio.

Se considera como tiempo de concentración definitivo el promedio de los valores que presenten el mismo orden de magnitud (sombreados en gris en la **Tabla 4**).

2.3. FACTOR DE REDUCCIÓN EN EL ÁREA

Ante la falta de información sobre la verdadera distribución de probabilidad de la precipitación promedio sobre un área, usualmente se extienden estimativos de precipitación puntual para desarrollar unas profundidades promedio de precipitación sobre un área. Un proceso de promediar produce curvas de profundidad-área que relacionan la precipitación promedio sobre el área con medidas puntuales.

A continuación, en la **Figura 4** se observa el gráfico que muestra la relación entre el área de la cuenca y su respectivo factor de reducción para diferentes duraciones de lluvia. Para la reducción de la precipitación en el área se utilizaron las curvas propuestas por la Organización Meteorológica Mundial en 1983 (Chow, 1994).

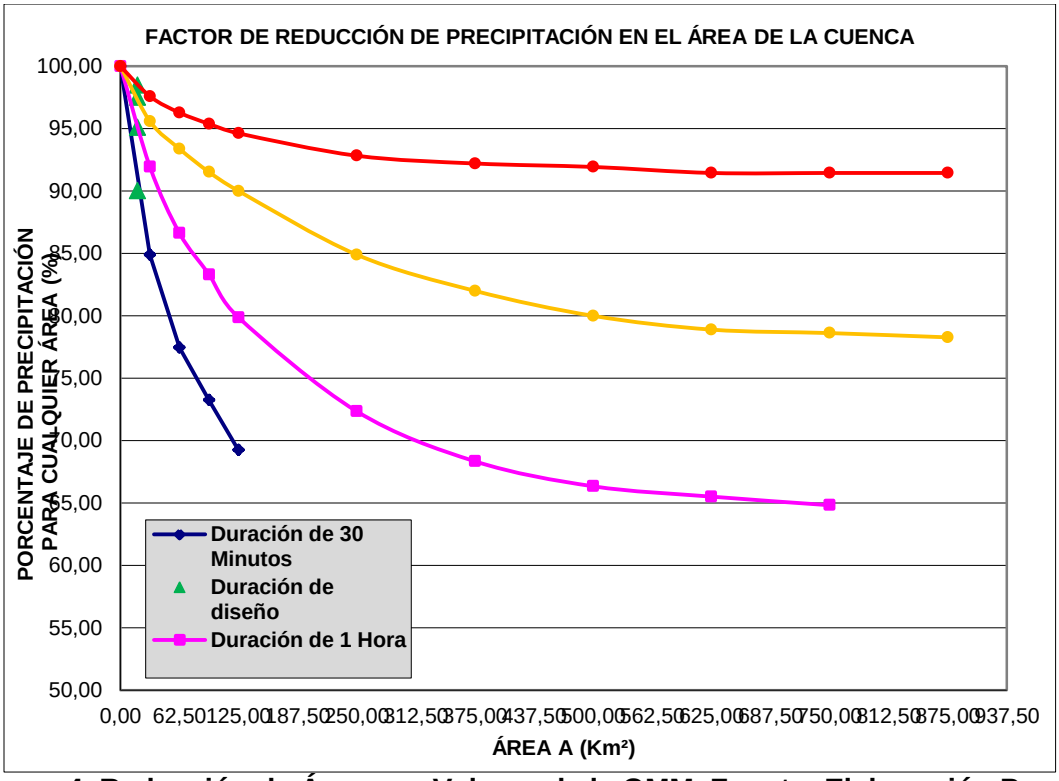


Figura 4. Reducción de Área con Valores de la OMM. Fuente: Elaboración Propia

En la **Tabla 5** se presenta el Factor de Reducción aplicado en las cuencas de la zona en estudio.

Tabla 5. Factor de Reducción Aplicado. Fuente: Elaboración Propia

Nombre Quebrada	Factor de Reducción
Vía Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano	
PIL-3	99,90%
PIL-9	97,00%
PIL-15	99,90%
PIL-36	99,90%
PIL-49	99,90%
PIL-85	99,90%
PIL-89	99,90%
PIL-106	99,90%
Vía La Virgen-Casa Blanca	
LVCB-4	99,90%
Vía La Lorena-Maratón	
LLM-3	99,90%
LLM-11	99,90%

*- No se aplicó Factor de Reducción ya que el valor dado es 99,90% de la P puntual

2.4. CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN Y PRECIPITACIÓN TOTAL

Los valores de la intensidad de precipitación, de precipitación total y de precipitación efectiva se calcularon de acuerdo con la metodología y las estaciones incidentes en el sitio (Ver **Informe General**), los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 6** y **Tabla 7** para los diferentes periodos de retorno. Para el cálculo de la intensidad de precipitación se consideró la ecuación que se presenta en el **Numeral 1.4.2** y el tiempo de concentración obtenido que se muestra en el **Numeral 1.4.1.**

Tabla 6. Intensidad de Precipitación y Precipitación Total. Fuente: Elaboración Propia

	Intensidad de Precipitación I (mm/h)						Precipitaciones Totales P (mm)					
	Tr (Años)						Tr (Años)					
Nombre Quebrada	2,33	5	10	25	50	100	2,33	5	10	25	50	100
	Vía Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano											
PIL-3	108,48	125,42	143,08	170,29	194,26	221,60	31,16	36,03	41,10	48,92	55,80	63,66
PIL-9	69,76	80,66	92,01	109,51	124,92	142,51	37,89	43,81	49,97	59,48	67,85	77,40
PIL-15	103,05	119,14	135,91	161,75	184,52	210,50	32,04	37,04	42,25	50,29	57,37	65,44
PIL-36	121,63	140,62	160,41	190,91	217,79	248,45	29,30	33,88	38,65	46,00	52,47	59,86
PIL-49	89,06	102,97	117,46	139,80	159,48	181,93	33,31	38,50	43,93	52,28	59,64	68,03
PIL-85	82,43	95,30	108,72	129,39	147,61	168,38	30,52	35,29	40,26	47,91	54,66	62,35
PIL-89	130,08	150,39	171,56	204,19	232,93	265,71	23,05	26,65	30,41	36,19	41,28	47,09

	Intensidad de Precipitación I (mm/h)						Precipitaciones Totales P (mm)					
	Tr (Años)						Tr (Años)					
Nombre Quebrada	**2,33**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**2,33**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
PIL-106	76,66	88,62	101,10	120,33	137,26	156,58	30,66	35,44	40,43	48,12	54,90	62,62
	Vía La Virgen-Casa Blanca											
LVCB-4	116,51	134,70	153,66	182,89	208,63	238,00	25,70	29,72	33,90	40,34	46,02	52,50
	Vía La Lorena-Maratón											
LLM-3	70,84	81,90	93,43	111,19	126,85	144,70	32,98	38,13	43,49	51,76	59,05	67,36
LLM-11	69,73	80,61	91,96	109,45	124,85	142,43	30,99	35,83	40,88	48,65	55,50	63,31

Tabla 7. Precipitación Efectiva AMC II. Fuente: Elaboración Propia

	Precipitación Efectiva AMC II (B) Pe (mm)					
	Tr (Años)					
Nombre Quebrada	**2,33**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
	Vía Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano					
PIL-3	0,01	0,07	0,43	1,51	2,92	5,01
PIL-9	0,59	1,50	2,84	5,57	8,56	12,55
PIL-15	0,00	0,12	0,54	1,74	3,28	5,52
PIL-36	0,03	0,29	0,85	2,22	3,88	6,22
PIL-49	1,27	2,47	4,07	7,12	10,33	14,47
PIL-85	0,01	0,23	0,75	2,08	3,71	6,05
PIL-89	0,37	0,92	1,74	3,41	5,24	7,67
PIL-106	0,34	0,97	1,94	3,98	6,25	9,31
	Vía La Virgen-Casa Blanca					
LVCB-4	0,01	0,18	0,61	1,71	3,07	5,02
	Vía La Lorena-Maratón					
LLM-3	0,33	0,98	2,00	4,14	6,55	9,79
LLM-11	0,01	0,08	0,44	1,51	2,92	5,01

2.5. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN

La caracterización de la precipitación en la zona de estudio se realizó utilizando los registros mensuales de las estaciones de incidencia en el sitio de estudio, para ello se trazaron los polígonos de Thiessen, los cuales se muestran en el **Anexo A** del Informe General. A continuación en la **Figura 5, Figura 6, y Figura 7** se mostrará la distribución de la precipitación mensual promedio de las estaciones que tienen incidencia en el sitio, estas corresponden a las estaciones pluviométricas Hacienda Túnez, La Granja Nacional, y El Dique.

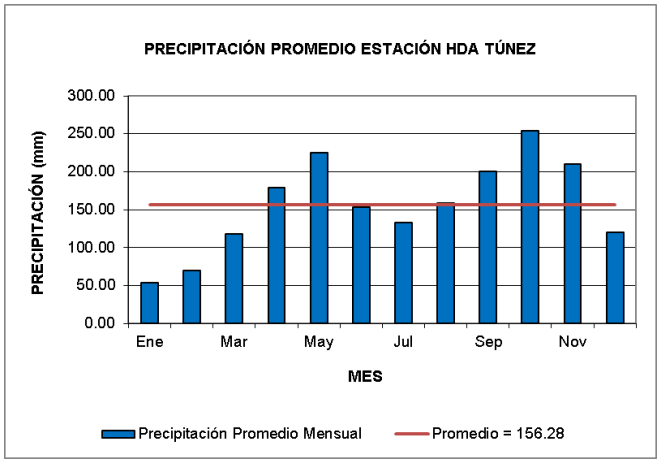


Figura 5.Distribución de Precipitación Mensual Promedio – Estación Hacienda Túnez

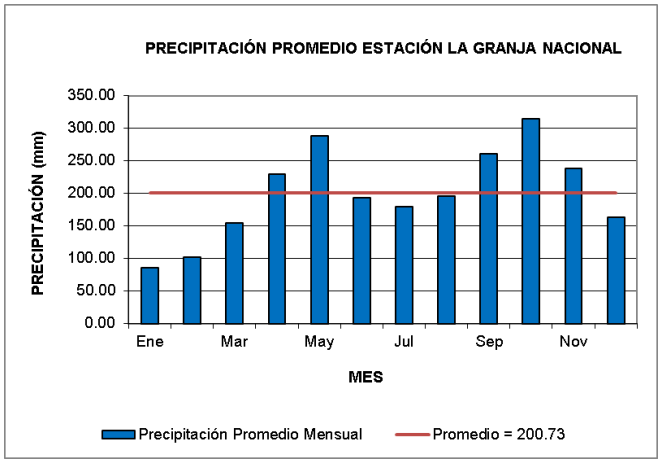


Figura 6.Distribución de Precipitación Mensual Promedio – Estación La Granja Nacional

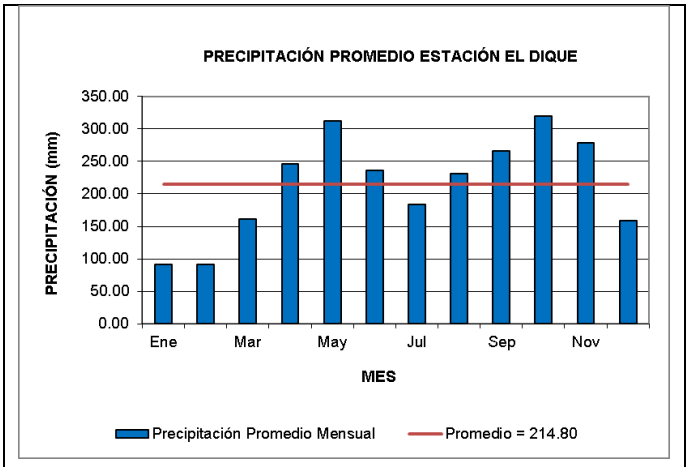


Figura 7.Distribución de Precipitación Mensual Promedio – Estación El Dique

De las figuras anteriores se puede establecer que el régimen de precipitación para la estación es bimodal, con dos periodos húmedos que fluctúan entre los meses de abril a junio y de agosto a noviembre; y dos periodos secos que fluctúan entre los meses de diciembre a marzo y en el mes de julio.

Siendo enero para todas las estaciones el mes más seco con un valor mínimo de 53.80mm en la estación Hacienda Túnez y un valor máximo dado generalmente en el mes de octubre de 319.80mm en la estación El Dique.

2.6. PRECIPITACIÓN PROMEDIA MULTIANUAL PONDERADA

Dado que en la zona de estudio se encuentran tres estaciones de incidencia, la precipitación promedio multianual está dada por las estaciones que tengan incidencia en cada cuenca.

La precipitación promedio multianual de la estación Hacienda Túnez es 1875,40mm, de la Granja Nacional es 2408,70mm, y de El Dique es 2577,60mm. De esta manera y teniendo en cuenta los porcentajes de incidencia definidos para cada cuenca y que se muestran en la **Tabla 2**, se tienen las siguientes precipitaciones promedias multianuales para cada cuenca.

Tabla 8. Precipitaciones Promedias Multianuales. Fuente: Elaboración Propia

Nombre Quebrada	Precipitación Promedia Multianual (mm)
Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano	
PIL-3	2577,60
PIL-9	2577,60
PIL-15	2577,60
PIL-36	2577,60
PIL-49	2508,33
PIL-85	2436,15
PIL-89	2408,70
PIL-106	2408,92
La Virgen-Casa Blanca	
LVCB-4	2447,66
La Lorena-Maratón	
LLM-3	2432,78
LLM-11	2221,48

2.6.1. Distribución de la Precipitación en el Tiempo

Para la distribución de la precipitación en el tiempo se utilizó la envolvente para un nivel de probabilidad del 50% que es una consideración conservadora y correspondiente al segundo cuartil de las curvas de Huff (Cárdenas, 1995).

2.7. CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE CRECIENTE

A continuación, se muestra el cálculo de los caudales de creciente a partir de los procedimientos descritos en la metodología, se calcularon los caudales en condiciones AMC II (B).

2.7.1. Determinación del Coeficiente de Escorrentía Ponderado (C)

Para estimar los caudales máximos sobre la cuenca mediante la Ecuación Racional, es necesario definir el coeficiente de escorrentía de estas, valor que se obtiene a partir de los usos del suelo.

En la **Tabla 9** se muestran los usos del suelo definidos en la cartografía del IGAC y la reclasificación acorde a la metodología de Ven te Chow (Chow et al., 1994), adicionalmente, se muestran los porcentaje de aporte de cada uso del suelo en las cuencas en estudio (**Ver**

Tabla 10. Porcentaje Usos del Suelo de la Zona en Estudio. Fuente: Elaboración Propia

Río/Quebrada	Reclasificación	Área (%)	Total (%)
Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano			
PIL-3	Cultivos	0,00	100
	Bosques	1,68	
	Pastos	98,32	
	Urbano	0,00	
PIL-9	Cultivos	17,69	100
	Bosques	42,15	
	Pastos	40,16	
	Urbano	0,00	
PIL-15	Cultivos	0,00	100
	Bosques	6,39	
	Pastos	93,61	
	Urbano	0,00	
PIL-36	Cultivos	23,07	100
	Bosques	65,25	
	Pastos	11,67	
	Urbano	0,00	
PIL-49	Cultivos	50,61	100
	Bosques	45,10	
	Pastos	4,29	
	Urbano	0,00	
PIL-85	Cultivos	2,31	100
	Bosques	54,71	
	Pastos	42,98	
	Urbano	0,00	
PIL-89	Cultivos	0,00	100
	Bosques	0,00	
	Pastos	100,00	
	Urbano	0,00	
PIL-106	Cultivos	13,62	100
	Bosques	60,99	
	Pastos	23,46	
	Urbano	1,94	
La Virgen-Casa Blanca			
LVCB-4	Cultivos	3,47	100

Río/Quebrada	Reclasificación	Área (%)	Total (%)
	Bosques	64,95	
	Pastos	31,57	
	Urbano	0,00	
La Lorena-Maratón			
LLM-3	Cultivos	2,07	100
	Bosques	48,25	
	Pastos	49,69	
	Urbano	0,00	
LLM-11	Cultivos	0,00	100
	Bosques	3,09	
	Pastos	96,91	
	Urbano	0,00	

En la **Tabla 11** se muestran los coeficientes de escorrentía tabulados por Ven Te Chow para cada uno de los periodos de retorno y para cada uno de los usos del suelo definidos.

