S11A: SUSUMUCO [35020020]

Tabla 30, Valores Curva IDF Cuenca S11A

Duración Min	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2	5	10	20	50	100
6	298.87	352.46	399.30	452.36	533.48	604.37
12	189.15	223.07	252.71	286.29	337.62	382.49
18	144.74	170.69	193.37	219.07	258.35	292.68
24	119.71	141.17	159.93	181.19	213.68	242.07
30	103.32	121.84	138.03	156.37	184.41	208.92
36	91.60	108.03	122.38	138.65	163.51	185.23
42	82.74	97.58	110.54	125.23	147.69	167.32
48	75.76	89.35	101.22	114.67	135.23	153.20
54	70.09	82.66	93.65	106.09	125.12	141.74
60	65.39	77.11	87.36	98.97	116.71	132.22
66	61.40	72.41	82.03	92.93	109.60	124.16
72	57.97	68.37	77.45	87.75	103.48	117.23
78	54.99	64.85	73.47	83.23	98.15	111.20
84	52.36	61.75	69.96	79.26	93.47	105.89
90	50.03	59.01	66.85	75.73	89.31	101.18
96	47.95	56.55	64.06	72.57	85.58	96.96
102	46.07	54.33	61.55	69.73	82.23	93.15
108	44.36	52.32	59.27	67.14	79.18	89.71
114	42.81	50.48	57.19	64.79	76.41	86.56
120	41.38	48.80	55.29	62.63	73.86	83.68
126	40.07	47.26	53.53	60.65	71.52	81.03
132	38.86	45.83	51.92	58.81	69.36	78.58

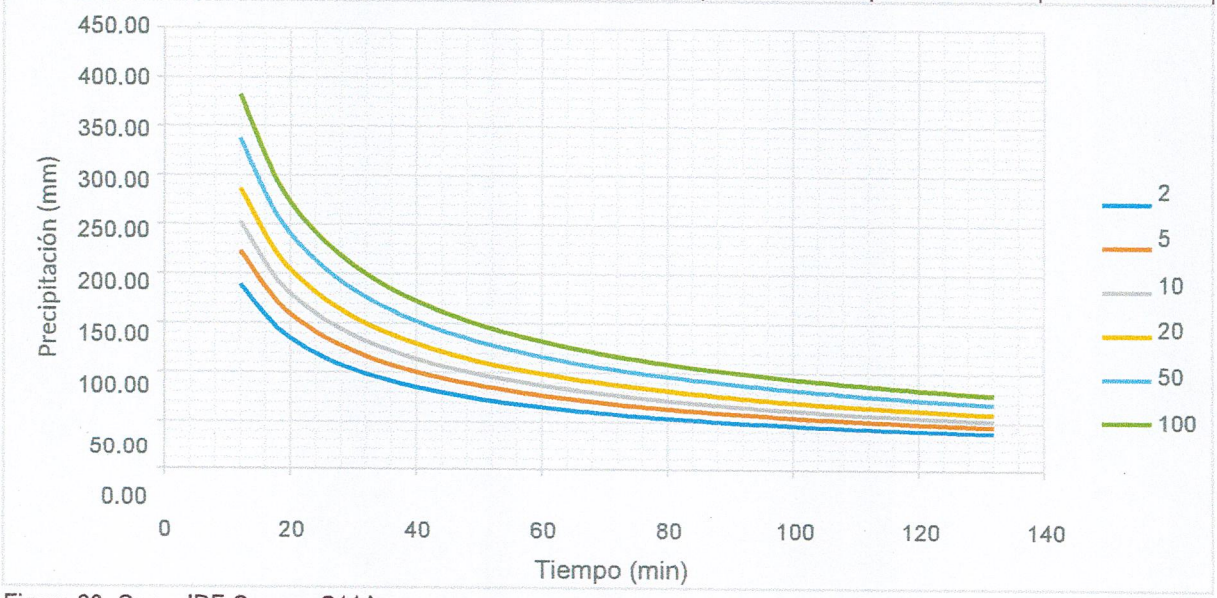


Figura 23, Curva IDF Cuenca S11A

S11B: SUSUMUCO [35020020]

Tabla 31, Valores Curva IDF Cuenca S11BTabla 32, Valores Curva IDF Cuenca S12

Duración Min	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2	5	10	20	50	100
20	130.03	153.35	173.72	196.81	232.10	262.94
40	82.29	97.05	109.95	124.56	146.89	166.41
60	62.97	74.26	84.13	95.31	112.40	127.34
80	52.08	61.42	69.58	78.83	92.96	105.32
100	44.95	53.01	60.05	68.03	80.23	90.89
120	39.85	47.00	53.24	60.32	71.14	80.59
140	36.00	42.45	48.09	54.49	64.25	72.79
160	32.96	38.87	44.04	49.89	58.83	66.65
180	30.50	35.96	40.74	46.16	54.43	61.67
200	28.45	33.55	38.01	43.06	50.78	57.52
220	26.71	31.50	35.69	40.43	47.68	54.02
240	25.22	29.74	33.70	38.18	45.02	51.00
260	23.92	28.21	31.96	36.21	42.70	48.38
280	22.78	26.87	30.44	34.48	40.67	46.07
300	21.77	25.67	29.08	32.95	38.86	44.02
320	20.86	24.60	27.87	31.57	37.24	42.18
340	20.04	23.64	26.78	30.34	35.77	40.53
360	19.30	22.76	25.79	29.21	34.45	39.03
380	18.62	21.96	24.88	28.19	33.24	37.66
400	18.00	21.23	24.05	27.25	32.14	36.41
420	17.43	20.56	23.29	26.39	31.12	35.25

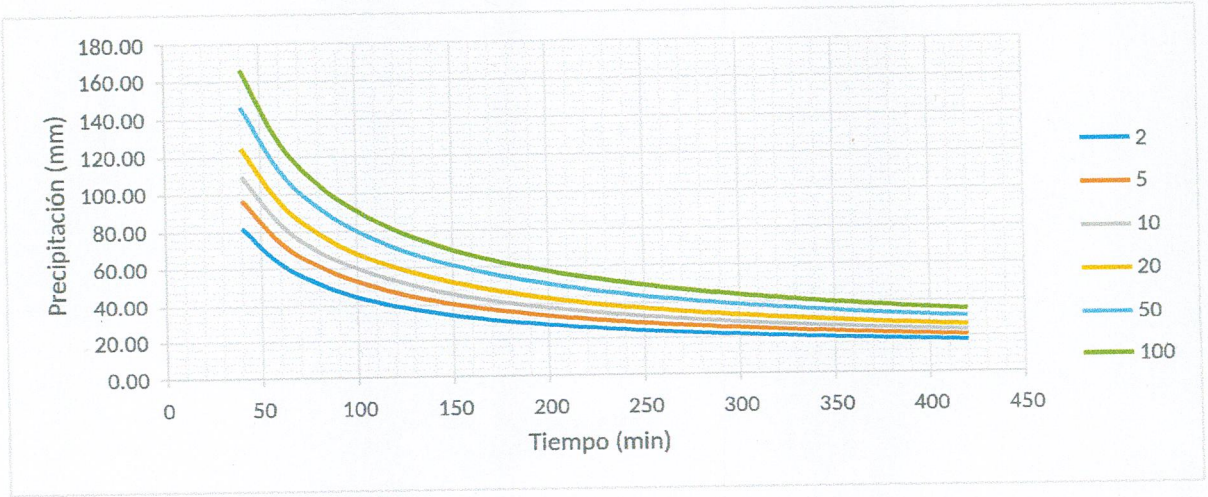


Figura 24, Curva IDF Cuenca S11B

S12: BETANIA [35020350]

Tabla 33, Valores Curva IDF Cuenca S12

Duración Min	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2	5	10	20	50	100
10	70.64	83.30	94.37	106.91	126.08	142.84
20	44.70	52.72	59.73	67.66	79.79	90.40
30	34.21	40.34	45.70	51.78	61.06	69.17
40	28.29	33.37	37.80	42.82	50.50	57.21
50	24.42	28.80	32.62	36.96	43.58	49.38
60	21.65	25.53	28.92	32.77	38.64	43.78
70	19.56	23.06	26.13	29.60	34.91	39.54
80	17.91	21.12	23.92	27.10	31.96	36.21
90	16.57	19.54	22.13	25.07	29.57	33.50
100	15.45	18.22	20.65	23.39	27.58	31.25
110	14.51	17.11	19.39	21.96	25.90	29.34
120	13.70	16.16	18.31	20.74	24.46	27.71
130	13.00	15.33	17.36	19.67	23.20	26.28
140	12.38	14.60	16.53	18.73	22.09	25.03
150	11.83	13.95	15.80	17.90	21.11	23.91
160	11.33	13.36	15.14	17.15	20.23	22.92
170	10.89	12.84	14.55	16.48	19.43	22.02
180	10.48	12.36	14.01	15.87	18.71	21.20
190	10.12	11.93	13.52	15.31	18.06	20.46

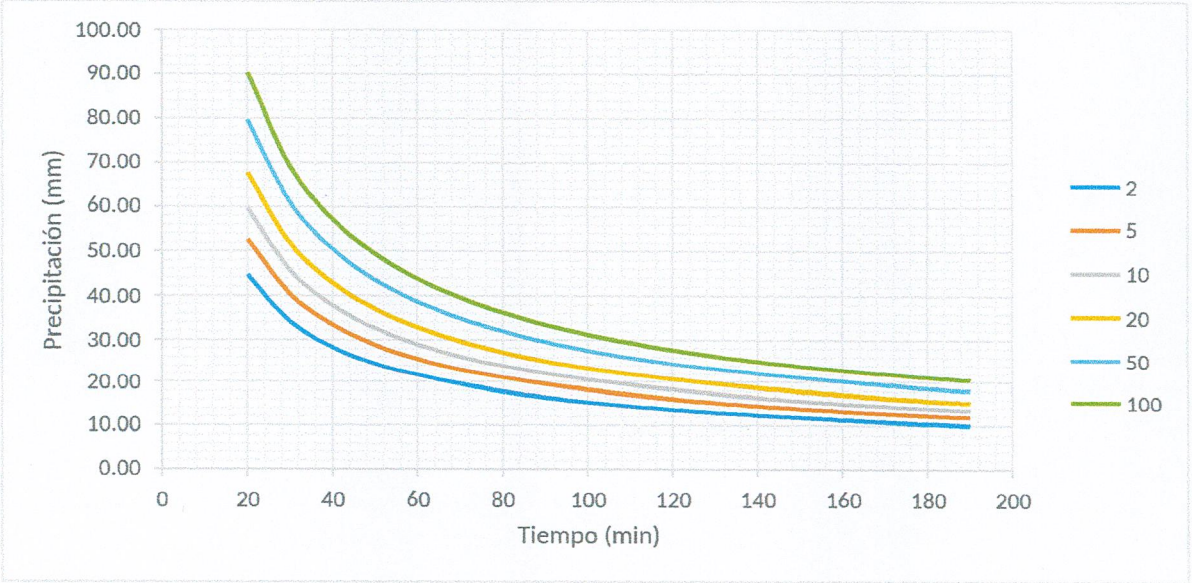


Figura 25, Curva IDF Cuenca S12

S13: TAQUES LOS [35025070]