Tabla 11. Coeficientes de Escorrentía Tabulados por Ven Te Chow. Fuente: Elaboración Propia

Reclasificación	Coeficientes de Escorrentía C					
	Tr (Años)					
	2.33	5	10	25	50	100
Cultivos, Pendientes >7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54
Bosques, Pendientes > 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52
Pastos, Pendientes > 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53
Urbano, Pendientes > 7%	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97

El coeficiente de escorrentía se ponderó de dos maneras diferentes: como lo reporta Ven Te Chow (Chow V. et al, 1994) y como función del número de curva para la condición de humedad antecedente AMC II, y para el grupo hidrológico de suelo Tipo B, para lo cual se tuvo en cuenta los porcentajes de uso del suelo y los coeficientes de escorrentía tabulados. En la **Tabla 12** se pueden ver los valores ponderados para el coeficiente de escorrentía para las cuencas en estudio.

).

Tabla 9. Reclasificación Usos del Suelo. Fuente: Elaboración Propia

Código Plancha I.G.A.C.	Tipo de Suelo según cartografía del IGAC	Reclasificación
3121-3122	Bosques Natural Fragmentado, con arbustos y matorrales	Bosques
322	Áreas con vegetación herbáceo y/o arbustiva	Bosques
111	Tejido urbano continuo	Urbano
225	Cultivos permanentes, Café	Cultivos
231	Pastos Limpios	Pastos
242-244	Mosaico de cultivos	Cultivos
512	Lagunas, lagos y ciénagas	Urbano

Tabla 10. Porcentaje Usos del Suelo de la Zona en Estudio. Fuente: Elaboración Propia

Río/Quebrada	Reclasificación	Área (%)	Total (%)
Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano			
PIL-3	Cultivos	0,00	100
	Bosques	1,68	
	Pastos	98,32	
	Urbano	0,00	
PIL-9	Cultivos	17,69	100
	Bosques	42,15	
	Pastos	40,16	
	Urbano	0,00	
PIL-15	Cultivos	0,00	100
	Bosques	6,39	
	Pastos	93,61	
	Urbano	0,00	
PIL-36	Cultivos	23,07	100
	Bosques	65,25	
	Pastos	11,67	
	Urbano	0,00	
PIL-49	Cultivos	50,61	100
	Bosques	45,10	
	Pastos	4,29	
	Urbano	0,00	
PIL-85	Cultivos	2,31	100
	Bosques	54,71	
	Pastos	42,98	
	Urbano	0,00	
PIL-89	Cultivos	0,00	100
	Bosques	0,00	
	Pastos	100,00	
	Urbano	0,00	
PIL-106	Cultivos	13,62	100
	Bosques	60,99	
	Pastos	23,46	

Río/Quebrada	Reclasificación	Área (%)	Total (%)
	Urbano	1,94	
La Virgen-Casa Blanca			
LVCB-4	Cultivos	3,47	100
	Bosques	64,95	
	Pastos	31,57	
	Urbano	0,00	
La Lorena-Maratón			
LLM-3	Cultivos	2,07	100
	Bosques	48,25	
	Pastos	49,69	
	Urbano	0,00	
LLM-11	Cultivos	0,00	100
	Bosques	3,09	
	Pastos	96,91	
	Urbano	0,00	

En la **Tabla 11** se muestran los coeficientes de escorrentía tabulados por Ven Te Chow para cada uno de los periodos de retorno y para cada uno de los usos del suelo definidos.

Tabla 11. Coeficientes de Escorrentía Tabulados por Ven Te Chow. Fuente: Elaboración Propia

Reclasificación	Coeficientes de Escorrentía C					
	Tr (Años)					
	2.33	5	10	25	50	100
Cultivos, Pendientes >7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54
Bosques, Pendientes > 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52
Pastos, Pendientes > 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53
Urbano, Pendientes > 7%	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97

El coeficiente de escorrentía se ponderó de dos maneras diferentes: como lo reporta Ven Te Chow (Chow V. et al, 1994) y como función del número de curva para la condición de humedad antecedente AMC II, y para el grupo hidrológico de suelo Tipo B, para lo cual se tuvo en cuenta los porcentajes de uso del suelo y los coeficientes de escorrentía tabulados. En la **Tabla 12** se pueden ver los valores ponderados para el coeficiente de escorrentía para las cuencas en estudio.

Tabla 12. Coeficientes de Escorrentía Ponderados. Fuente: Elaboración Propia

Nombre Quebrada	Tr (Años)											
	Coeficientes de Escorrentía (Austin, Texas)						Coeficientes de Escorrentía Calibrados para la Condición de Humedad CN II (B)					
	2,33	5	10	25	50	100	2,33	5	10	25	50	100
Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano												
PIL-3	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,0004	0,002	0,01	0,03	0,05	0,08
PIL-9	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,02	0,03	0,06	0,09	0,13	0,16
PIL-15	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,0001	0,003	0,01	0,03	0,06	0,08
PIL-36	0,36	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,001	0,01	0,02	0,05	0,07	0,10
PIL-49	0,37	0,41	0,43	0,47	0,50	0,53	0,04	0,06	0,09	0,14	0,17	0,21
PIL-85	0,36	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,0003	0,01	0,02	0,04	0,07	0,10
PIL-89	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,02	0,03	0,06	0,09	0,13	0,16
PIL-106	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,01	0,03	0,05	0,08	0,11	0,15
La Virgen-Casa Blanca												
LVCB-4	0,36	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,0002	0,01	0,02	0,04	0,07	0,10
La Lorena-Maratón												
LLM-3	0,36	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,01	0,03	0,05	0,08	0,11	0,15
LLM-11	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,0003	0,002	0,01	0,03	0,05	0,08

2.7.2. Cálculo de Pérdidas Hidrológicas

Para evaluar el comportamiento de los suelos y su influencia en la capacidad de descarga se empleó el método de cálculo de las abstracciones hidrológicas del Soil Conservation Service (SCS) empleando el Número de Curva (CN), en la **Tabla 13** se muestran los valores típicos utilizados (Chow et al., 1994).

Tabla 13. Número de Curva (CN) para los Diferentes Usos del Suelo. Fuente: Elaboración Propia

Usos del Suelo	Grupo Hidrológico			
	A	B	C	D
Cultivos Sin Tratamiento de Conservación	72,00	81,00	88,00	91,00
Bosque Natural	45,00	60,00	77,00	83,00
Pastizales	39,00	61,00	74,00	80,00

Los números de curva también se ponderaron de acuerdo a los porcentajes de uso del suelo que se muestran en la

Tabla 10. Porcentaje Usos del Suelo de la Zona en Estudio. Fuente: Elaboración Propia

Río/Quebrada	Reclasificación	Área (%)	Total (%)
Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano			
PIL-3	Cultivos	0,00	100
	Bosques	1,68	
	Pastos	98,32	
	Urbano	0,00	
PIL-9	Cultivos	17,69	100

Río/Quebrada	Reclasificación	Área (%)	Total (%)
	Bosques	42,15	
	Pastos	40,16	
	Urbano	0,00	
PIL-15	Cultivos	0,00	100
	Bosques	6,39	
	Pastos	93,61	
	Urbano	0,00	
PIL-36	Cultivos	23,07	100
	Bosques	65,25	
	Pastos	11,67	
	Urbano	0,00	
PIL-49	Cultivos	50,61	100
	Bosques	45,10	
	Pastos	4,29	
	Urbano	0,00	
PIL-85	Cultivos	2,31	100
	Bosques	54,71	
	Pastos	42,98	
	Urbano	0,00	
PIL-89	Cultivos	0,00	100
	Bosques	0,00	
	Pastos	100,00	
	Urbano	0,00	
PIL-106	Cultivos	13,62	100
	Bosques	60,99	
	Pastos	23,46	
	Urbano	1,94	
La Virgen-Casa Blanca			
LVCB-4	Cultivos	3,47	100
	Bosques	64,95	
	Pastos	31,57	
	Urbano	0,00	
La Lorena-Maratón			
LLM-3	Cultivos	2,07	100
	Bosques	48,25	
	Pastos	49,69	
	Urbano	0,00	
LLM-11	Cultivos	0,00	100
	Bosques	3,09	
	Pastos	96,91	
	Urbano	0,00	

En la **Tabla 11** se muestran los coeficientes de escorrentía tabulados por Ven Te Chow para cada uno de los periodos de retorno y para cada uno de los usos del suelo definidos.

Tabla 11. Coeficientes de Escorrentía Tabulados por Ven Te Chow. Fuente: Elaboración Propia

Reclasificación	Coeficientes de Escorrentía C
	Tr (Años)

	2.33	5	10	25	50	100
Cultivos, Pendientes >7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54
Bosques, Pendientes > 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52
Pastos, Pendientes > 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53
Urbano, Pendientes > 7%	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97

El coeficiente de escorrentía se ponderó de dos maneras diferentes: como lo reporta Ven Te Chow (Chow V. et al, 1994) y como función del número de curva para la condición de humedad antecedente AMC II, y para el grupo hidrológico de suelo Tipo B, para lo cual se tuvo en cuenta los porcentajes de uso del suelo y los coeficientes de escorrentía tabulados. En la **Tabla 12** se pueden ver los valores ponderados para el coeficiente de escorrentía para las cuencas en estudio.

, para la selección de la humedad antecedente del suelo se procedió a calibrar las respuestas de la cuenca en condiciones de humedad antecedente para suelos saturados AMC II (Condiciones Intermedias), y suelo tipo B (suelos con moderada capacidad de infiltración cuando están saturados, principalmente consisten en suelos de mediana a alta profundidad, con buen drenaje, sus texturas van desde moderadamente finas a moderadamente gruesas, (franca, franco-arenosa o arenosa)). Los valores del CN en condición II corresponden a los valores tabulados que se muestran en la tabla anterior, para ello se lleva a cabo un promedio ponderado entre los porcentajes del uso del suelo definidos en la

Tabla 10. Porcentaje Usos del Suelo de la Zona en Estudio. Fuente: Elaboración Propia

Río/Quebrada	Reclasificación	Área (%)	Total (%)
Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano			
PIL-3	Cultivos	0,00	100
	Bosques	1,68	
	Pastos	98,32	
	Urbano	0,00	
PIL-9	Cultivos	17,69	100
	Bosques	42,15	
	Pastos	40,16	
	Urbano	0,00	
PIL-15	Cultivos	0,00	100
	Bosques	6,39	
	Pastos	93,61	
	Urbano	0,00	
PIL-36	Cultivos	23,07	100
	Bosques	65,25	
	Pastos	11,67	
	Urbano	0,00	
PIL-49	Cultivos	50,61	100
	Bosques	45,10	
	Pastos	4,29	
	Urbano	0,00	
PIL-85	Cultivos	2,31	100
	Bosques	54,71	
	Pastos	42,98	
	Urbano	0,00	
PIL-89	Cultivos	0,00	100
	Bosques	0,00	
	Pastos	100,00	
	Urbano	0,00	
PIL-106	Cultivos	13,62	100
	Bosques	60,99	
	Pastos	23,46	
	Urbano	1,94	
La Virgen-Casa Blanca			
LVCB-4	Cultivos	3,47	100
	Bosques	64,95	
	Pastos	31,57	
	Urbano	0,00	

Río/Quebrada	Reclasificación	Área (%)	Total (%)
La Lorena-Maratón			
LLM-3	Cultivos	2,07	100
	Bosques	48,25	
	Pastos	49,69	
	Urbano	0,00	
LLM-11	Cultivos	0,00	100
	Bosques	3,09	
	Pastos	96,91	
	Urbano	0,00	

En la **Tabla 11** se muestran los coeficientes de escorrentía tabulados por Ven Te Chow para cada uno de los periodos de retorno y para cada uno de los usos del suelo definidos.

Tabla 11. Coeficientes de Escorrentía Tabulados por Ven Te Chow. Fuente: Elaboración Propia

Reclasificación	Coeficientes de Escorrentía C					
	Tr (Años)					
	2.33	5	10	25	50	100
Cultivos, Pendientes >7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54
Bosques, Pendientes > 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52
Pastos, Pendientes > 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53
Urbano, Pendientes > 7%	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97

El coeficiente de escorrentía se ponderó de dos maneras diferentes: como lo reporta Ven Te Chow (Chow V. et al, 1994) y como función del número de curva para la condición de humedad antecedente AMC II, y para el grupo hidrológico de suelo Tipo B, para lo cual se tuvo en cuenta los porcentajes de uso del suelo y los coeficientes de escorrentía tabulados. En la **Tabla 12** se pueden ver los valores ponderados para el coeficiente de escorrentía para las cuencas en estudio.

, y los valores tabulados para cada uso del suelo en la **Tabla 13**.

A continuación, en la **Tabla 14** se muestran los valores del CN para la cuenca en estudio.

Tabla 14. Valores del CN para la Cuenca en Estudio. Fuente: Elaboración Propia

Nombre Quebrada	CN II (B)
Puente Iglesias-La Ye, La Ye-El Líbano	
PIL-3	60.98
PIL-9	64.12
PIL-15	60.94
PIL-36	64.96
PIL-49	70.67
PIL-85	62.95
PIL-89	72.37
PIL-106	67.1
La Virgen-Casa Blanca	
LVCB-4	77,42
La Lorena-Maratón	
LLM-3	76,80
LLM-11	74,09

2.7.3. Resultados Obtenidos

Una vez definidos los diferentes factores que caracterizan la hidrología de las cuencas en la zona de interés, se analizan los métodos para estimación de caudales máximos con el fin de seleccionar los caudales que mejor se ajusten a la cuenca.

A continuación, en la **Tabla 15** a **Tabla 25** se muestra un resumen de los resultados de caudales para la condición de humedad antecedente II y suelo Tipo B para las cuencas en estudio; los valores resaltados en color azul y amarillo corresponden a los empleados en el cálculo del valor promedio y de los intervalos de confiabilidad respectivamente, los cuales se calcularon considerando el rango entre la media y el delta superior e inferior limitado por la desviación estándar. Así mismo se muestra en la **Figura 8** a **Figura 18** la variación de los caudales máximos obtenidos versus el periodo de retorno.