Tabla 34, Valores Curva IDF Cuenca S13

Duración Min	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2	5	10	20	50	100
10	88.53	104.40	118.28	134.00	158.02	179.02
20	56.03	66.08	74.86	84.80	100.01	113.30
30	42.87	50.56	57.28	64.89	76.53	86.70
40	35.46	41.82	47.37	53.67	63.29	71.70
50	30.60	36.09	40.89	46.32	54.63	61.89
60	27.13	32.00	36.25	41.07	48.43	54.87
70	24.51	28.90	32.74	37.10	43.75	49.56
80	22.44	26.47	29.98	33.97	40.06	45.38
90	20.76	24.49	27.74	31.43	37.06	41.99
100	19.37	22.84	25.88	29.32	34.57	39.17
110	18.19	21.45	24.30	27.53	32.46	36.78
120	17.17	20.25	22.94	25.99	30.65	34.73
130	16.29	19.21	21.76	24.65	29.07	32.94
140	15.51	18.29	20.72	23.48	27.69	31.37
150	14.82	17.48	19.80	22.43	26.45	29.97
160	14.20	16.75	18.98	21.50	25.35	28.72

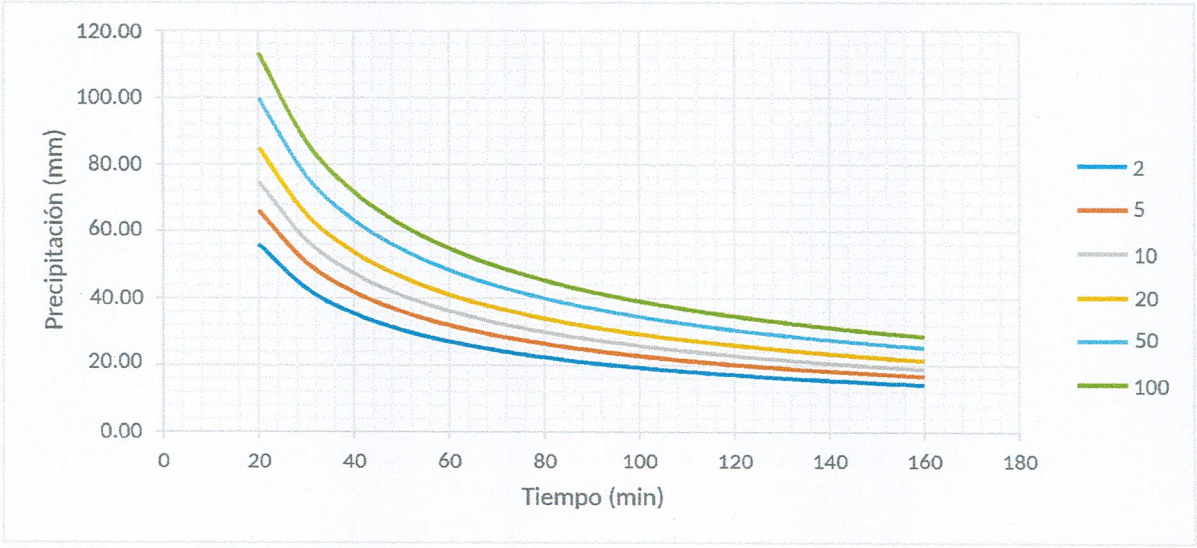


Figura 26, Curva IDF Cuenca S13

Calle 15 No. 40 -01 Lobby 1 - Piso 8
CC Primavera Urbana-Villavicencio
contactenos@aim-meta.gov.co
https://aim-meta.gov.co

S14: PRIMAVERA LA [35020340]

Tabla 35, Valores Curva IDF Cuenca S14

Duración Min	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2	5	10	20	50	100
10	93.41	110.16	124.80	141.38	166.74	188.89
20	59.12	69.72	78.98	89.48	105.52	119.55
30	45.24	53.35	60.44	68.47	80.75	91.48
40	37.41	44.12	49.99	56.63	66.78	75.66
50	32.29	38.08	43.14	48.87	57.64	65.30
60	28.63	33.76	38.25	43.33	51.10	57.89
70	25.86	30.50	34.55	39.14	46.16	52.29
80	23.68	27.92	31.64	35.84	42.27	47.88
90	21.91	25.84	29.27	33.16	39.10	44.30
100	20.44	24.10	27.30	30.93	36.48	41.33
110	19.19	22.63	25.64	29.05	34.25	38.81
120	18.12	21.37	24.21	27.42	32.34	36.64
130	17.19	20.27	22.96	26.01	30.68	34.75
140	16.37	19.30	21.87	24.77	29.21	33.10
150	15.64	18.44	20.89	23.67	27.91	31.62
160	14.99	17.67	20.02	22.68	26.75	30.30
170	14.40	16.98	19.24	21.79	25.70	29.12
180	13.87	16.35	18.52	20.99	24.75	28.04

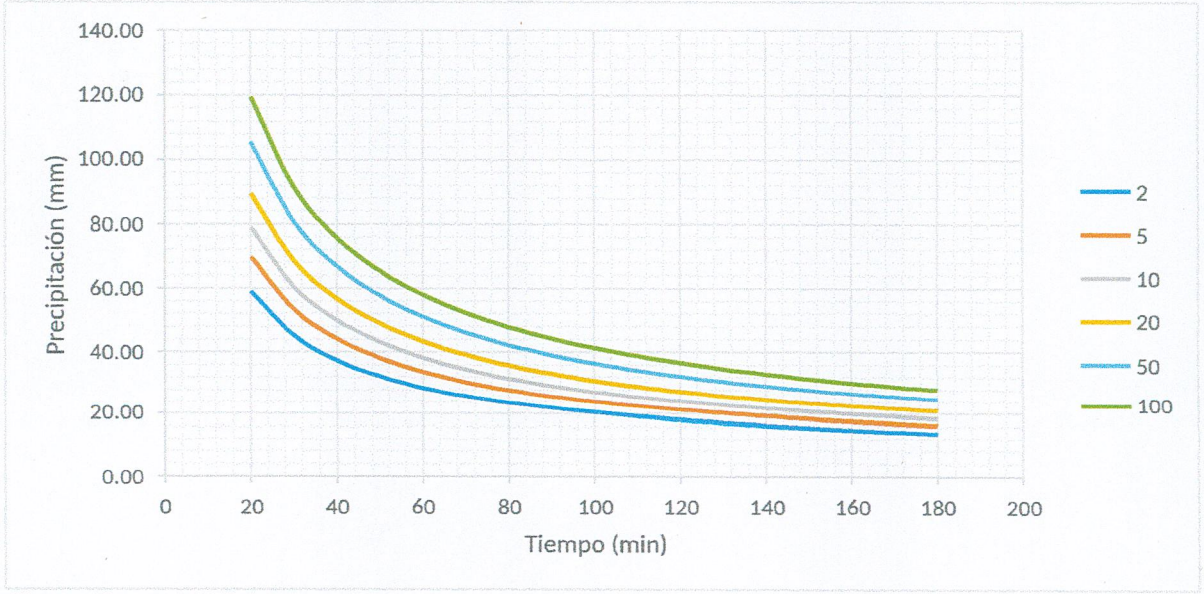


Figura 27, Curva IDF Cuenca S14

S15: SUSUMUCO [35020020]

Tabla 36, Valores Curva IDF Cuenca S15

Duración Min	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)					
	2	5	10	20	50	100
15	163.25	192.52	218.10	247.08	291.39	330.11
30	103.32	121.84	138.03	156.37	184.41	208.92
45	79.06	93.23	105.62	119.66	141.12	159.87
60	65.39	77.11	87.36	98.97	116.71	132.22
75	56.43	66.55	75.39	85.41	100.73	114.11
90	50.03	59.01	66.85	75.73	89.31	101.18
105	45.19	53.30	60.38	68.40	80.67	91.39
120	41.38	48.80	55.29	62.63	73.86	83.68
135	38.29	45.15	51.15	57.95	68.34	77.42
150	35.71	42.12	47.72	54.06	63.75	72.22
165	33.54	39.55	44.81	50.76	59.86	67.82
180	31.67	37.34	42.31	47.93	56.52	64.03
195	30.04	35.42	40.13	45.46	53.61	60.74
210	28.60	33.73	38.21	43.29	51.05	57.84
225	27.33	32.23	36.51	41.36	48.78	55.26
240	26.19	30.89	34.99	39.64	46.75	52.96
255	25.16	29.67	33.62	38.08	44.91	50.88
270	24.23	28.58	32.37	36.67	43.25	49.00
285	23.38	27.57	31.24	35.39	41.73	47.28

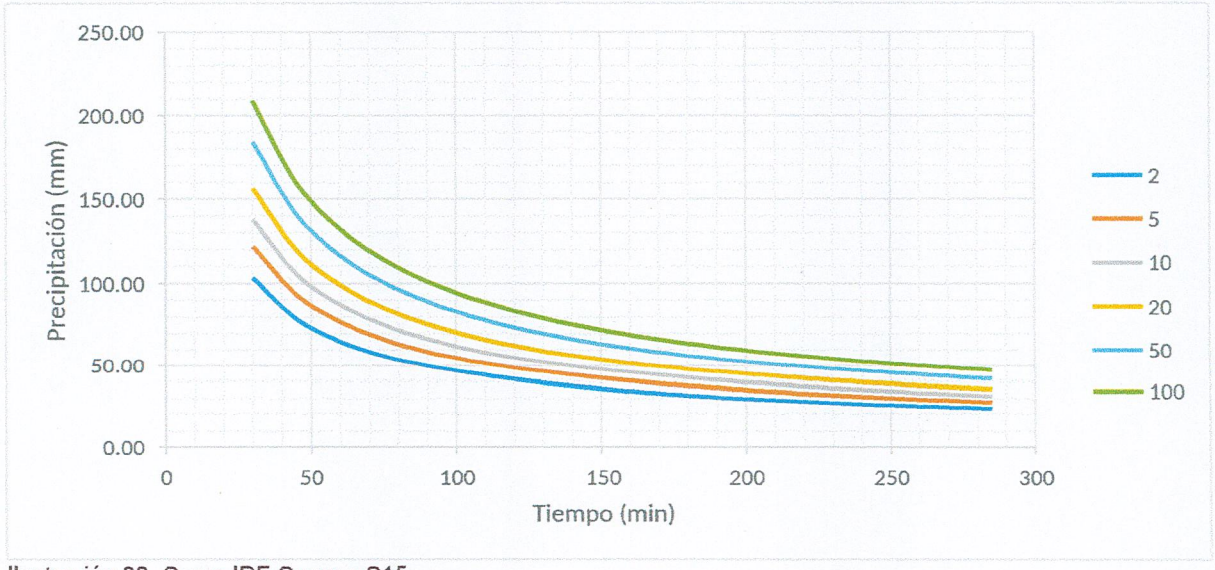


Ilustración 32, Curva IDF Cuenca S15

7.4 HIETOGRAMAS DE DISEÑO

Con base en los datos de las curvas intensidad-duración-frecuencia que se muestran en el capítulo anterior para las estaciones analizadas, se deben calcular las curvas de masas de los aguaceros puntuales para las duraciones específicas para cada subcuenca.

Para dar una secuencia más crítica del aguacero, como es usual en este tipo de análisis, y por medio del método del Bloque Alterno, los incrementos de lluvia de los hietogramas se ubican de la siguiente manera: la mayor intensidad está ubicada en el centro de la distribución y alternando en orden descendente los resultados obtenidos a derecha e izquierda de la precipitación central.

Tabla 37, Valores Subcuencas para Tiempos de Hietograma

Subcuenca	Nombre Estación	Tiempo de Concentración (min)	Intervalo	Tiempo Hietograma
S1	CHOACHI [35020280]	219.315	10	220
S2	CHOACHI [35020280]	170.188	10	170
S3	FOMEQUE [35020290]	167.189	10	170
S4	CHOACHI [35020280]	178.605	10	180
S5	FOMEQUE [35020290]	276.341	15	270
S6	LAS CASAS [35030080]	321.037	15	320
S7	LAS CASAS [35030080]	189.090	10	190
S8	MONTERREDONDO [35020010]	258.924	15	255
S9	PRIMAVERA LA [35020340]	143.622	6	144
S10	MONTERREDONDO [35020010]	111.437	6	114
11A	SUSUMUCO [35020020]	131.487	6	132
11B	SUSUMUCO [35020020]	427.220	20	420
S12	BETANIA [35020350]	193.190	10	190
S13	TAQUES LOS [35025070]	163.156	10	160
S14	PRIMAVERA LA [35020340]	180.139	10	180
S15	SUSUMUCO [35020020]	282.433	15	285

Calle 15 No. 40 -01 Lobby 1 - Piso 8
CC Primavera Urbana-Villavicencio
contactenos@aim-meta.gov.co
https://aim-meta.gov.co

S1: CHOACHI [35020280]

Para la Subcuenca S1, trabajamos con la estación de CHOACHI [35020280], con una duración de 220 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

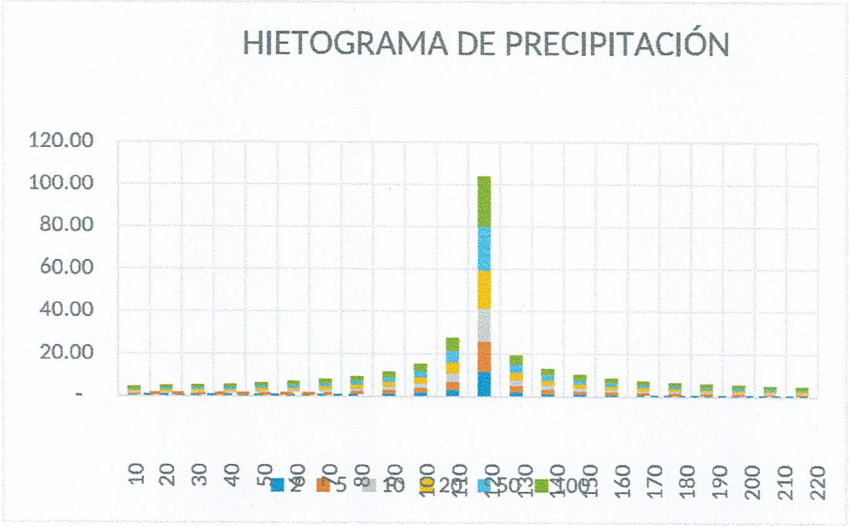


Ilustración 33, Hietograma subcuenca S1

S2: CHOACHI [35020280]

Para la Subcuenca S2, trabajamos con la estación de CHOACHI [35020280], con una duración de 170 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

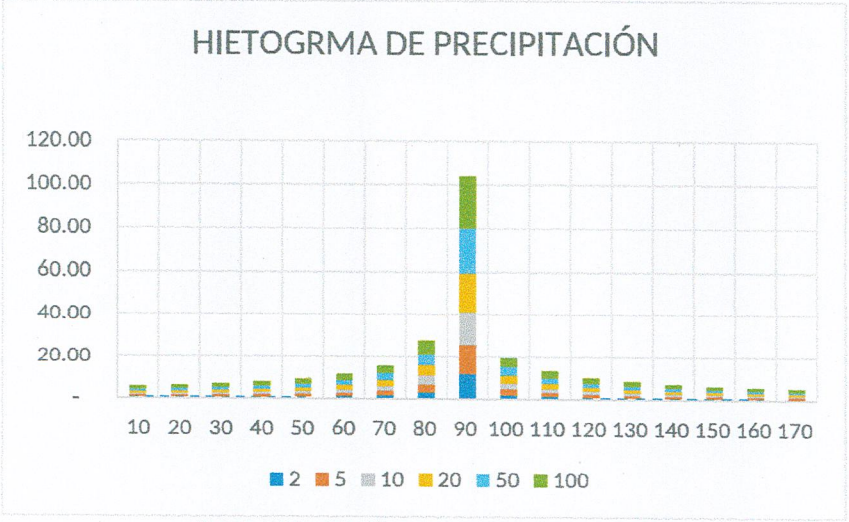


Ilustración 34, Hietograma subcuenca S2

S3: FOMEQUE [35020290]

Para la Subcuenca S3, trabajamos con la estación de 1.1.1 FOMEQUE [35020290], con una duración de 170 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

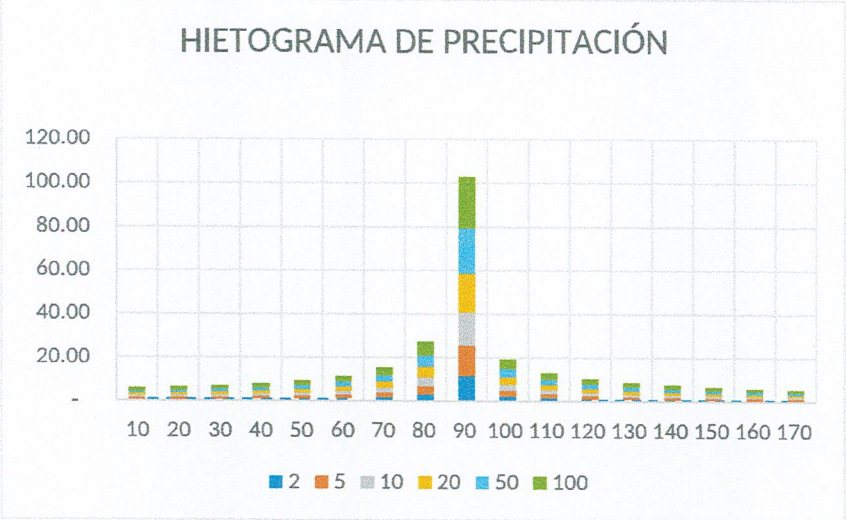
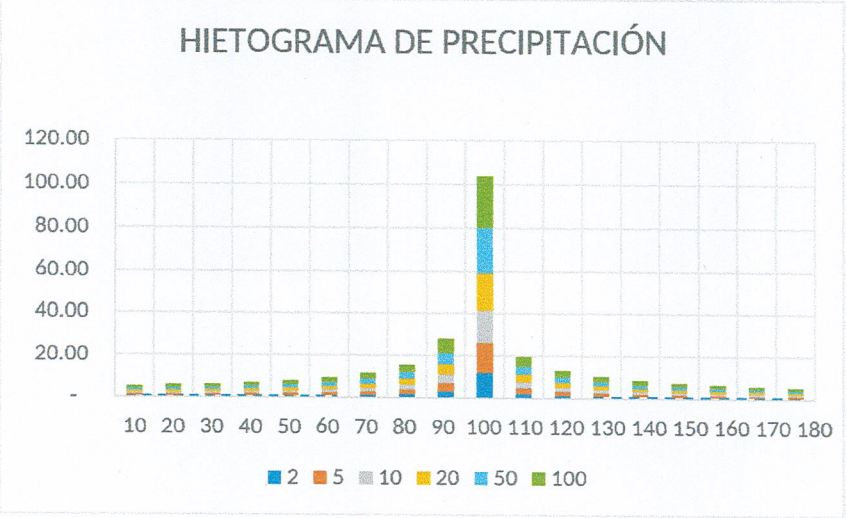


Ilustración 35, Hietograma subcuenca S3

S4: CHOACHI [35020280]

Para la Subcuenca S3, trabajamos con la estación de CHOACHI [35020280], con una duración de 180 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

Ilustración 36, Hietograma subcuenca S4



Para la Subcuenca S5, trabajamos con la estación de FOMEQUE [35020290], con una duración de 270 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

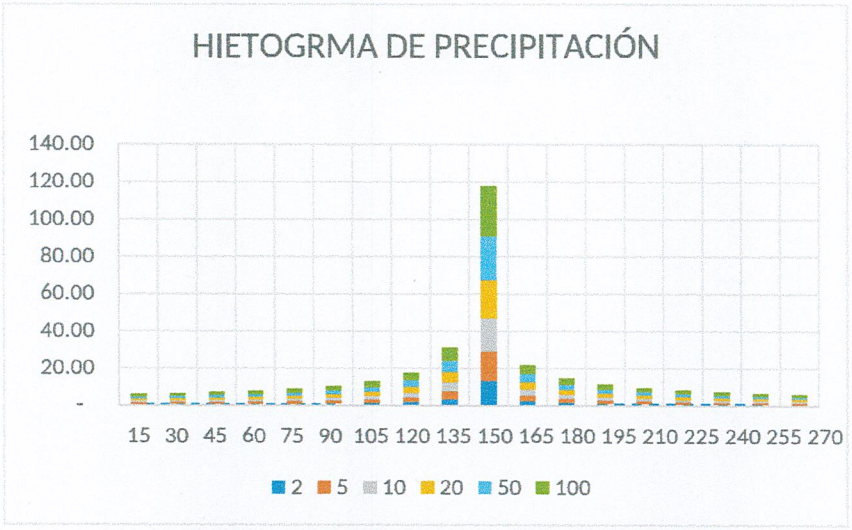


Ilustración 37, Hietograma subcuenca S5

S6: LAS CASAS [35030080]

Para la Subcuenca S6, trabajamos con la estación de LAS CASAS [35030080], con una duración de 315 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