2.7.3.1. Vía Puente Iglesias-La Ye-El Líbano

Tabla 15. Resumen de Caudales Máximos PIL-3 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia

PIL-3 Caudales Máximos– AMC II (B)									
Período de Retorno	Ecuación Racional		Snyder	SCS	Williams & Hann	Promedio	Desviación Estándar	Límite Superior	Límite Inferior
Tr (Años)	Austin	CN				x	s	x+s	x-s
2,33	12,91	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
5	16,14	0,08	0,09	0,08	0,07	0,08	0,01	0,09	0,08
10	19,33	0,48	0,50	0,46	0,42	0,46	0,03	0,50	0,43
25	25,20	1,69	1,74	1,60	1,44	1,62	0,13	1,75	1,49
50	30,62	3,27	3,32	3,06	2,80	3,11	0,24	3,35	2,88
100	37,79	5,62	5,64	5,22	4,78	5,32	0,40	5,72	4,91

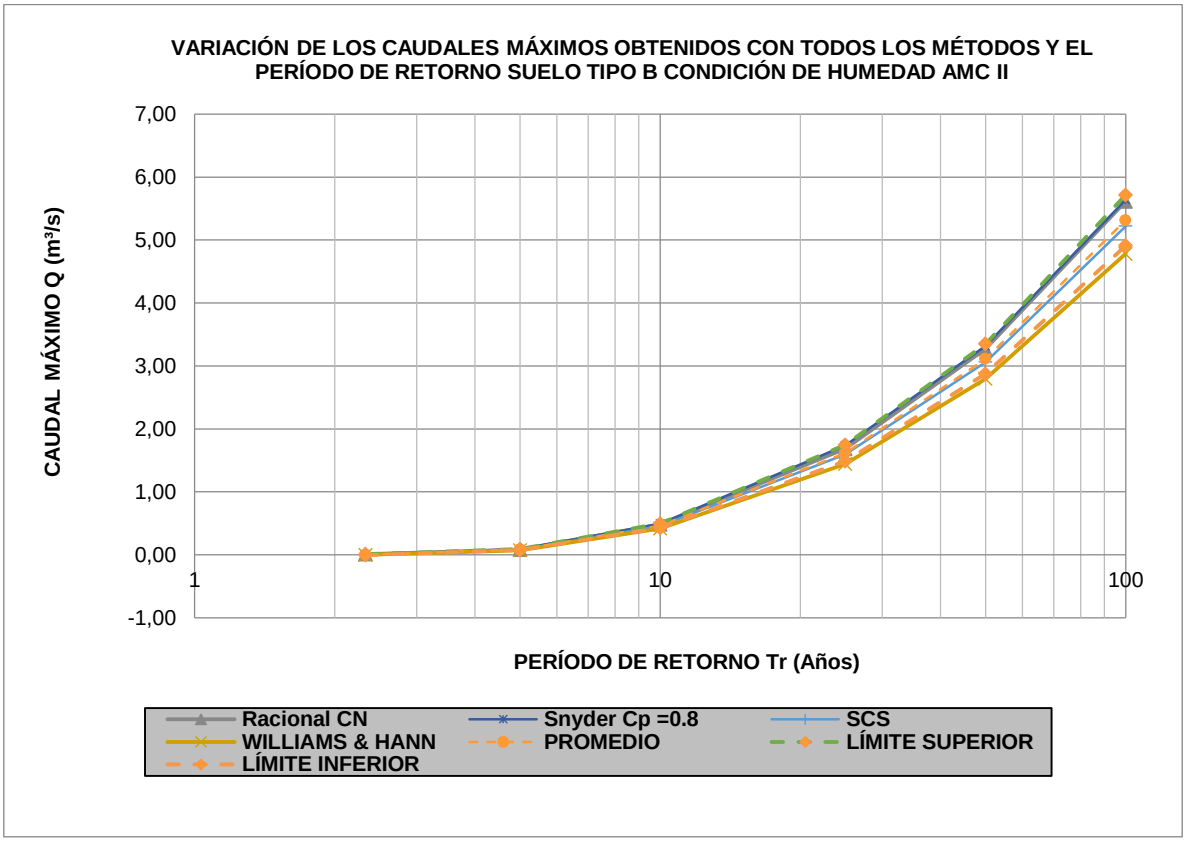


Figura 8. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-3. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16. Resumen de Caudales Máximos PIL-9 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia

PIL-9 Caudales Máximos– AMC II (B)									
Período de Retorno	Ecuación Racional		Snyder	SCS	Williams & Hann	Promedio	Desviación Estándar	Límite Superior	Límite Inferior
Tr (Años)	Austin	CN				x	s	x+s	x-s
2,33	31,31	1,34	1,39	1,27	1,89	1,33	0,06	1,39	1,27
5	39,59	3,40	3,54	3,21	4,73	3,38	0,17	3,55	3,22
10	47,42	6,42	6,58	5,99	8,64	6,33	0,30	6,63	6,02
25	61,83	12,59	12,89	11,76	17,28	12,41	0,59	13,00	11,83
50	75,14	19,37	19,98	18,14	26,65	19,16	0,94	20,10	18,22
100	92,41	28,39	29,33	26,59	38,92	28,10	1,39	29,50	26,71

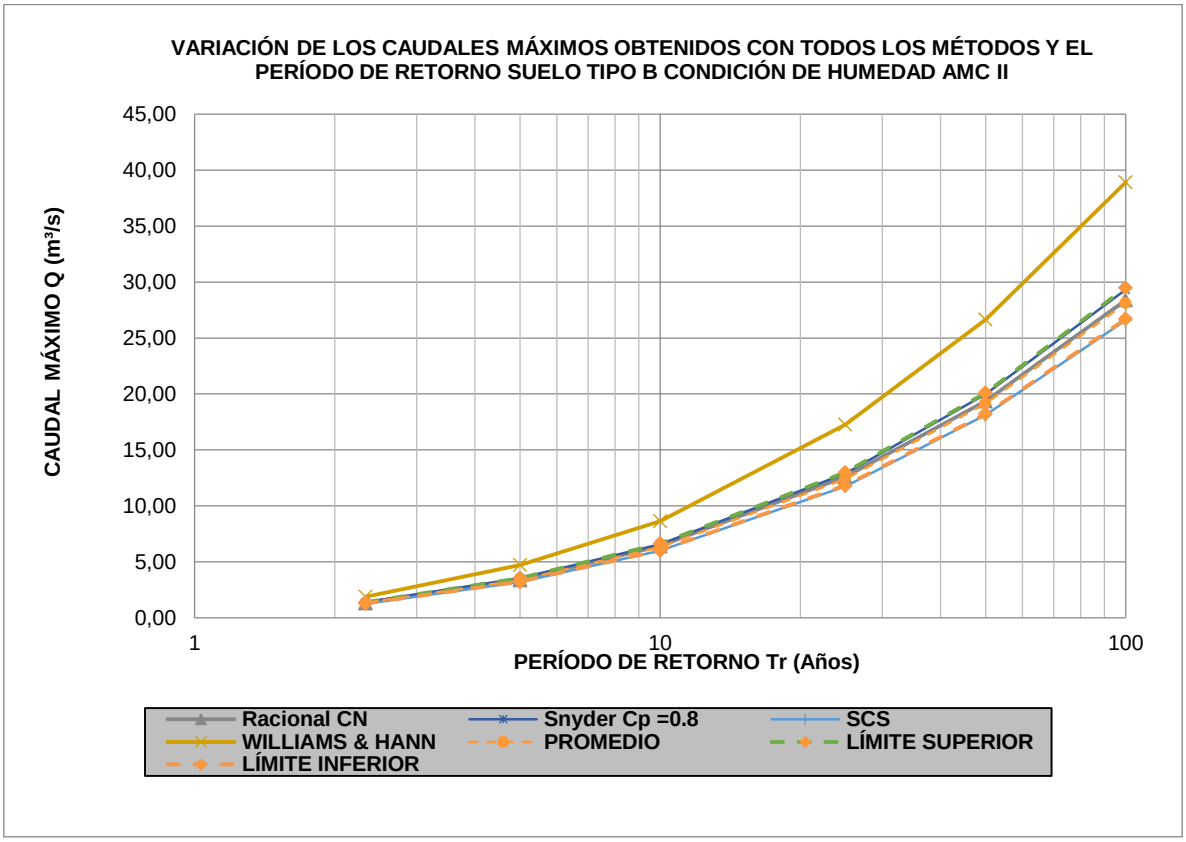


Figura 9.Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-9. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17. Resumen de Caudales Máximos PIL-15 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia

PIL-15 Caudales Máximos– AMC II (B)									
Período de Retorno	Ecuación Racional		Snyder	SCS	Williams & Hann	Promedio	Desviación Estándar	Límite Superior	Límite Inferior
Tr (Años)	Austin	CN				x	s	x+s	x-s
2,33	24,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	31,22	0,25	0,27	0,25	0,21	0,25	0,03	0,27	0,22
10	37,40	1,15	1,17	1,09	0,93	1,08	0,11	1,19	0,98
25	48,76	3,67	3,78	3,47	2,94	3,47	0,37	3,84	3,09
50	59,25	6,92	7,00	6,46	5,55	6,48	0,67	7,15	5,82
100	73,12	11,66	11,77	10,86	9,34	10,91	1,12	12,03	9,78

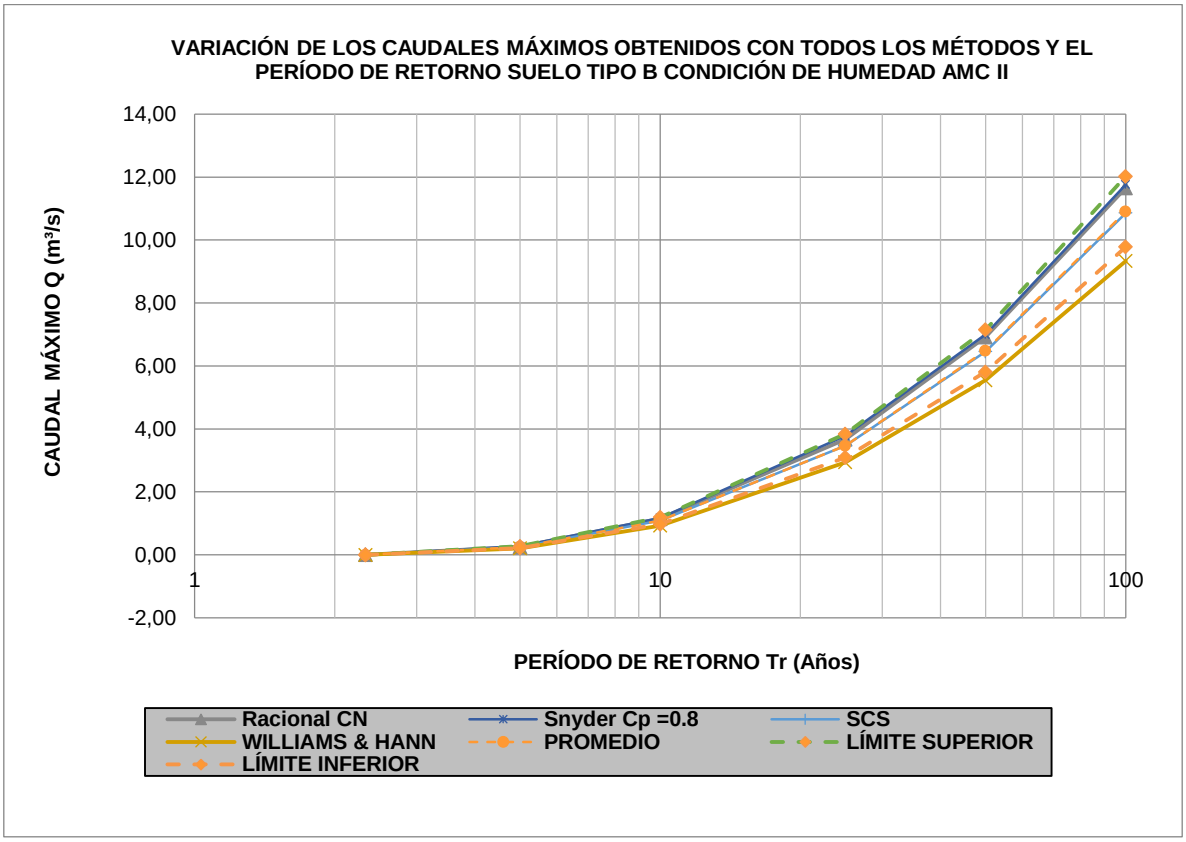


Figura 10. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-15. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18. Resumen de Caudales Máximos PIL-36 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia

PIL-36 Caudales Máximos– AMC II (B)									
Período de Retorno	Ecuación Racional		Snyder	SCS	Williams & Hann	Promedio	Desviación Estándar	Límite Superior	Límite Inferior
Tr (Años)	Austin	CN				x	s	x+s	x-s
2,33	19,29	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,00	0,05	0,05
5	24,55	0,53	0,55	0,51	0,73	0,53	0,02	0,55	0,51
10	29,42	1,55	1,60	1,48	2,07	1,54	0,06	1,61	1,48
25	38,36	4,05	4,10	3,79	5,37	3,98	0,16	4,14	3,82
50	46,63	7,06	7,05	6,56	9,23	6,89	0,29	7,18	6,60
100	57,30	11,32	11,47	10,58	14,58	11,12	0,47	11,60	10,65

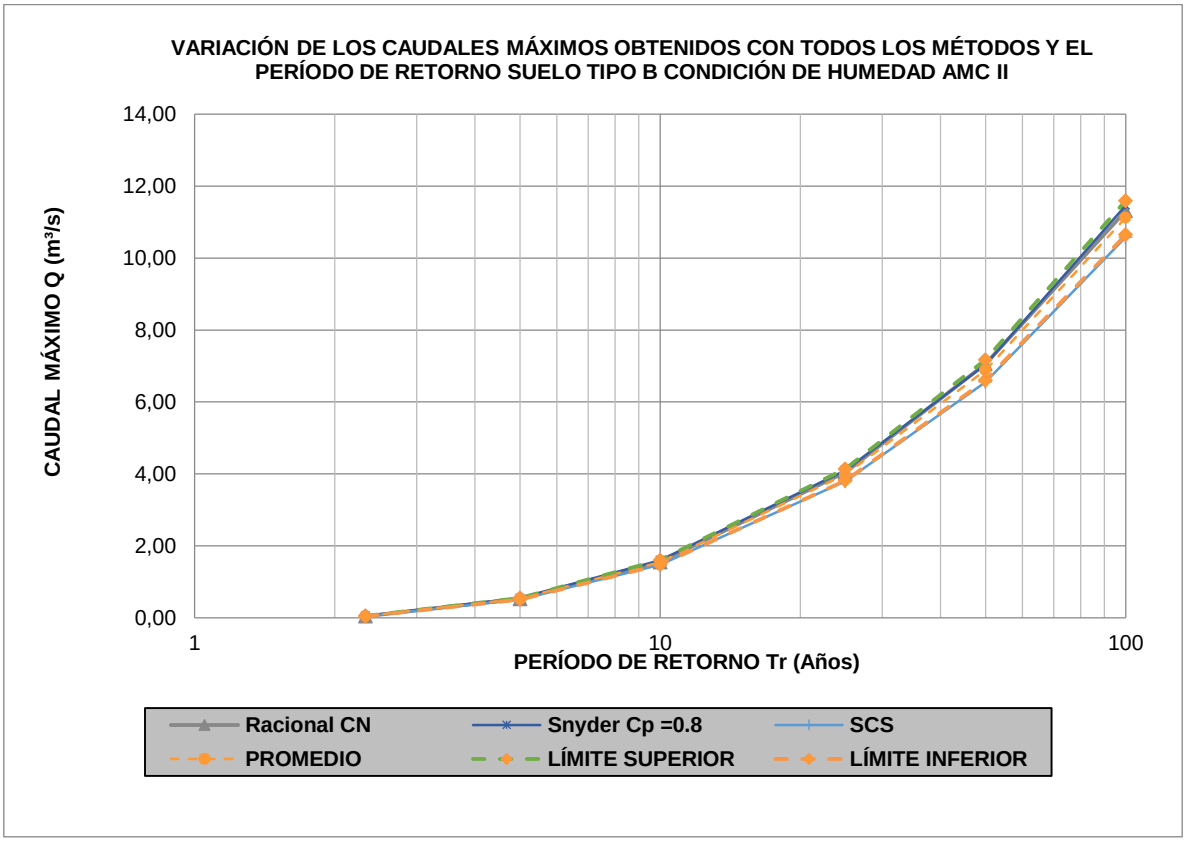


Figura 11. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-36. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 19. Resumen de Caudales Máximos PIL-49 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia

PIL-49 Caudales Máximos– AMC II (B)									
Período de Retorno	Ecuación Racional		Snyder	SCS	Williams & Hann	Promedio	Desviación Estándar	Límite Superior	Límite Inferior
Tr (Años)	Austin	CN				x	s	x+s	x-s
2,33	62,02	6,37	6,57	6,01	7,44	6,60	0,61	7,21	5,99
5	78,37	12,40	12,54	11,54	14,50	12,75	1,25	14,00	11,49
10	93,81	20,42	20,76	19,05	23,80	21,01	2,00	23,01	19,00
25	122,14	35,75	36,68	33,49	41,22	36,78	3,25	40,03	33,54
50	148,32	51,81	53,15	48,50	59,06	53,13	4,41	57,54	48,72
100	181,12	72,60	74,29	67,83	81,95	74,17	5,87	80,03	68,30

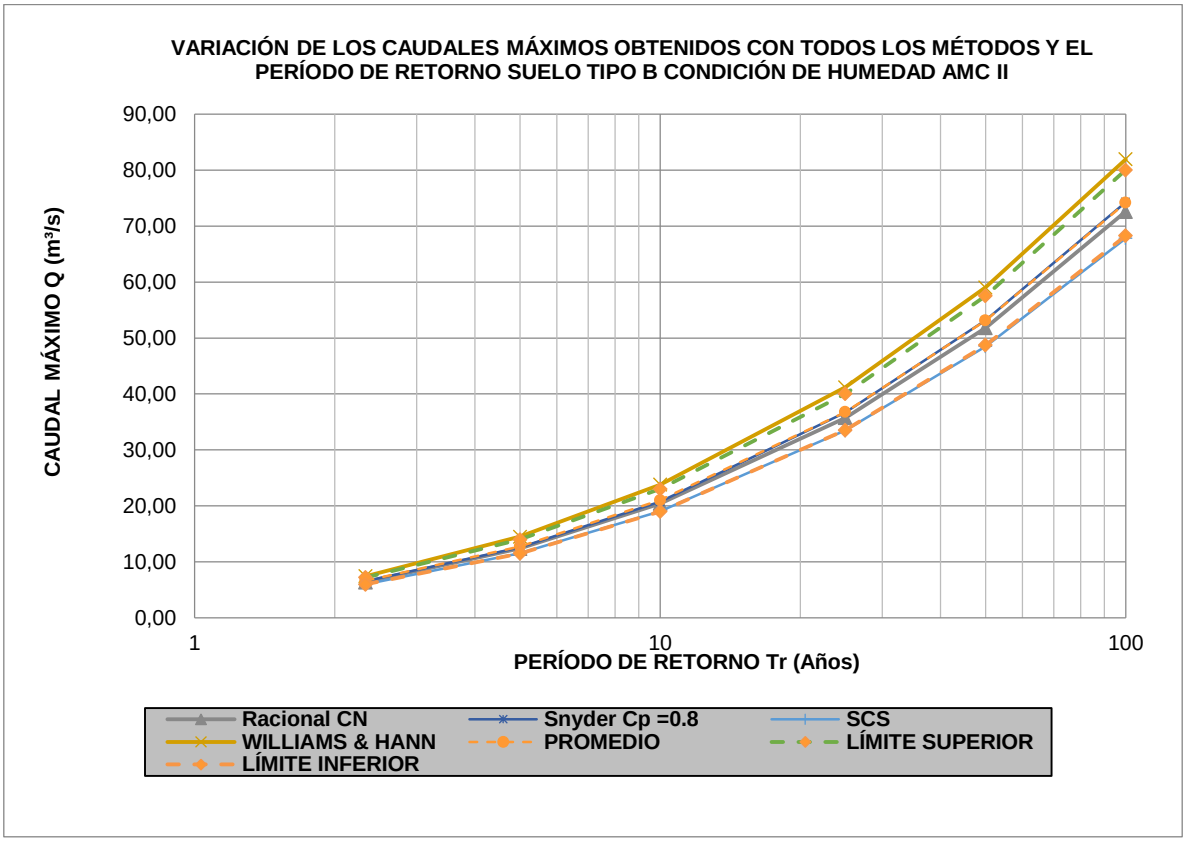


Figura 12. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-49. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20. Resumen de Caudales Máximos PIL-85 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia

PIL-85 Caudales Máximos– AMC II (B)									
Período de Retorno	Ecuación Racional		Snyder	SCS	Williams & Hann	Promedio	Desviación Estándar	Límite Superior	Límite Inferior
Tr (Años)	Austin	CN				x	s	x+s	x-s
2,33	34,73	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	0,04	0,03
5	44,11	0,72	0,77	0,70	0,92	0,78	0,10	0,88	0,68
10	52,87	2,37	2,46	2,26	3,03	2,53	0,34	2,87	2,19
25	68,99	6,57	6,75	6,18	8,10	6,90	0,83	7,73	6,07
50	83,89	11,75	11,85	10,91	14,40	12,23	1,51	13,74	10,72
100	103,54	19,13	19,49	17,87	23,66	20,04	2,51	22,55	17,53

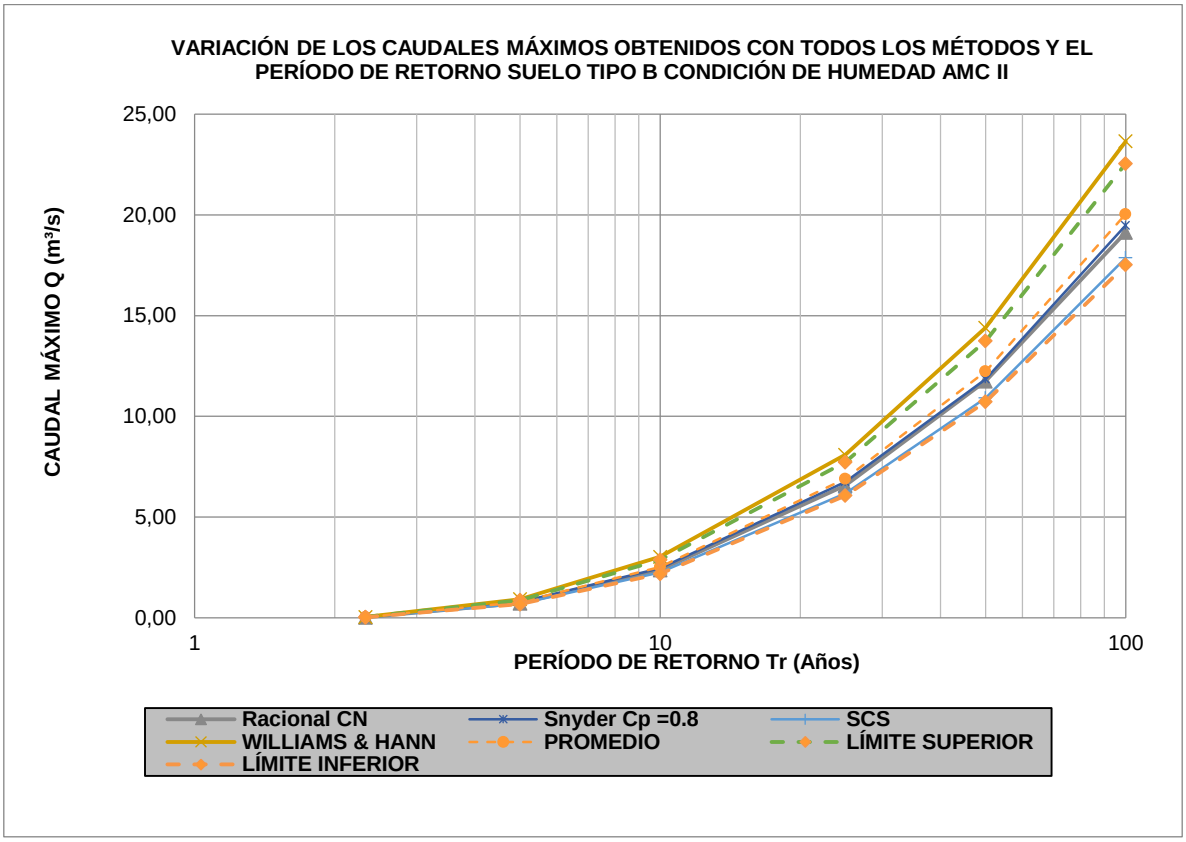


Figura 13. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-85. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 21. Resumen de Caudales Máximos PIL-89 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia

PIL-89 Caudales Máximos– AMC II (B)									
Período de Retorno	Ecuación Racional		Snyder	SCS	Williams & Hann	Promedio	Desviación Estándar	Límite Superior	Límite Inferior
Tr (Años)	Austin	CN				x	s	x+s	x-s
2,33	9,14	0,39	0,40	0,37	0,39	0,39	0,01	0,40	0,38
5	11,43	0,99	1,01	0,94	0,98	0,98	0,03	1,01	0,95
10	13,69	1,87	1,86	1,74	1,82	1,82	0,06	1,88	1,77
25	17,84	3,65	3,67	3,41	3,53	3,57	0,12	3,69	3,45
50	21,68	5,61	5,68	5,26	5,45	5,50	0,19	5,69	5,31
100	26,75	8,22	8,32	7,70	7,99	8,06	0,28	8,33	7,78

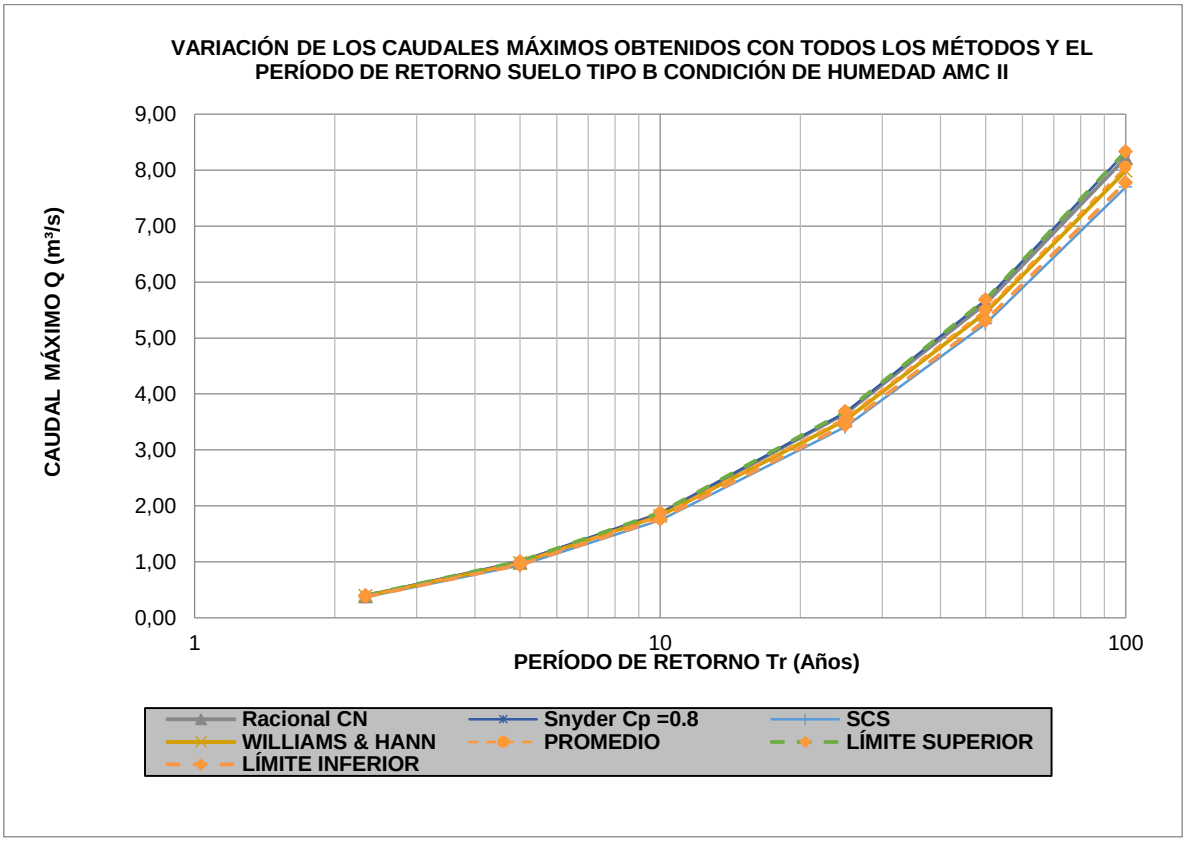


Figura 14 . Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-89. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22. Resumen de Caudales Máximos PIL-106 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia

PIL-106 Caudales Máximos– AMC II (B)									
Período de Retorno	Ecuación Racional		Snyder	SCS	Williams & Hann	Promedio	Desviación Estándar	Límite Superior	Límite Inferior
Tr (Años)	Austin	CN				x	s	x+s	x-s
2,33	34,29	1,02	1,05	0,96	1,27	1,08	0,13	1,21	0,94
5	43,58	2,95	3,07	2,80	3,64	3,12	0,37	3,48	2,75
10	52,20	5,91	6,05	5,54	7,07	6,14	0,66	6,80	5,49
25	68,00	12,11	12,26	11,27	14,58	12,55	1,42	13,97	11,14
50	82,61	19,02	19,49	17,80	22,99	19,82	2,23	22,05	17,60
100	101,64	28,32	29,10	26,53	34,12	29,52	3,25	32,77	26,26

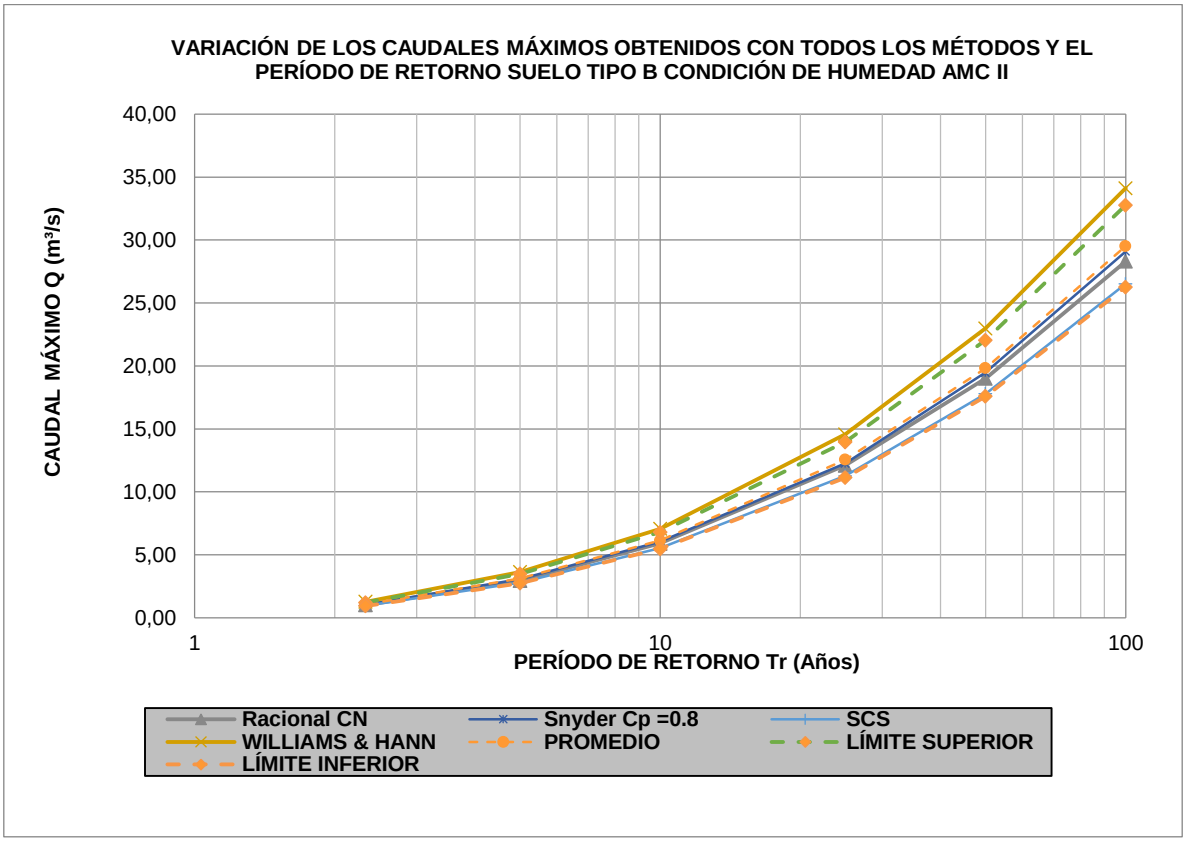


Figura 15. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – PIL-106. Fuente: Elaboración Propia

2.7.3.2. Vía La Virgen-Casablanca

Tabla 23. Resumen de Caudales Máximos LVCB-4 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia