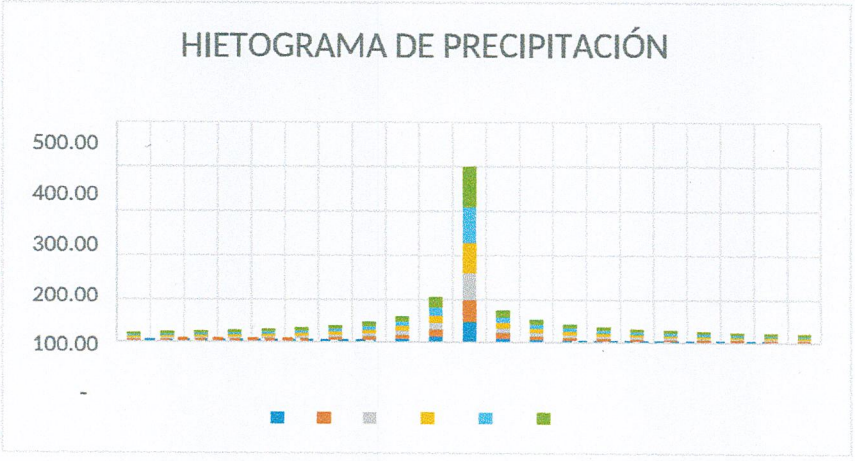


Ilustración 38, Hietograma subcuenca S6

S7: LAS CASAS [35030080]

Para la Subcuenca S7, trabajamos con la estación de LAS CASAS [35030080], con una duración de 190 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

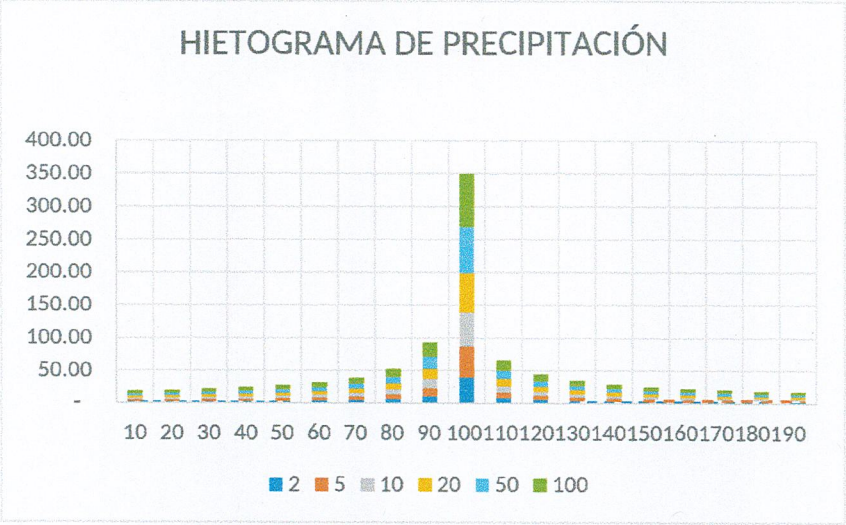


Ilustración 39, Hietograma subcuenca S7

S8: MONTERREDONDO [35020010]

Para la Subcuenca S8, trabajamos con la estación de MONTERREDONDO [35020010], con una duración de 255 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

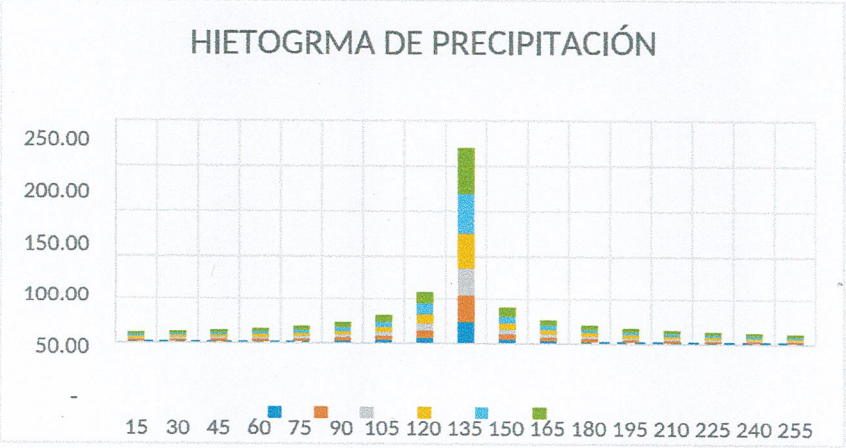


Ilustración 40, Hietograma subcuenca S8

Calle 15 No. 40 -01 Lobby 1 - Piso 8
CC Primavera Urbana-Villavicencio
contactenos@aim-meta.gov.co
https://aim-meta.gov.co

S9: PRIMAVERA LA [35020340]

Para la Subcuenca S9, trabajamos con la estación de PRIMAVERA LA [35020340], con una duración de 144 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

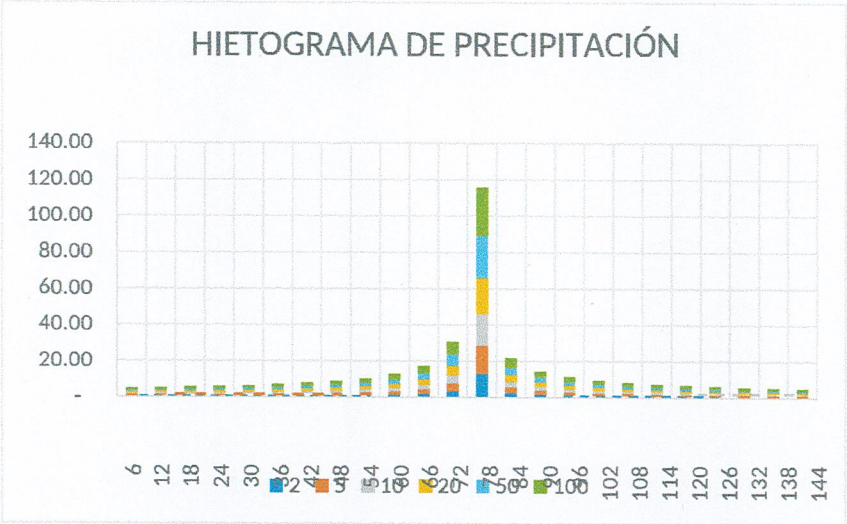


Ilustración 41, Hietograma subcuenca S9

S10: MONTERREDONDO [35020010]

Para la Subcuenca S10, trabajamos con la estación de MONTERREDONDO [35020010], con una duración de 114 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

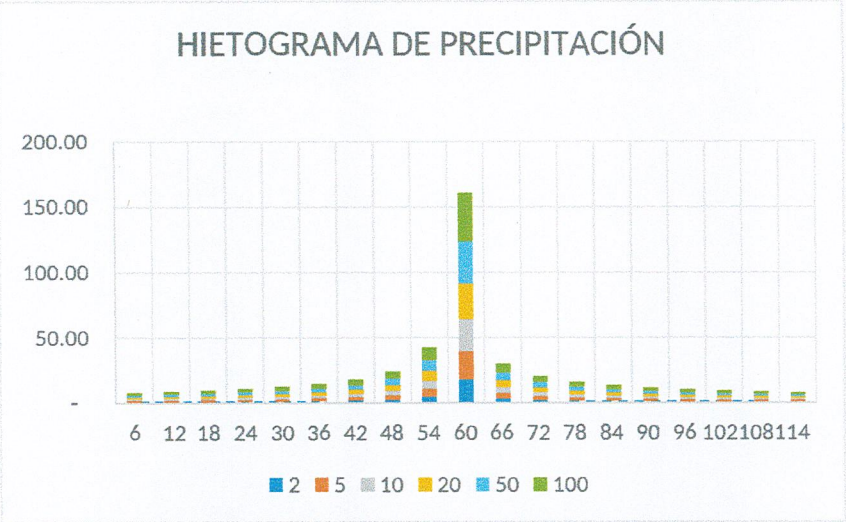


Ilustración 42, Hietograma subcuenca S10

S11A: SUSUMUCO [35020020]

Para la Subcuenca S11, trabajamos con la estación de SUSUMUCO [35020020], con una duración de 132 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

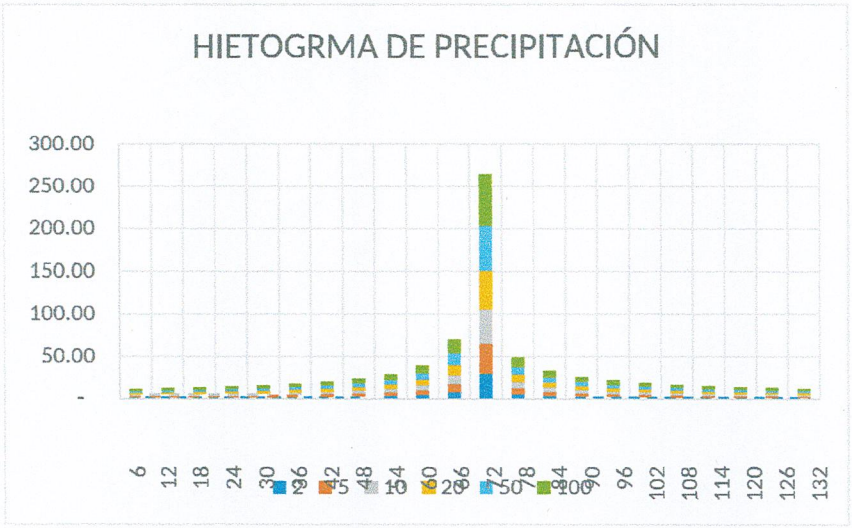


Ilustración 43, Hietograma subcuenca S11A

S11B: SUSUMUCO [35020020]

Para la Subcuenca S11B, trabajamos con la estación de SUSUMUCO [35020020], con una duración de 420 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

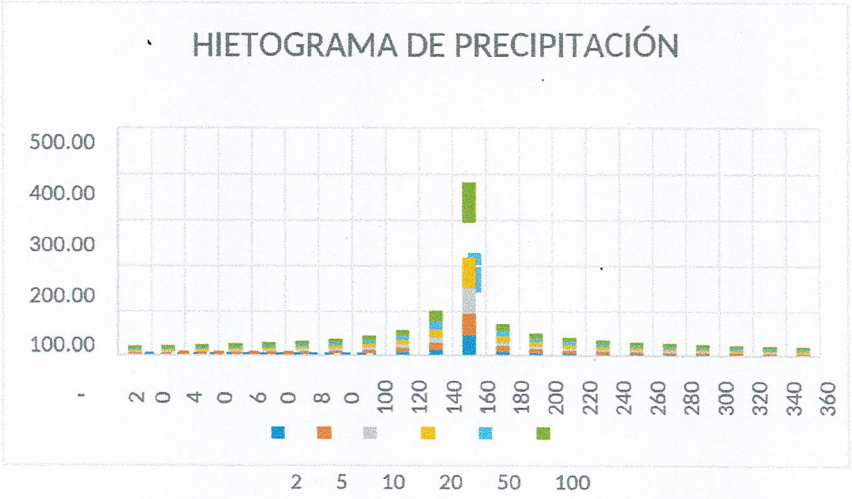


Ilustración 44, Hietograma subcuenca S11B

S12: BETANIA [35020350]

Para la Subcuenca S12, trabajamos con la estación de BETANIA [35020350], con una duración de 190 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

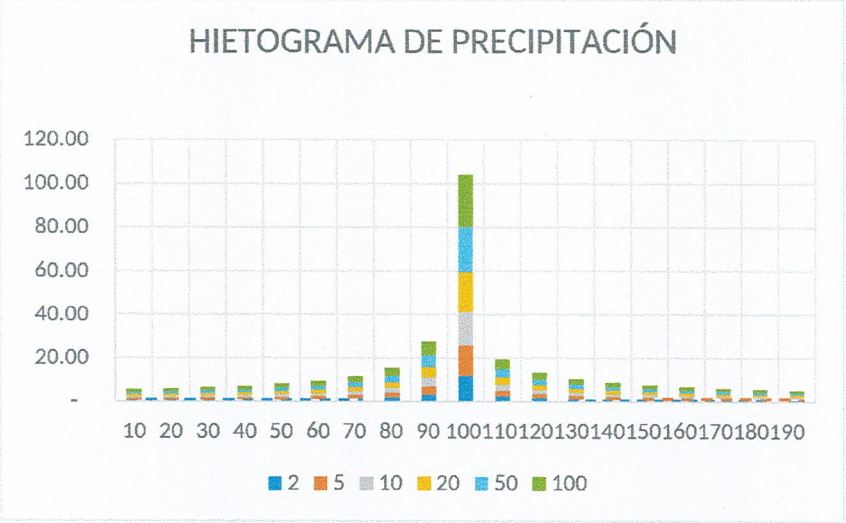


Ilustración 45, Hietograma subcuenca S12

S13: TAQUES LOS [35025070]

Para la Subcuenca S13, trabajamos con la estación de TAQUES LOS [35025070], con una duración de 160 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

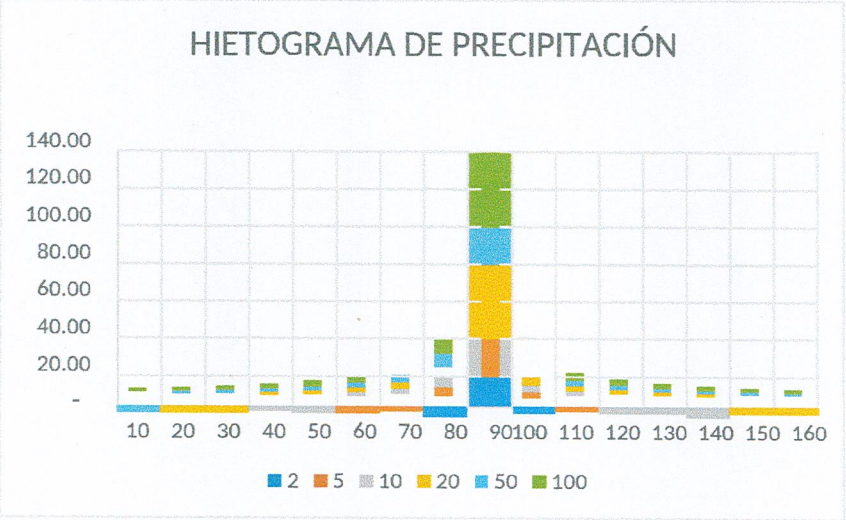


Ilustración 46, Hietograma subcuenca S13

S14: PRIMAVERA LA [35020340]

Para la Subcuenca S14, trabajamos con la estación de PRIMAVERA LA [35020340], con una duración de 180 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

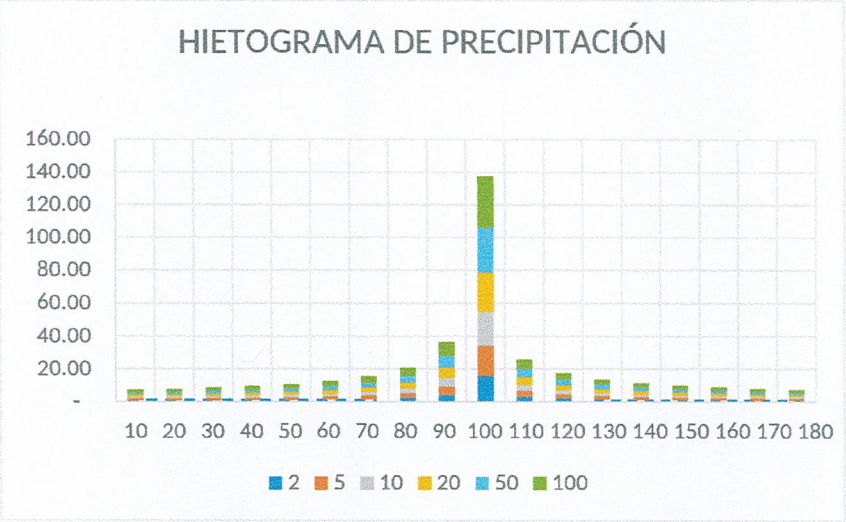


Ilustración 47, Hietograma subcuenca S14

S15: SUSUMUCO [35020020]

Para la Subcuenca S14, trabajamos con la estación de SUSUMUCO [35020020], con una duración de 285 minutos, para los periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100.

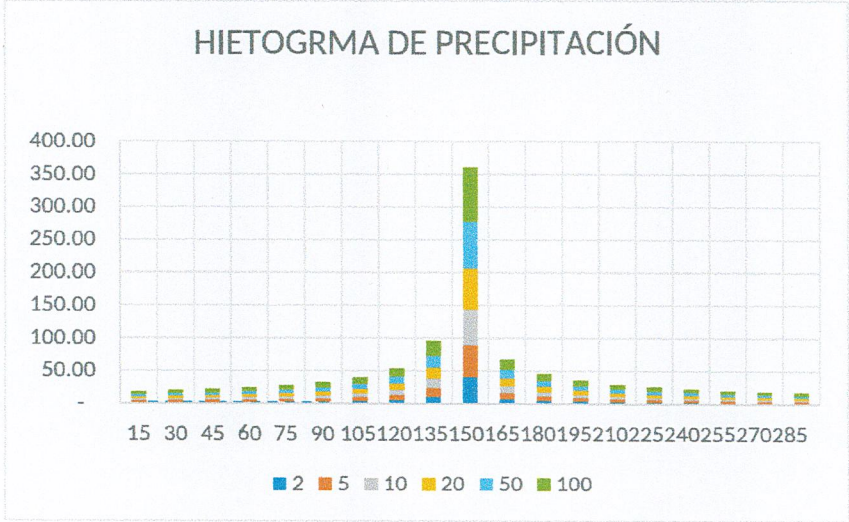


Ilustración 48, Hietograma subcuenca S15

7.5 ANÁLISIS DE CAUDALES

Como se menciona en la metodología, para la obtención de caudales máximos, se emplean el método racional y del Hidrograma.

7.6 NUMERO DE CURVA

Para la aplicación de las anteriores metodologías es necesario asignar a cada cuenca los coeficientes de escorrentía (C) o de Número de curva (CN) a partir de las caracterizaciones de suelos y cobertura vegetal existentes.

Con estos datos, y con la ayuda de un software GIS, obtenemos el promedio del número de curva de cada cuenca, como se muestra a continuación:

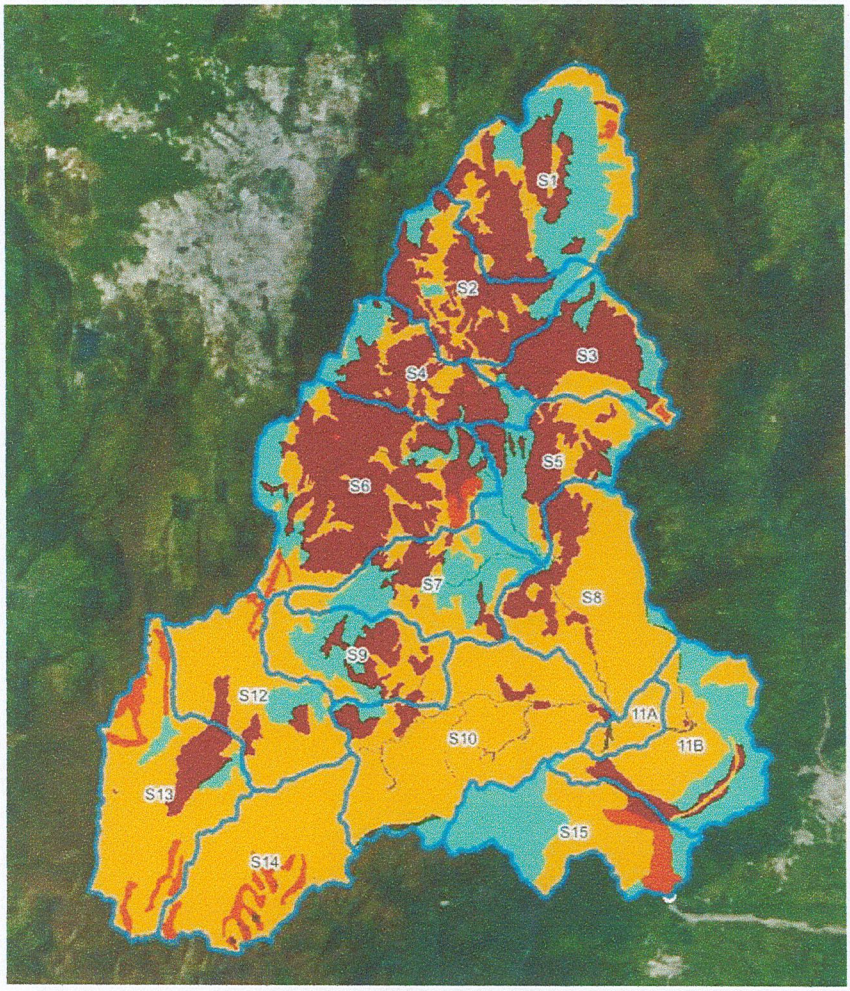


Ilustración 49, Mapa, Numero de curva en la Cuenca

Tabla 38, Numero de curva promedio para cada Subcuenca

Cuenca	NC
S1	49.64
S2	59.01
S3	58.58
S4	57.22
S6	59.02
S7	44.77
S5	50.73
S13	54.14
S14	53.53
S12	51.73
S9	49.69
S10	53.45
S8	54.95
S11A	54.03
S11B	44.16
S15	42.57

Método de Transito

El método de Muskingum es un método de tránsito de avenidas de tipo hidrológico, de tránsito de sistemas agregados, es decir, el flujo se calcula como una función del tiempo únicamente en un lugar particular, para este caso se calculó en función de la longitud y la pendiente con los métodos de Temez y Kirpich.