LVCB-4 Caudales Máximos– AMC II (B)									
Período de Retorno	Ecuación Racional		Snyder	SCS	Williams & Hann	Promedio	Desviación Estándar	Límite Superior	Límite Inferior
Tr (Años)	Austin	CN				x	s	x+s	x-s
2,33	34,41	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,00	0,03	0,02
5	43,84	0,68	0,71	0,65	0,77	0,70	0,05	0,75	0,65
10	52,55	2,28	2,34	2,17	2,58	2,34	0,17	2,52	2,17
25	68,58	6,40	6,50	6,02	7,00	6,48	0,40	6,88	6,08
50	83,40	11,50	11,46	10,69	12,65	11,57	0,81	12,38	10,76
100	102,93	18,78	18,95	17,54	20,74	19,01	1,32	20,32	17,69

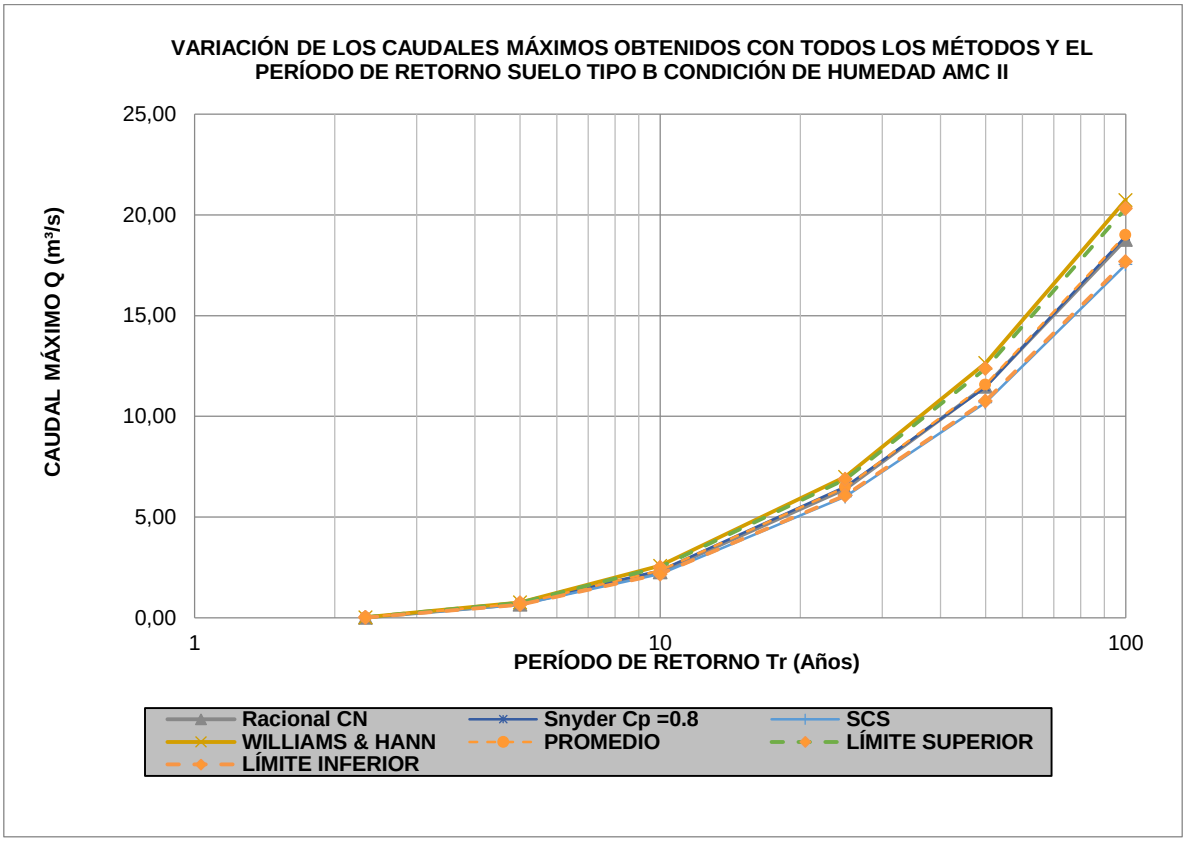


Figura 16. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – LVCB-4. Fuente: Elaboración Propia

2.7.3.3. Vía La Lorena-Maratón

Tabla 24. Resumen de Caudales Máximos LLM-3 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia

LLM-3 Caudales Máximos– AMC II (B)									
Período de Retorno	Ecuación Racional		Snyder	SCS	Williams & Hann	Promedio	Desviación Estándar	Límite Superior	Límite Inferior
Tr (Años)	Austin	CN				x	s	x+s	x-s
2,33	34,21	0,94	0,97	0,89	1,27	1,02	0,17	1,19	0,84
5	43,36	2,82	2,94	2,68	3,66	3,03	0,44	3,46	2,59
10	51,97	5,74	5,91	5,39	7,52	6,14	0,94	7,08	5,19
25	67,81	11,91	12,07	11,08	15,52	12,65	1,96	14,61	10,68
50	82,44	18,82	19,32	17,61	24,33	20,02	2,96	22,98	17,06
100	101,76	28,15	29,00	26,37	35,91	29,86	4,18	34,04	25,67

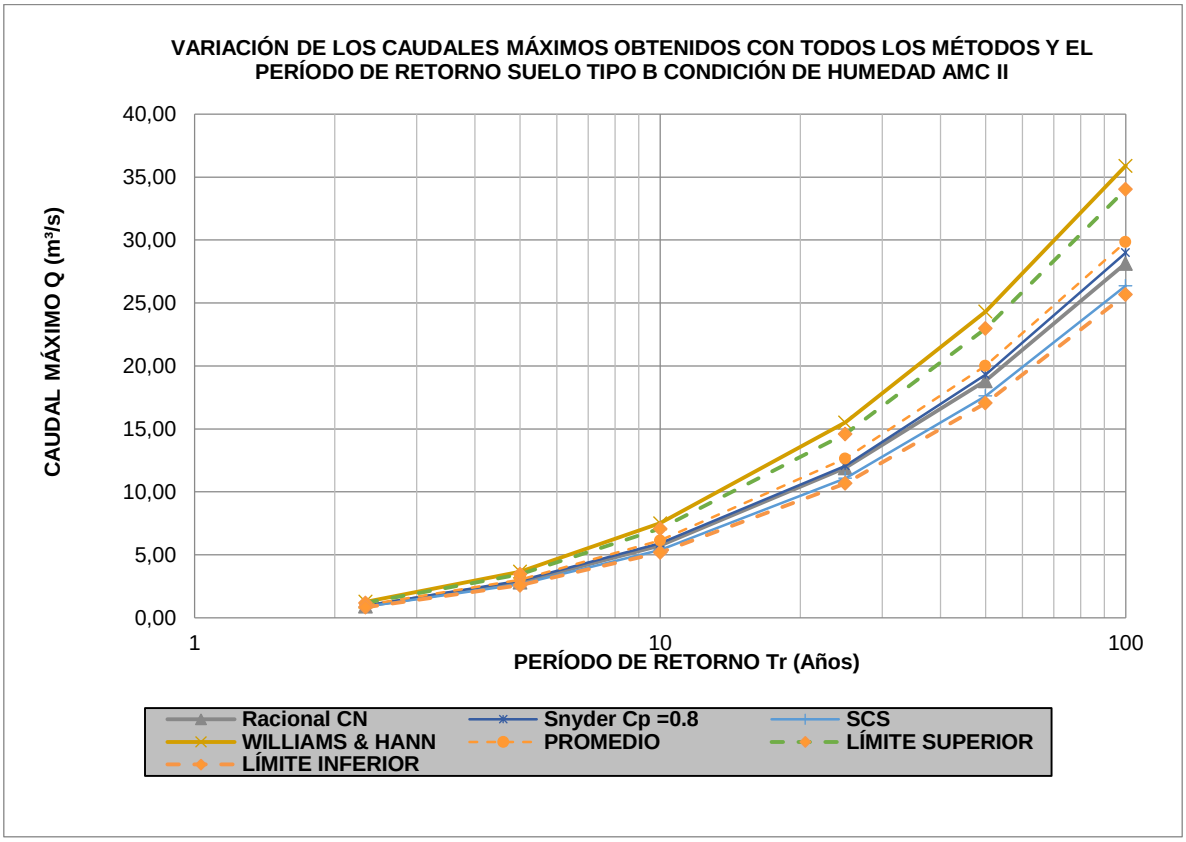


Figura 17. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – LLM-3. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25. Resumen de Caudales Máximos LLM-11 (m³/s). Fuente: Elaboración Propia

LLM-11 Caudales Máximos– AMC II (B)									
Período de Retorno	Ecuación Racional		Snyder	SCS	Williams & Hann	Promedio	Desviación Estándar	Límite Superior	Límite Inferior
Tr (Años)	Austin	CN				x	s	x+s	x-s
2,33	12.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
5	15.06	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	0.01	0.09	0.08
10	18.04	0.46	0.47	0.43	0.50	0.47	0.03	0.49	0.44
25	23.52	1.59	1.65	1.50	1.69	1.61	0.08	1.69	1.53
50	28.58	3.07	3.15	2.88	3.26	3.09	0.16	3.25	2.93
100	35.26	5.27	5.33	4.90	5.57	5.27	0.28	5.54	4.99

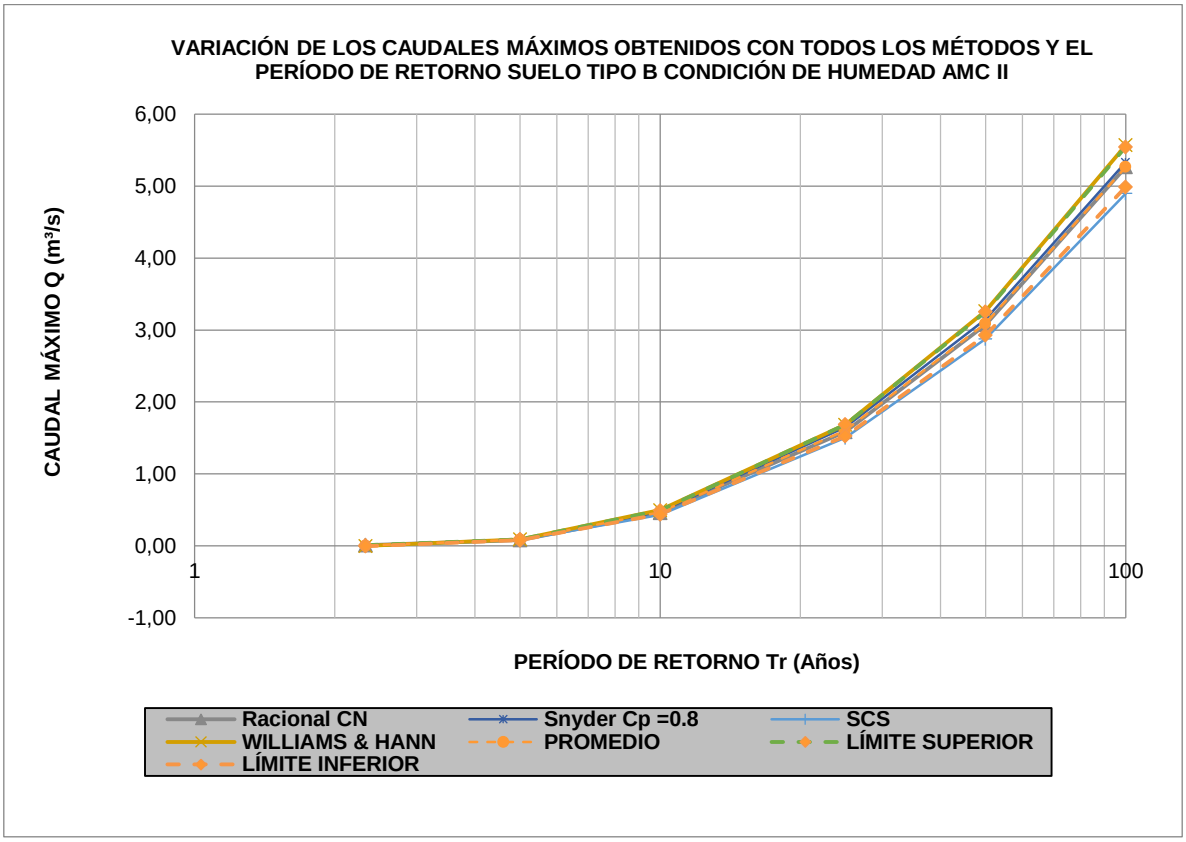


Figura 18. Variación de los Qmáx vs. Tr. Condición AMC II (B) – LLM-11. Fuente: Elaboración Propia

Nota: (*) Las diferencias en el promedio de los valores de las tablas anteriores obedecen a que el programa fuente trabaja con todas las cifras decimales.

De las tablas y figuras anteriores se hace el siguiente análisis para las diferentes cuencas:

- Para la condición de humedad antecedente II (C), los caudales estimados con la Ecuación Racional utilizando el número de curva (CN) y los obtenidos con las hidrógrafas unitarias presentan la misma tendencia y orden de magnitud. Los valores obtenidos por el método racional utilizando los coeficientes hallados en Austin, Texas no se tuvieron en cuenta para el cálculo de los parámetros estadísticos pues sobreestiman los caudales en relación a las demás metodologías.
- Los caudales obtenidos con la hidrógrafa del SCS se encuentra por debajo del valor promedio, para la condición de humedad antecedente del suelo por lo tanto se descartan como caudales definitivos.
- Se eligen como caudales de diseño aquellos que se encuentren por encima de la media y más cerca al límite de confiabilidad superior. Para este caso se selecciona como valor del caudal estimado para todos los períodos de retorno, el obtenido por la

hidrógrafa de Williams y Hann o de Snyder para la condición II, los cuales brindan un enfoque más conservador (Ver resultados en color amarillo en tablas anteriores).

En la **Tabla 26** se muestran los caudales definitivos para las corrientes en estudio hasta el sitio de interés atendiendo las consideraciones anteriores.

Tabla 26. Caudales Máximos en los Sitios de Estudio. Fuente: Elaboración Propia

Condición AMC II (B)						
Nombre Quebrada	Caudales Máximos Definitivos (m³/s)					
	Tr (Años)					
	2.33	5	10	25	50	100
Vía Puente Iglesias-La Ye, La Y-El Líbano						
PIL-3	0,00	0,09	0,50	1,74	3,32	5,64
PIL-9	1,39	3,54	6,58	12,89	19,98	29,33
PIL-15	0,00	0,27	1,17	3,78	7,00	11,77
PIL-36	0,05	0,55	1,60	4,10	7,05	11,47
PIL-49	7,44	14,50	23,80	41,22	59,06	81,95
PIL-85	0,04	0,92	3,03	8,10	14,40	23,66
PIL-89	0,40	1,01	1,86	3,67	5,68	8,32
PIL-106	1,27	3,64	7,07	14,58	22,99	34,12
Vía La Virgen-Casa Blanca						
LVCB-4	0,02	0,77	2,58	7,00	12,65	20,74
Vía La Lorena-Maratón						
LLM-3	1,27	3,66	7,52	15,52	24,33	35,91
LLM-11	0,00	0,09	0,50	1,69	3,26	5,57

13. ESTUDIO HIDRÁULICO PUENTE K4+100,00 LLM-11

El objetivo de este capítulo es presentar la evaluación hidráulica en condiciones existentes y proyectadas para la quebrada La Oculta (K4+100,00) en este estudio a partir de un modelo hidráulico unidimensional, considerando para ello el perfilamiento del cauce con el fin de mejorar las características hidráulicas y evitar la contracción del lecho en cada uno de los sitios, tal como existe actualmente; el diseño se realizó considerando los niveles de flujo obtenidos por los caudales de diseño, es importante mencionar que los caudales de diseño corresponden a lo obtenidos por la condición de humedad antecedente AMC II para un periodo de retorno de 50 años y considerando un borde libre de 2,00m respecto a esta condición.

Finalmente, con el caudal de diseño y las condiciones proyectadas se procedió a calcular la socavación y a recomendar las protecciones requeridas. Se solicita revisar este capítulo evaluando las manchas de inundación que se muestran en los planos del **Anexo I** adjunto a este informe, ya que la posición de las manchas permite entender la razón por la cual se seleccionan los gálibos.