Tabla 39, Muskingum

Nombre	Log. Km	Pendiente	K (Hr) - Temez	K (Hr) - Kirpich
R11_A	5.55	0.02	0.50	1.23
R1	7.74	0.09	0.89	0.83
R10	2.53	0.01	0.27	0.71
R11	8.52	0.03	0.79	1.30
R_11B	21.96	0.01	1.36	3.91
R12	12.82	0.05	1.17	1.53
R3	18.60	0.02	1.33	2.79
R5	21.71	0.02	1.49	3.15
R6	9.42	0.01	0.64	2.57
R7	6.85	0.01	0.54	1.75
R8	12.77	0.03	1.04	1.93
R9	4.90	0.01	0.42	1.32

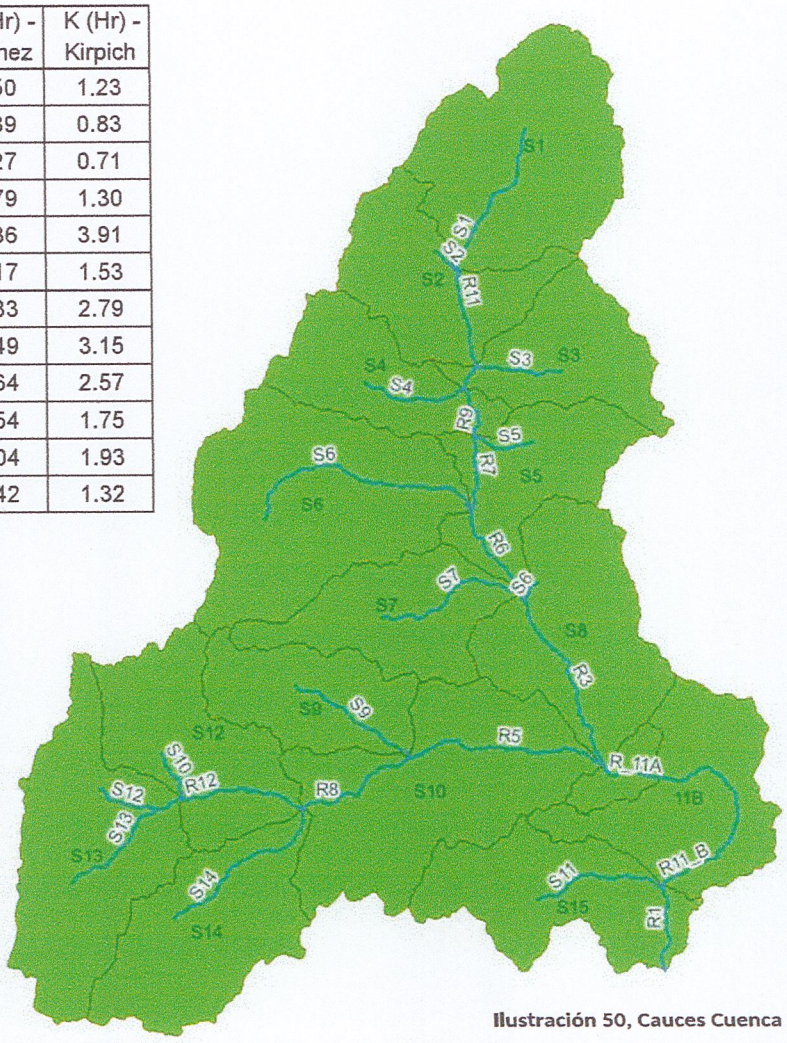


Ilustración 50, Cauces Cuenca

7.7 MODELO HIDROLOGICO

Contado con todos los datos de la cuenca, como son las características de cada subcuenca, que son el área, Numero de Curva, el diagrama unitario, el tiempo de retraso, las características del cauce y el tránsito en Horas (Muskimgum - Temez), con la ayuda de un software hidrológico, calculamos el caudal en el punto de aforo.



Ilustración 51, Modelo Hidrológico

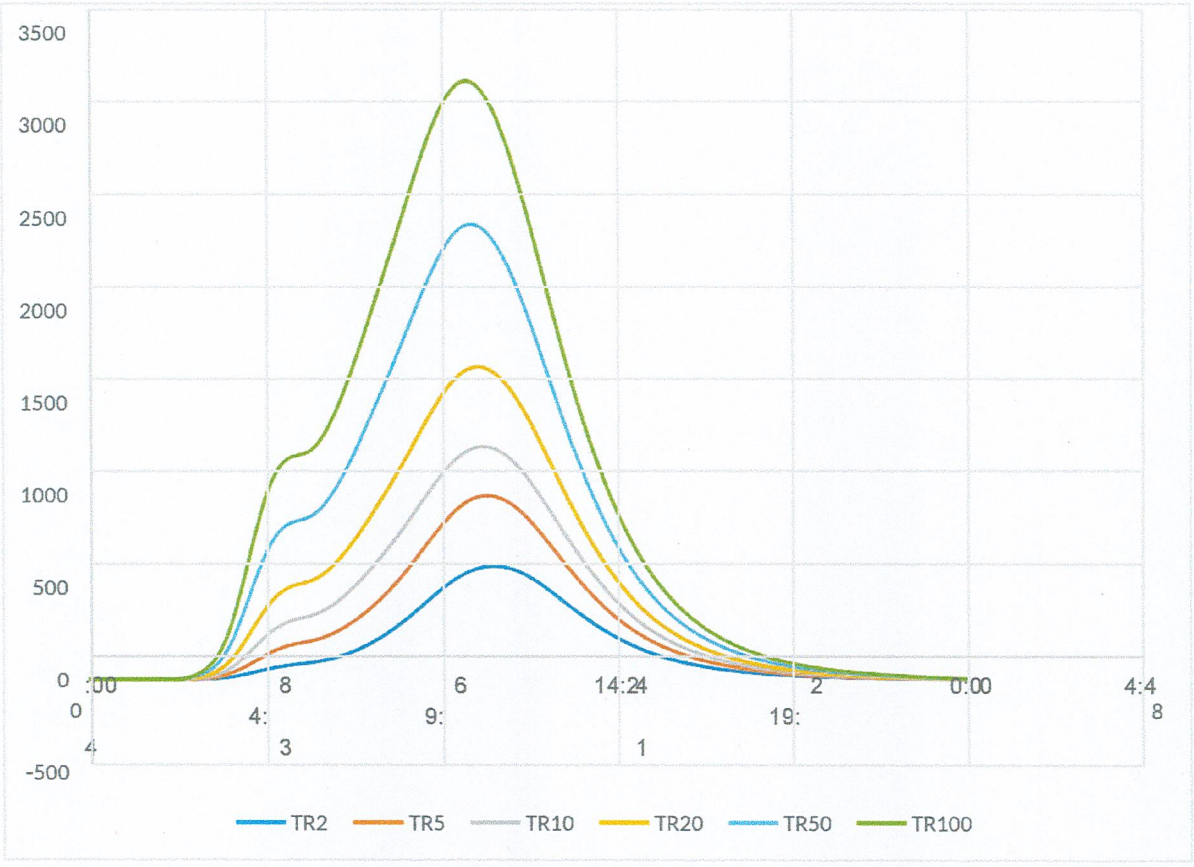


Ilustración 52, Curva de Caudales a diferentes periodos de retorno

Tabla 40, Caudales Máximo Modelo

Periodo de Retorno	Caudal Máximo
TR2	613.4
TR5	994
TR10	1260.8
TR20	1692.3
TR50	2463.2
TR100	3235.8

7.8 CALIBRACIÓN

Teniendo en cuenta que en el sector de la Cuncia la estación PUENTE CARRETERA - AUT [35027140], no cuenta con la información suficiente para ser representativa, se escoge la estación Limnigráfica CASETEJA-DELICIAS [35027210] que se encuentra dentro de la cuenca, que contine información desde 1980 hasta 2013 como podemos observar a continuación:

Tabla 41, Caudales Estación Casetejas Delicias

	MES											
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980						457.2	327.6	221.1	239.4	484.4	159.6	132.6
1981	44.9	67.4	76	142.2	228.1	169.4	208	188.3	180.2	222.1	192.7	69.5
1982				184	299.5	132.6	320	241.4	263	214.8	77.2	62.7
1983	179.1	243.5	133.5							135.8		
1984						371.2	338.5	410.8	243.1	120.2	246.9	53.4
1985	18.94	20	23.2	162.9	664.1	255	231.2	266.9				117.3
1986	20.9	122.3	321.5	70.4	302.4	486.3	454	246.8	276.6	248.5	124	70.6
1987	61	135.9	83.9	144.9	263.4	215.6	464.4					
1988							329.4	288.1	207	251.3	121.1	110.8
1989				138.5	278.1	341.1	392.6	181.3	112.6	244.1	92	117.1
1990	126.1	79.4	326.5	237.9	356.5	467.8	256.5	329.4	175.8	106.5	107.6	96.4
1991	40	145.5	73	121	157.5	246	439.5	536.5	347.5	176.4	187.8	59.8
1992	79.5	30.7	75.1	225.6	226	164.6	413.4	299.3	311.3	100.8	92.1	96.4
1993	53.8	67.8	96.4	175.5	265.5	446.4	411.1	355.9	250	177.3	179.7	144.6
1994	45.2			270.1	375.9	385	417.6	337.1	244.7	228.2	274.3	308.6
1995	119.9			213.6	246.6	244	234.5	279.9	143.7	132.3	186	56.3
1996	36.4	162.8	117.4	206.3	446.8	342.1	419.8	289.3	135.4	248.1	204.6	89.3
1997	51.4	178.1	111.2	217.7	359.5	352.5	337.8	261.2	162.4	112.9	57	47.8
1998	29.5	54.1	48.4	132.2	299.1	486.4	507.8	353.4	180.3	236.6	184.1	199.3
1999	103.6	219.7	125.6	267.5	283.5	368.1	295.2	289.4	275.9	267.2	159.2	101.8
2000	101.2	121.2	163.2	175.9	332.3	221.6	258.7	277.3	215.9	207.4	167.9	111.6
2001	96	118.3	100.6	318.4	263.4	275.3	302.4	305.5	310.3	105.4	152.6	103
2002	43.7	35.3	70.6	150.6	393.4	646	556.9	347.5	121.5	284.9	107.5	46.5
2003	29.5	31.25	65.13	109.4	237.9	241.4	229.5	182.8	173.8	183.3	91.75	96.15
2004	39.75	50.82	105.6	153.4	237.8	362	647	255	553.8	341.3	378.4	185.6
2005	141	182.8	139.5	306	419.7	293.3	224.4	308.9	468.8	348.1	309.7	62.36
2006	95.69	49	333.2	382.7	651	313.1	293.2	266.2	295.1	256.1	355.2	29.4
2007	14.44	20.9	31.99	197.1	193.3	753.7	541.4	499.7	212.3	265.8	213.7	104.6
2008	57.73	50.78	115.2	139.8	399.8	308	366.7	360.9	168.3	163.5	400	46.4
2009	84.32	104.3	83.18	144.9	227.3	296.4	291.6	325.3	184.7	162.8	116	87.3
2010	57.16	79.2	107.7	176.9	242.9	347.8	382.6	145.3	156.1	103.2	286.4	94.96
2011	56.62	58.46	121	234.6	233.5	205	203.1	97.48	135.7	115.2	106.4	98.5
2012		96.62	111.3	162.8	255.6	402.2	230.3				74.63	
2013		47.74					129.9	100				

Después de hacer una depuración de los datos, realizamos varios tipos de distribuciones como lo son Log-Gumbel, Gumbel y Log-Pearson III, para obtener los valores de caudal a diferente tiempo de retorno como observamos en la siguiente gráfica.

Tabla 42, Calibración Caudales

Periodo de Retorno	Log - Gumbel	Gumbel	Log-Pearson III	Modelo Hidrológico
2	722.69	771.26	751.51	552.3
5	1010.1	1062.79	1048.88	881.6
10	1260.77	1255.81	1265.35	1089.7
20	1559.5	1440.96	1487.99	1444.8
50	2053.63	1680.62	1799.61	2077.5
100	2524.04	1860.21	2052.02	2711.43

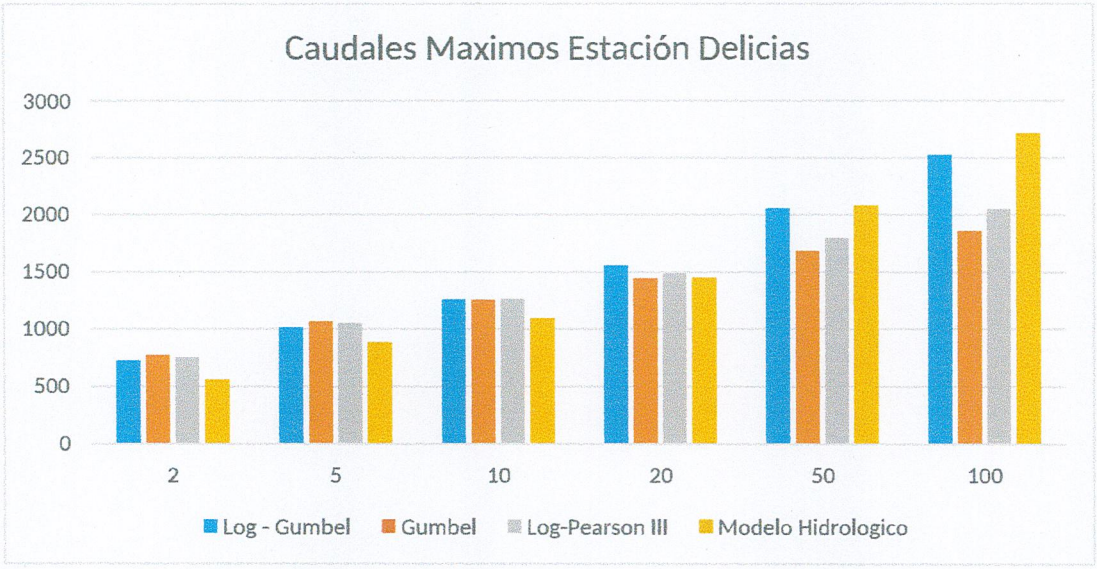


Ilustración 53, Comparación de Caudales con diferentes métodos estación Delicias

8. ACTIVIDADES Y DESARROLLO DEL MODELO HIDRAULICO

8.1 METODOLOGÍA Y ANALISIS DE INFORMACIÓN

El análisis de datos e información permitió dimensionar el proyecto, de tal manera que esta investigación sea útil y confiable para futuras aplicaciones a proyectos y nuevas indagaciones.
Con énfasis en el estudio hidrológico realizado anteriormente, se parte inicialmente analizando su propósito, principios, procesos, parámetros, condiciones iniciales y de frontera, variables de entrada y salida etc.
Por consiguiente, con los datos requeridos para la modelación hidráulica del cauce, se toman como insumo base el levantamiento topográfico en campo para generar una superficie digital del terreno que permita la implantación de las secciones transversales sobre el eje del cauce definido, para ser exportado al programa hidráulico Hec-ras, donde se obtienen como resultados los perfiles de lámina de agua considerados para el estudio de este proyecto.

8.1.1 RECURSOS UTILIZADOS

RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN
Se realiza la determinación de las propiedades geométricas del terreno, características y ubicación espacial a partir de:

- Insumos suministrados por empresa contratante tales como: Levantamiento topográfico.
- Insumos tomados en campo tales como: Inspección visual, modelos digitales de elevación e imágenes raster.

8.1.2 INFORMACIÓN PRIMARIA Y SECUNDARIA

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.

8.1.2.1 INFORMACIÓN PRIMARIA

Como información primaria se tiene el levantamiento topográfico del tramo de interés con fecha de octubre 2025. En el levantamiento topográfico se incluyen las obras existentes, paramento, cauce, cobertura vegetal, vías etc., Este levantamiento se realizó en una longitud aproximada de 1800 metros

a lo largo del eje del Cauce RIO GUAYURIBA dentro del área en estudio y un ancho aproximado de 1400 metros.

8.1.2.2 INFORMACIÓN SECUNDARIA

Para la elaboración del estudio hidráulico se tiene la información de tablas de cálculo de la rugosidad "n maning" consultada de literatura de Ven Te Chow, para calibración en el modelo computacional hidráulico del terreno.

8.2 ESTUDIO Y MODELACIÓN HIDRÁULICA

Para el desarrollo de este ítem, se parte de la construcción de un modelo de terreno que describa apropiadamente la tipología actual del cauce, así al introducir los caudales obtenidos en el estudio hidrológico desarrollado para el área en estudio, se logre un modelo hidráulico que describa de manera acertada los diferentes fenómenos físicos que permitan comprender características propias de la dinámica fluvial sobre el cauce en estudio, y finalmente obtener parámetros hidráulicos en los tramos de análisis bajo las condiciones existentes.

8.2.1 IDENTIFICACIÓN PROBLEMÁTICA

A partir del análisis de la información obtenida en las actividades preliminares y del diagnóstico hidráulico del sector, se evidencia la presencia de procesos erosivos activos en la margen derecha del cauce, asociados a la concentración de esfuerzos cortantes, altas velocidades locales y variaciones en la dinámica fluvial del río Guayuriba, en el sector de la Vereda Brisas del Guayuriba del Municipio de Acacias, Meta.

Estas condiciones generan una pérdida progresiva de estabilidad en la ribera y un riesgo potencial de socavación, afectando la integridad de la margen y de las áreas adyacentes. En función de lo anterior, se identifica la necesidad de implementar una obra de protección tipo enrocado, diseñada con características hidráulicas y geométricas acordes a la naturaleza y comportamiento del cauce, que garantice la estabilidad estructural, la disipación controlada de la energía y la preservación del equilibrio fluvial en el tramo de estudio.

8.2.2 ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN

Con base en los resultados obtenidos de la modelación hidráulica y del análisis de las condiciones de flujo en el tramo de estudio, se plantea como alternativa de intervención la implementación de una obra de protección tipo enrocado sobre la margen derecha del río Guayuriba, en el sector de la Vereda Brisas del Guayuriba del Municipio de Acacias, Meta.

La propuesta surge del comportamiento hidráulico identificado, caracterizado por altas velocidades, concentraciones de esfuerzos cortantes y procesos erosivos localizados, que requieren una solución

con capacidad de disipar energía y garantizar la estabilidad del talud.

El enrocado se concibe como una estructura flexible y de bajo impacto hidráulico, capaz de acomodarse a la dinámica fluvial natural, proteger la ribera frente a eventos de creciente, y mantener las condiciones de equilibrio del cauce. Esta alternativa representa una respuesta técnica eficiente y sostenible, sustentada en los resultados de la modelación y en los criterios de diseño hidráulico aplicables al sector.

8.2.3 HIDRÁULICA DE OBRAS PROPUESTAS

El desarrollo de este capítulo se fundamenta en los resultados del modelo hidráulico bajo condiciones actuales, el cual permitió caracterizar el comportamiento del flujo y las condiciones de esfuerzo sobre la margen derecha. A partir de este análisis, se incorpora la alternativa de solución más adecuada, consistente en la implementación de una obra de protección tipo enrocado, seleccionada de acuerdo con las necesidades hidráulicas y morfodinámicas locales.

El modelo hidráulico fue empleado para evaluar la respuesta del cauce ante la inclusión de la estructura propuesta, determinando los principales parámetros hidráulicos de diseño, tales como niveles de agua, velocidades, esfuerzos cortantes y energía específica. Estos parámetros permitieron definir la geometría y las dimensiones del enrocado, asegurando su estabilidad frente a los caudales de diseño, su compatibilidad con la dinámica fluvial y su eficiencia en la disipación de energía y control de erosión en el tramo de estudio.

8.3 ANÁLISIS HIDRÁULICO

En continuidad con el estudio hidrológico y con base en el informe general de hidráulica, se desarrolla el análisis y diseño hidráulico del tramo en estudio, mediante la aplicación de criterios técnicos y metodológicos que permiten representar de manera adecuada el comportamiento del flujo en la corriente superficial, conforme a su dinámica fluvial y geomorfología local.

El análisis se orienta a evaluar las condiciones hidráulicas actuales y proyectadas del cauce, considerando el evento extraordinario asociado a un periodo de retorno de 100 años, como hipótesis de diseño para la verificación de la capacidad de conducción y la estabilidad del sistema.

Para tal fin, se implementó un modelo numérico de simulación hidráulica utilizando el software HEC-RAS versión 6.5 (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers, el cual constituye una herramienta especializada para la resolución de las ecuaciones de Saint-Venant bajo un esquema unidimensional, con capacidad de representar flujos subcríticos, supercríticos y mixtos.

El modelo HEC-RAS permite analizar el comportamiento del flujo a lo largo del cauce, determinando las variaciones de nivel, velocidad, energía específica y esfuerzos cortantes, tanto para las condiciones

existentes como para las configuraciones proyectadas. De esta manera, se garantiza que la modelación hidráulica represente fielmente el fenómeno físico del flujo y proporcione resultados consistentes con las condiciones reales del río Guayuriba, sector de la Vereda Brisas del Guayuriba del Municipio de Acacias, Meta..

En los apartados siguientes se describe de manera resumida la estructura del modelo hidráulico, las ecuaciones gobernantes empleadas, los métodos de solución numérica y los criterios técnicos de calibración y validación adoptados para el presente estudio.

8.3.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO HEC-RAS

El modelo de análisis hidráulico HEC-RAS 5.0.7, es una herramienta de software de libre acceso y con características de cálculo robustas, que emplea en la evaluación de pérdidas por fricción la ecuación de Manning. Hoy en día disponemos de diversos softwares específicos de modelización hidráulica que facilitan la entrada de datos y permiten visualizar gráficamente los resultados, incluso exportarlos en forma de tablas, lo que nos facilita su interpretación. Entre todo ellos, destaca sin duda el software HEC-RAS (desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers), como uno de los programas de referencia dentro de su campo.

Se trata de un software gratuito, por lo tanto, su uso se ha generalizado y se encuentra en un proceso constante de actualización al introducir continuas mejoras. Esto ha hecho que poco a poco la gran mayoría de administraciones hayan comenzado a exigir el estudio del impacto que puede representar sobre la dinámica de los cauces cualquier tipo de actuación con un modelo hidráulico suficientemente fiable, como es el caso de HEC-RAS.