13.1. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES EXISTENTES

Se muestra la modelación hidráulica del tramo de la quebrada La Oculta en el tramo del sitio de interés. La modelación hidráulica bajo este escenario busca como condición de partida determinar el comportamiento hidráulico de la quebrada en el tramo de estudio con el fin de cuantificar y entender la dinámica del flujo en el tramo evaluado.

13.1.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica

Se realiza la estimación de niveles y perfiles hidráulicos para el cauce bajo las condiciones actuales. Este análisis es muy importante para detectar los problemas hidráulicos asociados a velocidades por encima de las permisibles o a controles hidráulicos que puedan ocasionar problemas de desbordamiento o represamiento del flujo. Para los análisis anteriores, se utiliza el software que calcula perfiles de flujo utilizando el método estándar por pasos, como es el caso del HEC-RAS, siguiendo la metodología descrita en el **Numeral 1.4**.

13.1.1.1. Geometría del Cauce

En el tramo de interés, la corriente transcurre en una zona de alta pendiente. El flujo cruza la vía La Lorena - Maratón en el sitio de cruce con abscisa K4+100,00. La cobertura vegetal de la corriente es abundante con presencia de pasto de baja altura tipo pasto. A lo largo del tramo estudiado se observan rocas de gran tamaño en el cauce, condición que influencia su rugosidad.

En el sitio de interés, la quebrada transcurre en su punto de inicio de simulación a través de su canal natural, posteriormente en el cruce con la vía existente la quebrada fluye a través de una batea en concreto sobre el lecho donde no se tiene ninguna obra existente; finalmente en una longitud de 80m, el cauce natural posee una variación de pendientes entre el 0,30% y el 14,00%.



Foto 21. Aguas Arriba del punto de cruce con la vía (Batea en concreto)



Foto 22. Aguas Abajo del punto de cruce con la vía (Batea en concreto)

Las secciones transversales se abscisaron desde aguas arriba, partiendo de la abscisa 0+000.00 hacia aguas abajo; pero el programa HEC-RAS las enumera comenzando en el punto más bajo del tramo en estudio; esto obedece a una recomendación que permite facilitar la simulación hidráulica; sin embargo, en este informe se hace claridad respecto a los abscisados en los resultados que se presentan para el sitio en estudio y en el **Anexo B** correspondiente a las tablas con los resultados de la modelación hidráulica para el periodo de retorno.

13.1.1.2. Localización Sitio de Estudio

En la modelación hidráulica se requiere evaluar el comportamiento del cauce en el sitio de cruce, el análisis hidráulico se realizó para los caudales de diseño que se presentaron en la **Tabla 26**.

Sitio de Estudio: Según el levantamiento topografico este sitio se identifica en las coordenadas Este: 1157478.39 y Norte: 1127696.45, en la vía existente y donde se encuentra el puente existente. A continuación, en la **Figura 129** se muestra la localización del sitio de estudio para condiciones existentes.

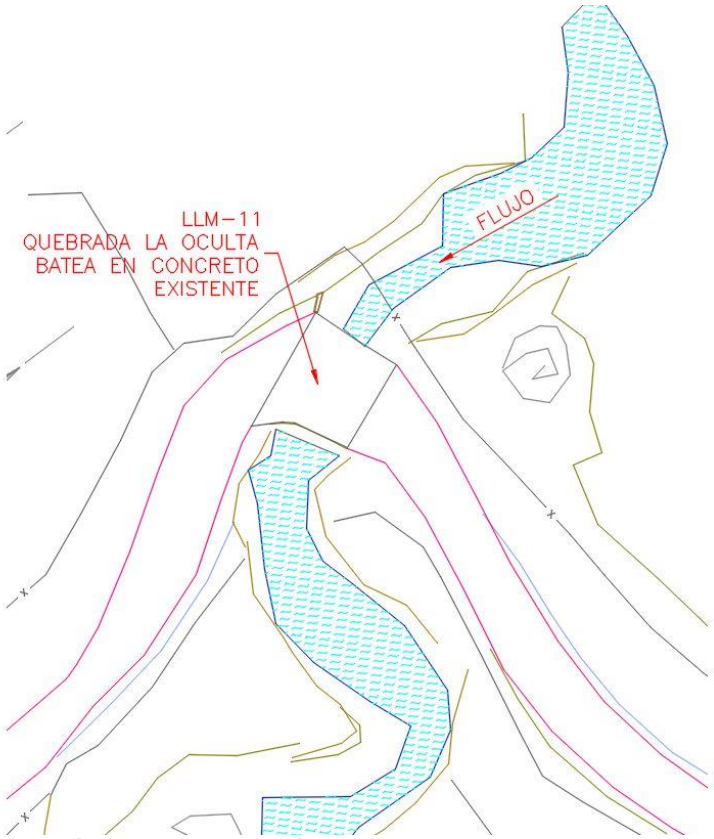


Figura 129. Localización Sitio de Interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Existentes

13.1.1.3. Coeficiente de Rugosidad de Manning (n)

En la **Figura 130** se observa la curva granulométrica de la quebrada, la cual se realizó tomando alrededor de 50 tamaños de partículas aleatorias medidas en el lecho de la quebrada y empleando para ello el procedimiento sugerido por Wolman (1957), el cual se describe a continuación:

- Seleccionada la sección del cauce de interés se determina el ancho.
- Se toman secciones igualmente especiadas aguas arriba y aguas abajo de la sección de interés tantas veces como sean necesarias para tomar muestras. Cada sección se divide a su vez en parte iguales.
- En los puntos de intersección de la cuadrícula se toma el sedimento que allí se encuentre.
- Se mide la longitud del sedimento hallado por la cara más larga.

Se agrupan por valores los diferentes sedimentos hallados. Esta ubicación por rangos puede realizarse de la siguiente manera: sedimentos menores de 2 mm, entre 2 mm y 4 mm a 8 mm a 16 mm a 32 mm, de 32 mm a 64 mm, de 64 mm a 128 mm, etc.

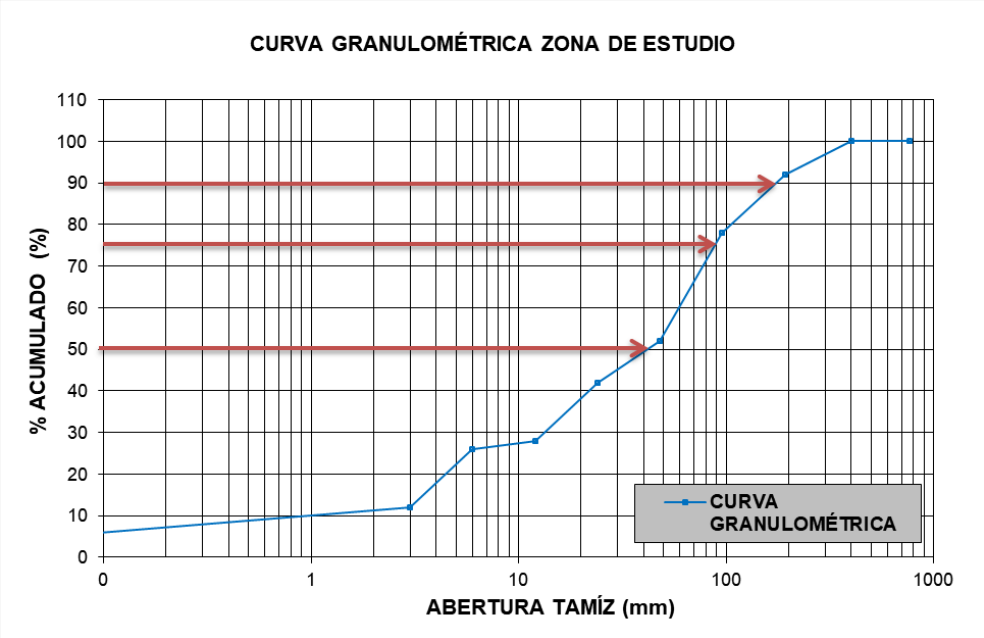


Figura 130: Curva Granulométrica de la quebrada La Oculta usando material del lecho. Fuente: Elaboración Propia

De la **Figura 130** se obtienen los siguientes diámetros característicos:

D50 =43 mm
D75 = 90 mm
D90= 175 mm

A continuación, en la **Tabla 117** se muestran los coeficientes de rugosidad de Manning obtenidos con los diferentes métodos de cálculo expresados en la metodología descrita anteriormente.

Tabla 117: Cálculo del Coeficiente de Rugosidad de Manning Básica en el Lecho. Fuente: Elaboración Propia

Ecuación	Coeficiente de Rugosidad de Manning
Lane y Carlson (1953)	0,032
Meyer - Peter - Müller (1948)	0,028
Garde & Raju (1978), Subramanya (1982)	0,028
Regionalización para Antioquia	0,029
Promedio	**0,029**

Se puede observar que el coeficiente de rugosidad de Manning promedio es 0,029, se toma éste como valor de rugosidad del lecho. A partir de este coeficiente de rugosidad básico estimado se puede obtener el coeficiente de rugosidad del lecho mayorado. En la **Tabla 118** se muestra el cálculo por el método de Cowan.

Tabla 118: Método de Cowan y Factores de Cálculo Utilizados. Fuente: Elaboración Propia

Material involucrado	Gravas	n0 =	0,029
Grado de irregularidad	Menor	n1 =	0,01
Variaciones de la sección transversal	Ocasionalmente alternante	n2 =	0,005
Efectos de obstrucciones	Apreciable	n3 =	0,02
Vegetación	Alta	n4=	0,02
Grados de los efectos de meandros	Menor	m5 =	1,000
n0 = 0,029 que es el coeficiente de rugosidad de Manning obtenido con la granulometría superficial. $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$ $n = (0{,}029 + 0{,}01 + 0{,}005 + 0{,}02 + 0{,}02)x1{,}00 = 0{,}084$			

Las rugosidades adoptadas para el modelo hidráulico en la quebrada de estudio son:

- Para el cauce n = 0,084, correspondiente al cálculo efectuado con la metodología de Cowan.
- Para las márgenes n = 0,040, correspondiente a corrientes con pastos, piedras y árboles medianos y n=0,020 para estructuras en concreto desgastado.

13.1.2. Condiciones del Modelamiento

El modelo hidráulico se elaboró teniendo en cuenta las siguientes condiciones de borde:

- Régimen de flujo mixto: Se decidió correr el régimen mixto con los controles de flujo igual a la profundidad crítica aguas arriba y la profundidad normal con pendiente de 0,0907 aguas abajo. Inicialmente se modeló en este régimen y se evidenció que los valores del número de Froude variaban en diferentes tramos. Posteriormente se realizó la modelación utilizando régimen de flujo supercrítico pero se observó que el comportamiento no era acorde con lo esperado. Por tal motivo se decidió trabajar con régimen de flujo mixto.
- Las condiciones de borde para todos los tramos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 119. Condiciones de Frontera para los Tramos de la Modelación Hidráulica Fuente: Elaboración Propia

Tramo	Aguas arriba	Aguas abajo
LLM-11 Quebrada La Oculta	Profundidad Crítica	Profundidad normal con pendiente de 9,07%

- Coeficientes de contracción y expansión de 0,10 y 0,30 respectivamente.
- Rugosidades según **Numeral 3.1.1.3**.
- Perfiles de flujo estimados para la condición actual

13.1.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Actuales

Se evaluó el cauce de la quebrada La Oculta en el sitio de interés considerando los caudales asociados a condiciones de humedad AMC II para suelo Tipo B. En el tramo de la quebrada se modelaron 80m siguiendo su eje, con secciones transversales ubicadas cada 5 m y con ancho variable. En la **Figura 131** se muestra la topología general del tramo modelado y en el **Anexo B** se muestran los resultados de la modelación para el periodo de retorno.

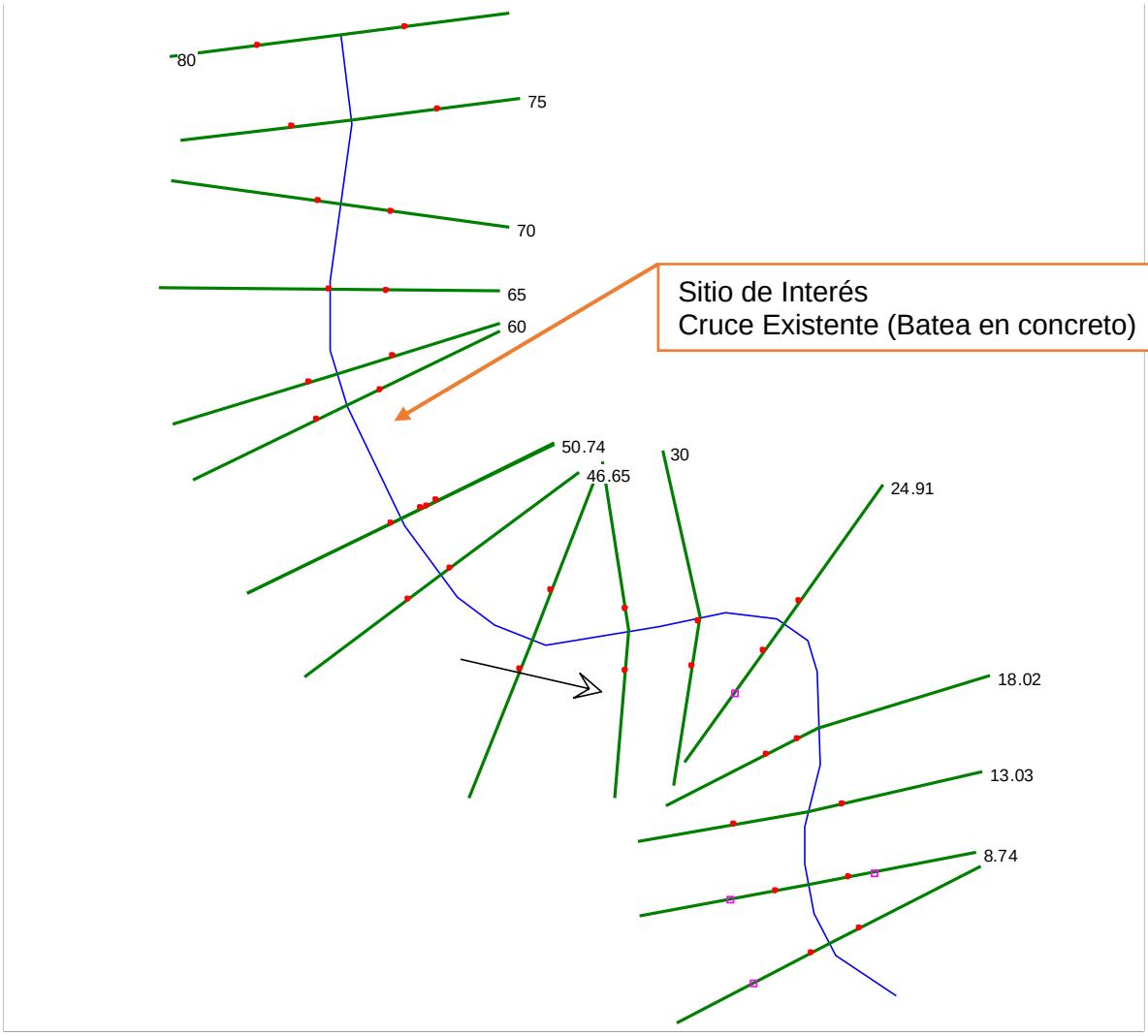


Figura 131. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Actuales

En la **Figura 132** a **Figura 133** se muestran algunas secciones del tramo de estudio para la condición de humedad AMC II.

Cruce Existente (Batea en concreto)

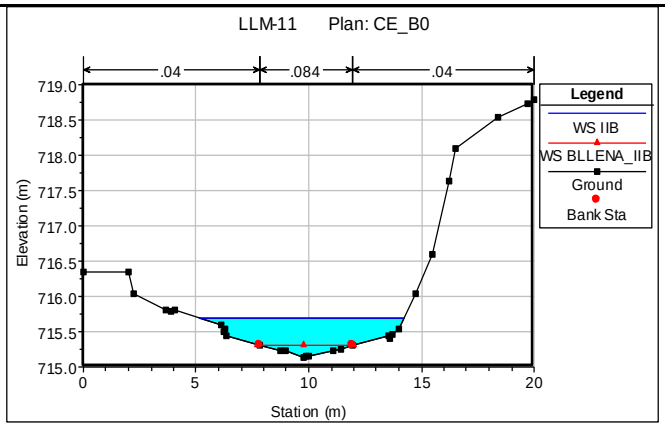


Figura 132. Sección 58.04. Justo aguas arriba del cruce existente con la vía (Batea en concreto)

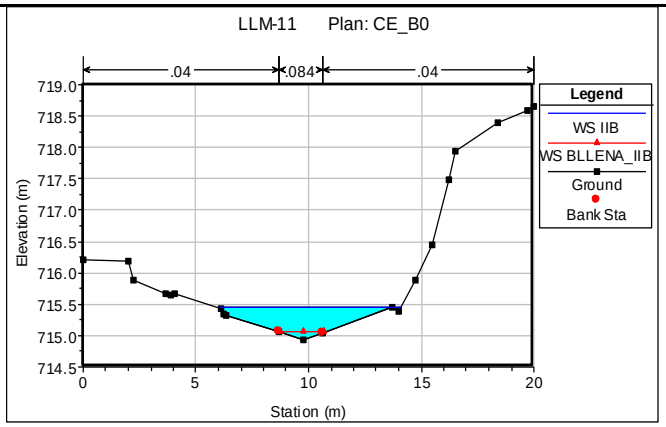


Figura 133. Sección 50.74. Justo aguas abajo del cruce existente con la vía (Batea en concreto)

En la **Figura 134** se muestra el perfil de flujo para la quebrada en el tramo de interés para la condición de humedad AMC II.

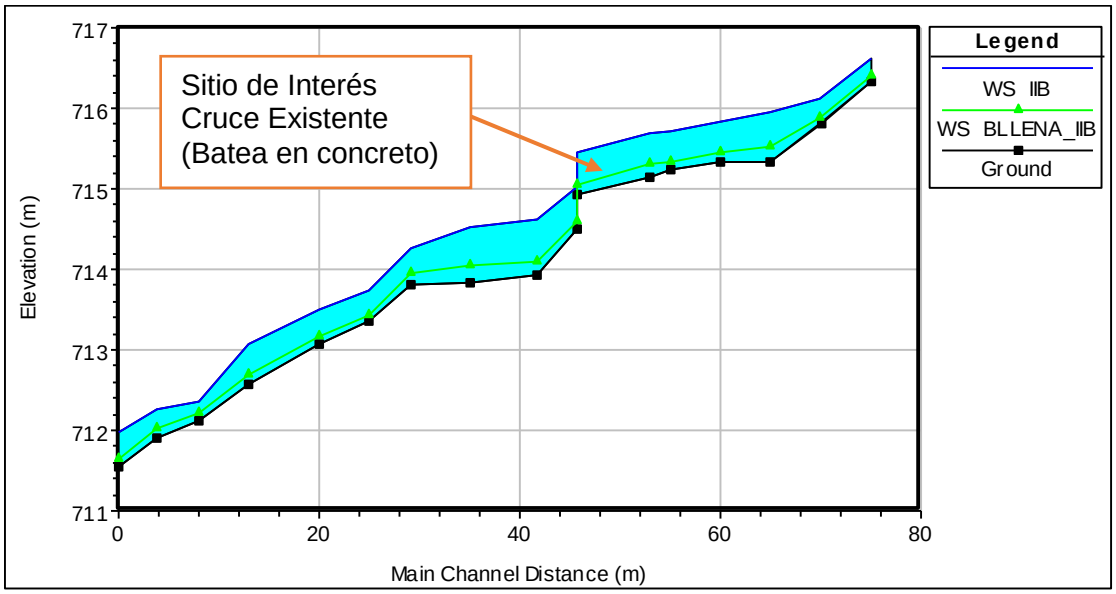


Figura 134. Perfil del Flujo de la quebrada La Oculta Condiciones Existentes. Condición AMC II

Los niveles de la superficie de agua alcanzados para el sitio donde se encuentra el cruce existente con la vía (Batea en concreto) se muestran a continuación en la **Tabla 120** y **Tabla 121**.

Tabla 120. Cotas de Fondo – Cruce Existente

Río/Quebrada	Elevación del Fondo del cauce (m)	
	Entrada	Salida
Quebrada La Oculta K4+100,00	715,14	714,93

Tabla 121. Niveles Alcanzados – Cruce Existente AMC II

Periodo de Retorno	Caudales Máximos	Elevación de la Superficie de agua (m)	
Tr (Años)	Q (m^3/s)	Entrada	Salida
50	3,26	715,69	715,44

13.2. EVALUACIÓN HIDRÁULICA EN CONDICIONES PROYECTADAS

Se muestra la modelación hidráulica del tramo de la quebrada La Oculta en el tramo del sitio de interés. La modelación hidráulica bajo este escenario busca como condición de partida determinar el comportamiento hidráulico de la quebrada en el tramo de estudio con el fin de cuantificar y entender la dinámica del flujo en el tramo evaluado para condiciones proyectadas.

13.2.1. Condiciones de Frontera para la Modelación Hidráulica

13.2.1.1. Localización Sitio de Estudio

En la modelación hidráulica se requiere evaluar el comportamiento del cauce en el sitio de cruce con la vía proyectada, el análisis hidráulico se realizó para los caudales de diseño que se presentron en la **Tabla 26**.

Sitio de Estudio: Según el levantamiento topografico este sitio se identifica en las coordenadas Este: 1157499,45 y Norte: 1127687,91, en la vía proyectada y donde se plantea la ubicación del puente. A continuación, en la **Figura 135** se muestra la localización del sitio de estudio para condiciones proyectadas.

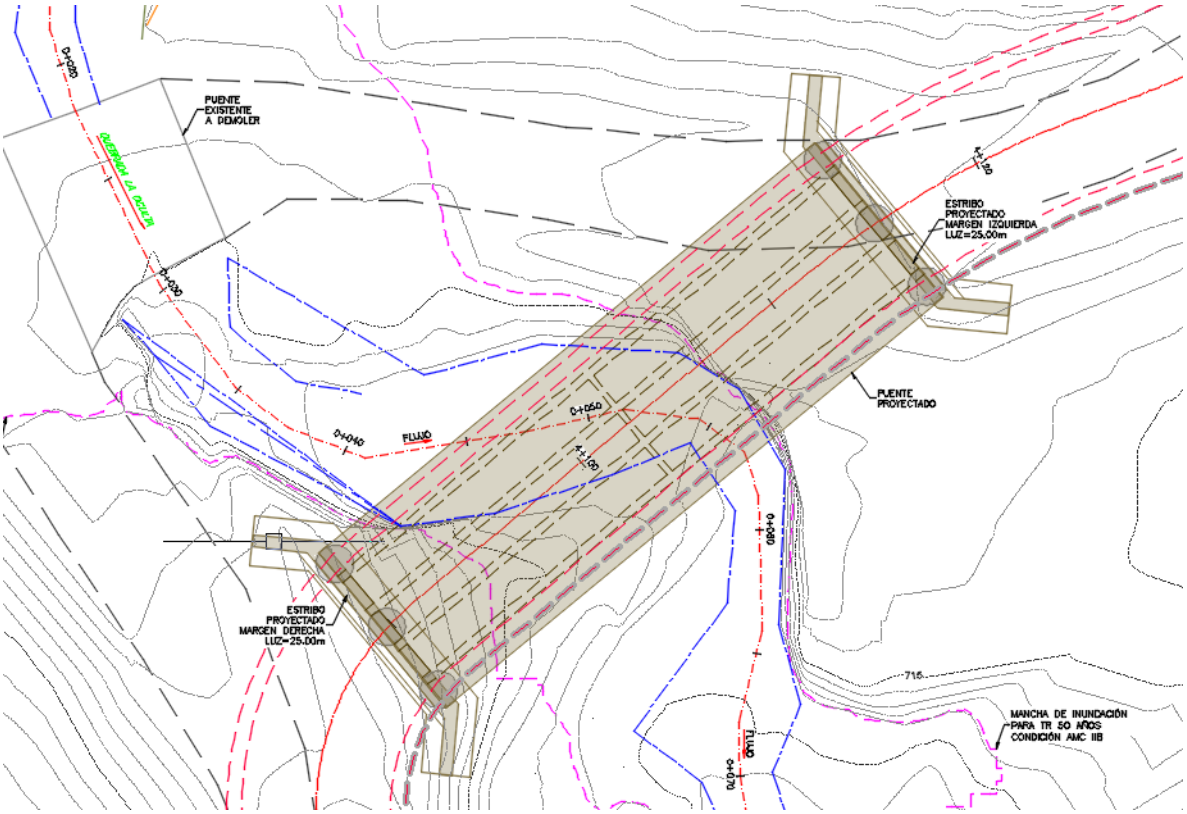


Figura 135. Localización Sitio de interés sobre la Quebrada en Estudio. Condiciones Proyectadas

13.2.2. Condiciones del Modelamiento

El modelo hidráulico se elaboró teniendo en cuenta las mismas condiciones de borde de la condición existente.

13.2.3. Resultados de la Modelación Hidráulica en Condiciones Proyectadas

Se evaluó el cauce en el sitio de interés considerando los caudales asociados a condiciones de humedad AMC II para suelo Tipo B. En el tramo de la quebrada se modelaron 80m siguiendo su eje, con secciones transversales ubicadas cada 5 m y con ancho variable. En la **Figura 136** se muestra la topología general del tramo modelado y en el **Anexo B** se muestran los resultados para el periodo de retorno.

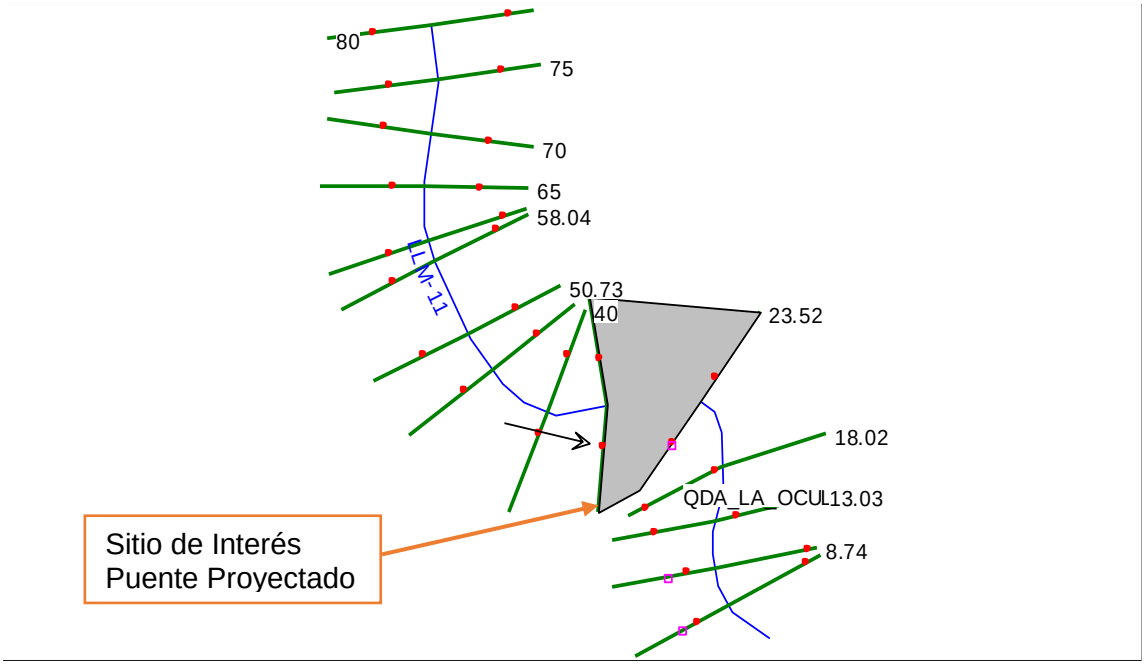


Figura 136. Topología General del Tramo Modelado en Condiciones Proyectadas

En la **Figura 137** a **Figura 138** se muestran algunas secciones de la quebrada en el tramo de estudio para condiciones proyectadas y para la condición AMC II.

Puente Proyectado

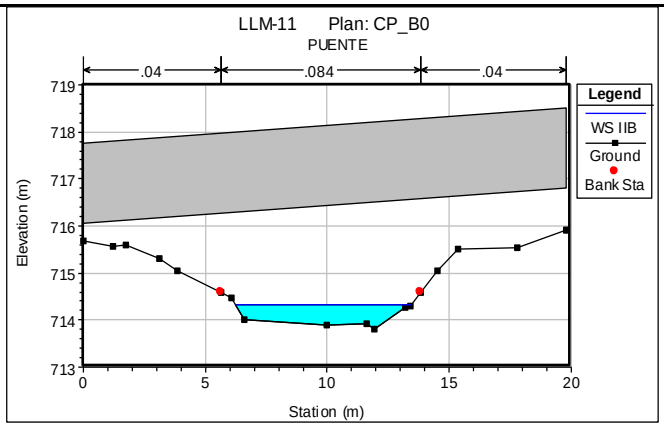


Figura 137. Sección 25 BR U

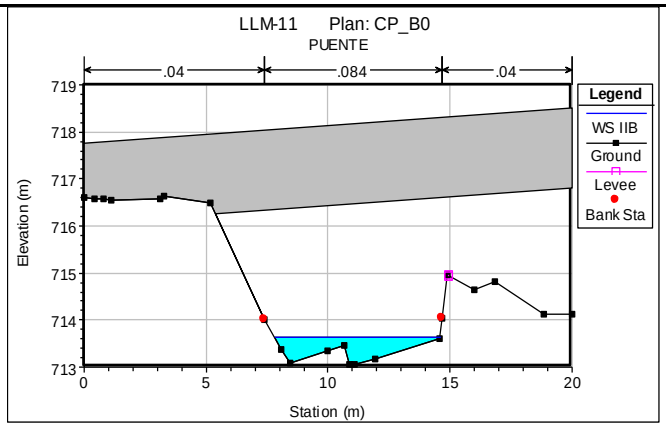


Figura 138. Sección 25 BR D

En la **Figura 139** se muestra el perfil de flujo para la quebrada en el tramo de interés para la condición de humedad AMC II.

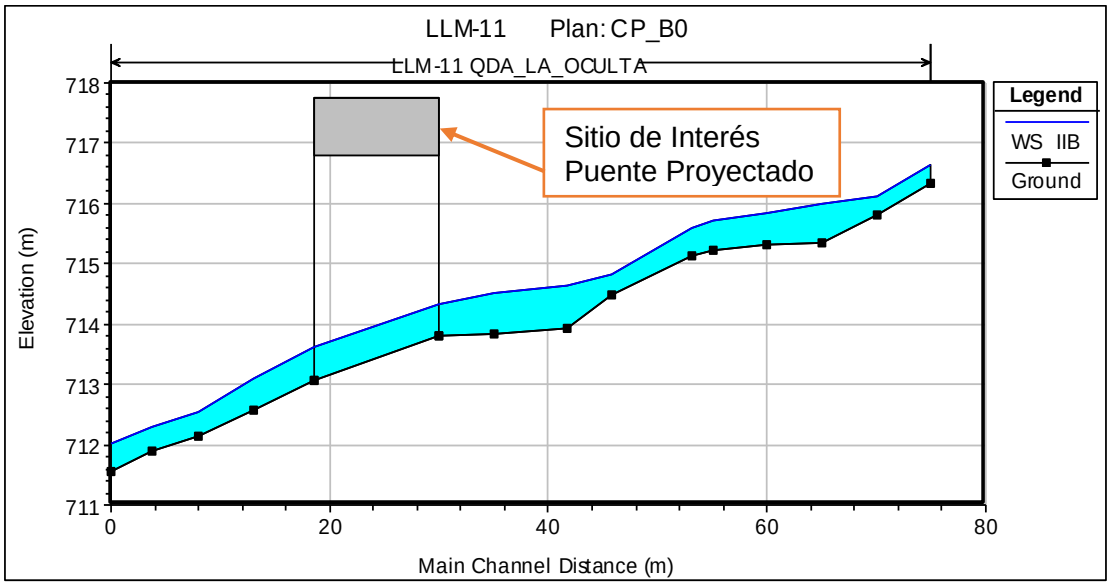


Figura 139. Perfil del Flujo de la quebrada–Condiciones Proyectadas. Condición AMCII

Los niveles de la superficie de agua alcanzados para el sitio donde se encuentra el puente proyectado se muestran a continuación en la **Tabla 122** y **Tabla 123**.

Tabla 122. Cotas de Viga Inferior y de Fondo – Puente Proyectado

Río/Quebrada	Cota de Viga Inferior (m)		Elevación del Fondo de la Estructura (m)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
Quebrada La Oculta K4+100,00	716,33	716,25	713,82	713,07

Tabla 123. Niveles Alcanzados y Borde Libre – Puente Proyectado AMC II

Periodo de Retorno	Caudales Máximos	Elevación de la Superficie de agua (m)		Borde Libre (m)	
Tr (Años)	Q (m^3/s)	Entrada	Salida	B.L. Entrada	B.L. Salida
50	3,26	714,33	713,63	2,00	2,62

Se puede notar de las tablas anteriores que el puente proyectado, ubicado sobre la quebrada La Oculta del K4+100,00, es hidráulicamente suficiente para evacuar el caudal asociado al periodo de retorno de 50 años para condición AMC II; y cumple con borde libre mínimo de 2.00m para el periodo de retorno.

13.2.4. Cálculo de Socavación General del Cauce

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la socavación general para quebrada La Oculta en estudio.

En la **Tabla 124** se presentan los parámetros utilizados para el cálculo de la socavación general, mientras que en la **Tabla 125** se presentan los valores obtenidos de socavación general para los diferentes periodos de retorno.

Tabla 124. Parámetros para el Cálculo de la Socavación General del Cauce. Fuente: Elaboración Propia

Tipo de Suelo	Granular
Diámetro de las partículas de fondo Dm (mm)	43
Factor Z	0,30
Exponente 1/1+ Z	0,77
Concentración Agua – Sedimento (Ton/m²)	1,10
Coeficiente de Concentración de Material Suspendido	1,13

Tabla 125. Resultados para el Cálculo de Socavación General del Cauce Tr=50 años. Fuente: Elaboración Propia

Abscisa	Sección HEC	Profundidad de Socavación AMC II-C (m)
0,00	80,00	0,02
5,00	75,00	0,05
10,00	70,00	-0,24
15,00	65,00	-0,04
20,00	60,00	-0,16
21,96	58,04	0,11
29,27	50,73	0,07
33,35	46,65	-0,27
40,00	40,00	-0,18
45,81	34,19	0,00
56,48	23,52	0,09
61,98	18,02	0,20
66,97	13,03	-0,02
71,26	8,74	0,00
75,00	5,00	0,10

En la **Tabla 125** se muestra las condiciones de socavación a lo largo del cauce con valores positivos que corresponden a tramos que tienen socavación al paso de la creciente y valores negativos en los que no se presenta este fenómeno.

Para el tramo de estudio sobre la quebrada La Oculta específicamente en el sitio donde se tiene proyectado el puente (sombreado con color azul en la **Tabla 125**) se alcanza a notar una profundidad de socavación de 0,09m a la salida del puente, sin embargo, y con el fin de ser conservadores se tomará como profundidad de socavación aquel valor máximo obtenido del tramo de estudio, de esta manera se tiene como profundidad de socavación un valor de 0,20m para condición AMC II y un periodo de retorno de 50 años.

14. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

En este capítulo se describen las limitaciones del estudio desde la recopilación de la información primaria hasta las metodologías empleadas para la evaluación hidrológica e hidráulica del tramo de cauce de las cuencas en estudio.

14.1. INFORMACIÓN PRIMARIA

- Como información primaria el Cliente suministró el levantamiento topográfico del tramo de interés durante la ejecución del contrato. En el levantamiento topográfico se incluyen el cauce, sus márgenes y obras hidráulicas construidas en el tramo de quebrada.

14.2. ESTUDIO HIDROLÓGICO

- La metodología de cálculo de crecientes empleada para determinar los caudales máximos de diseño está vigente al año 2018.
- La metodología empleada para el estudio hidrológico e hidráulico es avalada y se encuentra disponible en el Manual de Drenaje del INVIAS del 2011.
- Para las corrientes en estudio no se cuenta con estaciones limnigráficas que permitan la obtención de los caudales máximos a partir de métodos de regionalización, por tal motivo los caudales máximos fueron estimados a partir de modelos precipitación – escorrentía.

14.3. ESTUDIO HIDRÁULICO

- La metodología empleada para la modelación hidráulica fue el software HEC-RAS del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, versión libre 5.0.4 y que se encuentra vigente a la fecha.
- Los niveles se obtuvieron para los diferentes periodos de retorno considerados en el estudio hidrológico, y determinados en el sitio de interés.
- Las condiciones de modelación hidráulica consideran valores altos del n de Manning conforme al tipo de material tabulado para el cauce.

15. CONCLUSIONES

Una vez realizado el estudio hidrológico e hidráulico de las cuencas en estudio en el tramo de interés se tienen las siguientes conclusiones de importancia.

15.1. ESTUDIO HIDROLÓGICO

a. No se encontraron estaciones limnigráficas que midan los caudales de las cuencas en estudio directamente, por tal motivo fue necesario recurrir a modelos precipitación-escorrentía aceptados en el medio como la Ecuación Racional y las hidrógrafas unitarias propuestas por Snyder, SCS y Williams & Hann.

b. Para el cálculo de los caudales de diseño se utilizaron todas las metodologías descritas en el **Numeral 1.4**, para una condición de humedad antecedente del suelo AMC II y suelo tipo B. El diseño se realizó para la condición AMC II que corresponde a unas condiciones de humedad intermedia.

c. Se determinaron los caudales definitivos para las corrientes en estudio, los caudales obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 126. Caudales Máximos Sitio de Estudio. Fuente: Elaboración Propia

Condición AMC II (B)						
Nombre Quebrada	Caudales Máximos Definitivos (m³/s)					
	Tr (Años)					
	2.33	5	10	25	50	100
Vía Puente Iglesias-La Ye, La Y-El Líbano						
PIL-3	0,00	0,09	0,50	1,74	3,32	5,64
PIL-9	1,39	3,54	6,58	12,89	19,98	29,33
PIL-15	0,00	0,27	1,17	3,78	7,00	11,77
PIL-36	0,05	0,55	1,60	4,10	7,05	11,47
PIL-49	7,44	14,50	23,80	41,22	59,06	81,95
PIL-85	0,04	0,92	3,03	8,10	14,40	23,66
PIL-89	0,40	1,01	1,86	3,67	5,68	8,32
PIL-106	1,27	3,64	7,07	14,58	22,99	34,12
Vía La Virgen-Casa Blanca						

Condición AMC II (B)						
Nombre Quebrada	Caudales Máximos Definitivos (m³/s)					
	Tr (Años)					
	2.33	5	10	25	50	100
LVCB-4	0,02	0,77	2,58	7,00	12,65	20,74
Vía La Lorena-Maratón						
LLM-3	1,27	3,66	7,52	15,52	24,33	35,91
LLM-11	0,00	0,09	0,50	1,69	3,26	5,57

15.2. ESTUDIO HIDRÁULICO

d. Se evaluaron las estructuras proyectadas para los caudales de diseño obtenidos por la condición de humedad antecedente AMC II, se definió a partir del nivel de la superficie del agua obtenida para un periodo de retorno de 50 años la cota de viga inferior del puente, para lo cual se consideró un borde libre de 2,00m recomendado por el INVÍAS (2011).

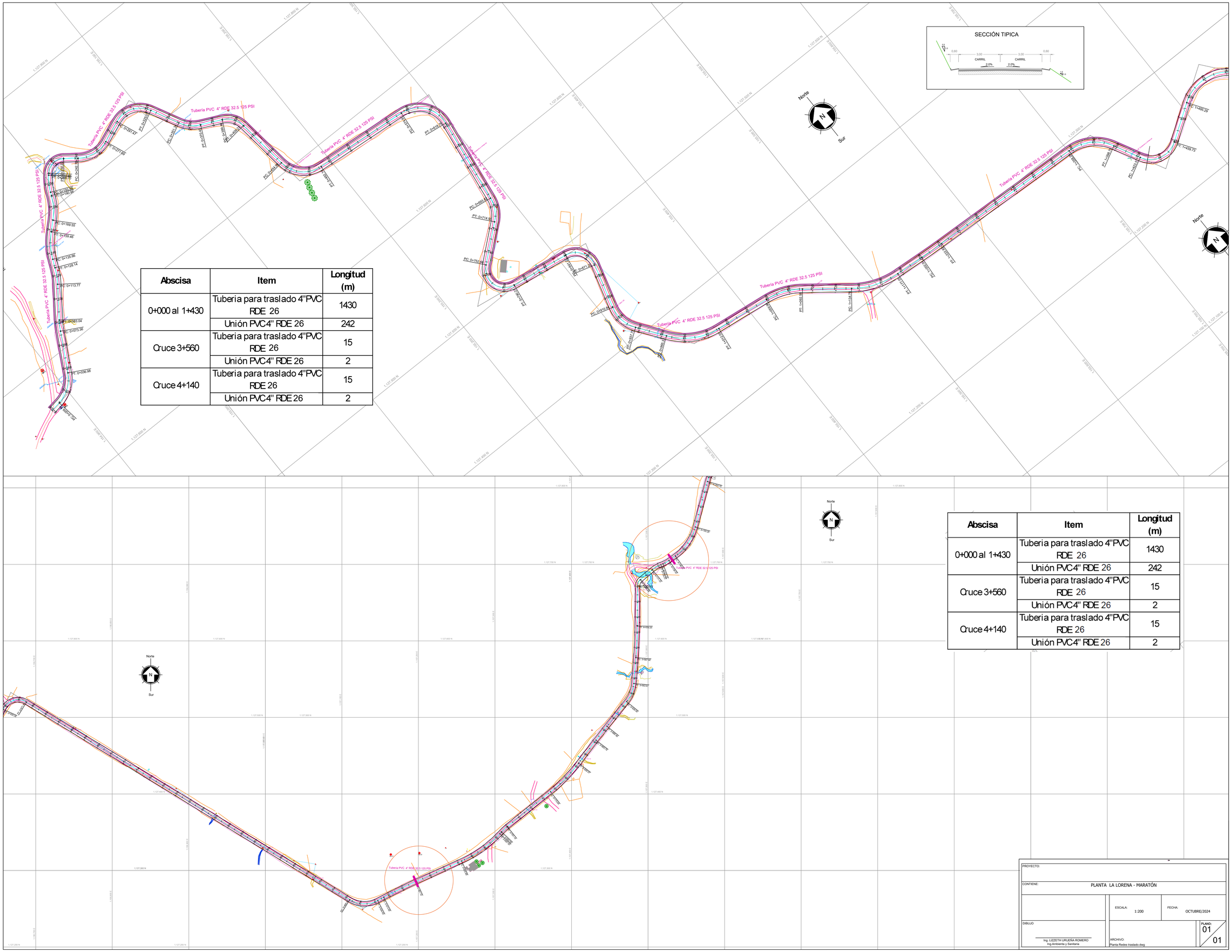
e. Es importante mencionar que en el sitio de estudio se debe realizar la demolición de la estructura existente y se debe adecuar el tramo de cauce contraído a la sección hidráulica que trae la corriente aguas arriba, tal y como se muestran en los planos anexos a este informe (**Anexo I** del informe general), de manera tal que no vaya a ocasionar remansos hacia aguas arriba del sitio de ponteadero y mejore las características hidráulicas de la corriente.

f. Se establecieron los niveles de la creciente para los caudales de diseño en condiciones proyectadas; se encontró que para el puente proyectado es suficiente hidráulicamente, para el puente en estudio se propuso un borde libre de 2,00m sugerido por el INVÍAS de tal manera que cubriera los caudales estimados; este borde libre se calculó para la condición AMCII.

g. Se determinó la mancha de inundación para el periodo de retorno de 50 años para la condición AMC II, en el tramo de las quebradas en estudio y para las condiciones proyectadas, con el objetivo de ubicar los estribos por fuera de las manchas de inundación.

16. BIBLIOGRAFIA

- CHOW, Ven Te., MAIDMENT, David R. y MAYS, Larry W. (1994). Hidrología Aplicada. Colombia: Mc Graw-Hill S.A.
- CHOW, Ven Te. (1994). Hidráulica de canales abiertos. Colombia: Mc Graw Hill.
- I.G.A.C., (2007). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Tomos I, II y III. Departamento de Antioquia.
- JUÁREZ B. E. & Rico R. A. (2001). Mecánica de Suelos. Tomo II: teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos.
- MAIDMENT, David R. Handbook of hydrology. Unites States of America: Mc Graw-Hill, 1993, Capítulo 4.
- MAIDMENT, David R. y MAYS, Larry W. Hidrología Aplicada. Colombia: Nomos S.A, 1994.
- SMITH, Ricardo y VÉLEZ, María Victoria. (1997). Hidrología de Antioquia. Medellín: Secretaría de Obras Públicas del departamento de Antioquia.
- VÉLEZ, María Victoria y SMITH, Ricardo. Hidrología de Antioquia. Medellín: Secretaría de Obras Públicas del departamento de Antioquia, 1997.



Abscisa	Item	Longitud (m)
0+000 al 1+430	Tuberia para traslado 4"PVC RDE 26	1430
	Unión PVC4" RDE 26	242
Cruce 3+560	Tuberia para traslado 4"PVC RDE 26	15
	Unión PVC4" RDE 26	2
Cruce 4+140	Tuberia para traslado 4"PVC RDE 26	15
	Unión PVC4" RDE 26	2

Abscisa	Item	Longitud (m)
0+000 al 1+430	Tuberia para traslado 4"PVC RDE 26	1430
	Unión PVC4" RDE 26	242
Cruce 3+560	Tuberia para traslado 4"PVC RDE 26	15
	Unión PVC4" RDE 26	2
Cruce 4+140	Tuberia para traslado 4"PVC RDE 26	15
	Unión PVC4" RDE 26	2

PROYECTO:	
CONTIENE:	PLANTA LA LORENA - MARATÓN
ESCALA: 1:200	FECHA: OCTUBRE/2024
DIBUJO: Ing. LIZZETH URUEÑA ROMERO, Ing.Ambiental y Sanitaria	ARCHIVO: Planta Redes traslado.dwg
	PLANO: 01 / 01

Medellín, marzo 20 de 2025

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Yo Pablo Tomás Betancur Arango, identificado con cedula de ciudadanía No 1036944370 y matricula profesional No 05202-319715- ANT debidamente inscrito en el Consejo Profesional de Ingeniería- COPNIA, en calidad de ingeniero responsable del Estudio Hidrológico e Hidráulico del proyecto **"MEJORAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS COMPLEMENTARIAS DE LA VÍA LA LORENA – MARATÓN ETAPA 3, DE LA SUBREGIÓN SUROESTE DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA"** el cual cumple con los requisitos técnicos establecidos en la Norma Colombiana y normativa vigentes, asumo toda responsabilidad y los perjuicios que puedan derivarse por la construcción de las obras.

Anexo tarjeta o matrícula profesional y certificado de vigencia y antecedentes profesionales.

Atentamente,

PABLO TOMÁS BETANCUR ARANGO
Ingeniero Civil
MP:05202-319715- ANT

REPÚBLICA DE COLOMBIA

COPNIA

Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Matrícula Profesional No.
05202-319715 ANT
Fecha de Expedición: **24/12/2015**

Nombre:
PABLO TOMAS
BETANCUR ARANGO
Cédula:
C.C. 1036944370
Profesión:
INGENIERO CIVIL

Institución:
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA



REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2025-3470751

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que PABLO TOMAS BETANCUR ARANGO, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1036944370, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 05202-319715 desde el 24 de Diciembre de 2015, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 1458.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los veinte (20) días del mes de Marzo del año dos mil veinticinco (2025).

Rubén Dario Ochoa Arbeláez

Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado
El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.