El modelo seleccionado para la simulación hidráulica fue el programa HEC-RAS (River Analysis System del Hydrologic Engineering Center del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos). Este modelo unidimensional se basa en el cálculo de Flujo Gradualmente Variado (FGV) mediante la solución de la ecuación de energía en una dimensión. Considera las pérdidas de energía producto de la fricción a lo largo del cauce y de procesos de expansión y contracción del flujo. Para casos de Flujo Rápidamente Variado (FRV), como saltos hidráulicos y confluencias el modelo incorpora la solución de la ecuación de momentum del flujo. Las características específicas del modelo, su fundamente hidráulico y sus formulaciones y métodos de solución numéricos son tratados ampliamente en USACE (2010), documento que puede utilizarse como referencia hidráulica del modelo.

Para el RIO GUAYURIBA, el uso de un modelo hidráulico unidimensional como el RAS es suficiente y adecuado para estimar las características del flujo, en particular los niveles para los caudales de diseño y los parámetros hidráulicos relacionados con los cálculos de socavación.

El modelo HEC-RAS requiere la inclusión de la geometría de las secciones transversales, a partir de las cuales se obtienen los parámetros hidráulicos de las secciones para el cálculo de las condiciones de flujo analizadas. Para lograr una correcta aplicación del modelo unidimensional, se utilizaron secciones

transversales detalladas y se definieron tramos de análisis y separación de secciones adecuadas para la variación esperada del gradiente de energía en condición de crecientes.

La resistencia al flujo se modela mediante el coeficiente n de Manning, el cual puede ser variado a lo ancho de la sección transversal y a lo largo del tramo analizado. El modelo también requiere de la fijación de condiciones de frontera, las cuales se pueden especificar como condiciones de profundidad crítica o profundidad normal, como un nivel de agua conocido o como una curva de descarga, tanto aguas arriba como aguas abajo del tramo correspondiente. En el caso del presente estudio, se realizó el modelado en régimen permanente, es decir, sin considerar la variación del flujo en el tiempo.

El modelo supone que las secciones del cauce (tanto transversal como longitudinalmente) son fronteras rígidas y de esta forma distribuye la totalidad del caudal llenando horizontalmente la sección del cauce hasta alcanzar la capacidad hidráulica necesaria para el cauce que se está simulando. Estos cálculos los puede realizar en régimen supercrítico, régimen subcrítico o en un régimen mixto que evalúa las condiciones hidráulicas sección por sección.
Los resultados del modelo hidráulico se obtienen tubularmente como un resumen completo de las condiciones hidráulicas de cada sección transversal (niveles de agua y energía, caudal, velocidad, profundidad, área, radio hidráulico, número de Froude, entre otros) y también gráficamente en cada sección transversal y en el perfil del cauce.

8.3.2 ECUACIONES GOBERNANTES

En el análisis de corrientes superficiales donde el flujo se mantiene confinado sobre el cauce, su representación puede obtenerse con buena aproximación a partir de un modelo de resolución unidimensional de las ecuaciones de Barré de Saint- Venant. En forma general las ecuaciones de conservación de masa y de momentum en un modelo unidimensional se expresan, según se relaciona a continuación.

Ecuación de conservación de masa (Continuidad):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0$$

Ecuación de Momentum.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + V\frac{\partial Q}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0$$

Donde A corresponde al área de sección transversal; Q al caudal total; t el tiempo; x la dirección principal de flujo (dirección longitudinal del canal); q caudal unitario lateral; V velocidad media en la dirección principal de flujo; g aceleración de la gravedad; z elevación de la superficie del flujo; pendiente de fricción.

La evaluación de las pérdidas de energía por fricción en el modelo HEC-RAS 5.0.7, se realizan mediante el uso de la fórmula de Manning, siendo su representación matemática en sistema internacional de unidades la siguiente:

$$Q = \frac{1}{n} A \times R^{2/3} \times S_f^{1/2}$$

Donde Q corresponde al caudal total; A al área de sección transversal; n el coeficiente de rugosidad de Gauckler-Manning; R el radio hidráulico; P el perímetro mojado; pendiente de fricción.

Las corrientes superficiales de cauce natural, normalmente desarrollan secciones compuestas donde se identifica un canal central y dos zonas de banca ubicadas una a izquierda y otra a derecha del canal principal. Dependiendo del grado de confinamiento de la corriente y la magnitud del caudal transportado estas zonas adyacentes pueden ser o no ocupadas por el flujo. Durante un evento de creciente, en la etapa inicial el flujo suele estar confinado al canal central, posteriormente en la medida que se incrementa el caudal transportado y se alcanzan niveles de desbordamiento sobre las bancas, esta funciona como una zona de almacenamiento. Una vez la capacidad de almacenamiento de las bancas es ocupada se genera una condición de flujo hacia aguas abajo. Luego en la etapa de recesión de la creciente, al disminuir el caudal transportado y por consiguiente los niveles de flujo el caudal vuelve a concentrarse sobre el canal central. El modelo HEC-RAS 6.5, para efectos evaluar el comportamiento del flujo tanto en el canal central como en las bancas se distribuye la descarga de acuerdo con la función de transporte, K, siendo esta:

$$K = \frac{A^{5/3}}{nP^{2/3}}$$

En consecuencia, se definen las siguientes relaciones:

$$Q_c = \Phi Q$$

$$\Phi = \frac{K_c}{K_c + K_f}$$

Con fundamento en los anteriores supuestos, la solución completa de las ecuaciones de Barré de Saint-Venant, para una condición de flujo unidimensional puede ser expresada como se relaciona en seguida.

Ecuación de conservación de masa (Continuidad):

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial(\Phi Q)}{\partial x_c}+\frac{\partial[(1-\Phi)Q]}{\partial x_f}=0$$

Ecuación de Momentum.

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial(\Phi^2Q^2/A_c)}{\partial x_c}+\frac{\partial\left[(1-\Phi)^2Q^2/A_f\right]}{\partial x_f}+gA_c\left(\frac{\partial Z}{\partial x_c}+S_{fc}\right)+gA_f\left(\frac{\partial z}{\partial x_f}+S_{ff}\right)=0$$

Siendo:

$$S_{fc}=\frac{\Phi^2Q^2n_c^2}{R_c^{4/3}A_c^2}$$

$$S_{ff}=\frac{(1-\Phi)^2Q^2n_f^2}{R_f^{4/3}A_f^2}$$

Donde la variable Φ corresponde al porcentaje de distribución del flujo entre el canal y las bancas, de acuerdo a los coeficientes de transporte Kc y Kf; los subíndices c y f indican la correspondencia al canal y a las bancas respectivamente.

Las ecuaciones gobernantes del modelo de análisis hidráulico relacionadas anteriormente, para su resolución en HEC-RAS 6.5, se aproximan mediante un esquema implícito de diferencias finitas y son solucionadas numéricamente utilizando un proceso iterativo fundamentado en técnicas de Newton-Raphson.

El cómputo de las variables hidráulicas velocidad y profundidad, así como el correspondiente perfil de flujo se realiza mediante la resolución de la ecuación de energía entre secciones consecutivas utilizando el método iterativo del paso estándar. A continuación, se relaciona la representación matemática de la ecuación de energía.

Donde los subíndices 1 y 2 hacen referencia a las secciones aguas abajo y aguas arriba, respectivamente; Z corresponde a la elevación del fondo del cauce en el canal central; Y a la profundidad

de flujo; V a la velocidad media; α al coeficiente de Coriolis; g a la aceleración de la gravedad; h a las pérdidas de energía.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

La pérdida de energía por fricción y contracción o expansión, entre dos secciones consecutivas, se evalúa mediante:

$$h_e = L\bar{S}_f + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right|$$

Donde L es la longitud promedio ponderada del cauce; la pendiente de fricción; C el coeficiente de pedidas por contracción o expansión.
La longitud promedio ponderada del cauce se evalúa como:

$$L = \frac{L_{lob}\overline{Q}_{lob} + L_{ch}\overline{Q}_{ch} + L_{rob}\overline{Q}_{rob}}{\overline{Q}_{lob} + \overline{Q}_{ch} + \overline{Q}_{rob}}$$

Donde los subíndices lob, ch, rob hacen referencia a la banca izquierda, el canal central y la banca derecha, respectivamente.

8.3.3 IMPLEMENTACIÓN DE MODELO HIDRÁULICO

El análisis hidráulico de la corriente para el tramo en estudio, se realiza mediante el Modelo y programa de cálculo HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Análisis System) desarrollado y publicado por US Army Corps of Engineers., el cual constituye una actualización de los modelos HEC-2 y HEC-6.

Definido un modelo geométrico de los cauces y las estructuras hidráulicas que lo intervengan (a partir de secciones transversales), asignados los coeficientes de Manning tanto para el canal principal como para las bancas, habiendo suministrado datos de caudal y establecidas las condiciones de frontera apropiadas aguas arriba y aguas abajo del tramo en estudio, el programa HEC-RAS evalúa entre otros parámetros:

- Perfil de flujo longitudinal.
- Línea de Energía.

- Profundidad Crítica.
- Perfil de velocidad en cada sección transversal.
- Perdida de energía por fricción y por contracción o expansión.
- Tensión tangencial o esfuerzo de corte
- Radio hidráulico
- Profundidad hidráulica

El Modelo HEC-RAS, es un modelo de cálculo de flujo unidimensional, que para análisis de flujo estable emplea las ecuaciones de energía y momento incluyendo perdidas por fricción y por contracción o expansión del flujo. Las consideraciones para la aplicación del modelo son las siguientes:

1. Flujo Estable.

2. El flujo es gradualmente variado (excepto en estructuras hidráulicas como Puentes o Alcantarillas. En estos sitios donde el flujo puede ser rápidamente variado se emplea la ecuación de momento o ecuaciones empíricas para realizar el cómputo).

3. El flujo es unidimensional (solo se consideran las componentes de velocidad en la dirección del flujo).

4. El cauce de la corriente presenta pendientes pequeñas.

8.3.4 PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL FLUJO: COEFICIENTE DE MANNING

La ecuación de Manning constituye una de las más utilizadas para análisis de flujo uniforme en canales abiertos, debido a la simplicidad de su forma y a los resultados satisfactorios que arroja.

$$V = \frac{1}{n} \times R_H^{2/3} \times S^{1/2}$$

V = velocidad media, en m/s.

RH = es el radio hidráulico de la sección transversal.

S = la pendiente de la línea de energía

n = [s.m1/3] coeficiente de Manning y tiene la propiedad de permanecer constante para una determinada rugosidad, asumiendo el flujo como permanente, uniforme y turbulento rugoso. Su valor varía dependiendo de las unidades de medidas utilizadas para las otras variables ligadas al dimensionamiento

hidráulico.
El coeficiente de rugosidad de Manning se ve afectado por factores como:

- Rugosidad superficial
- Vegetación
- Irregularidad del canal
- Alineamiento del canal
- Sedimentación y socavación
- Tamaño y forma del canal, entre otros.

En corriente con fondo granular, el coeficiente de resistencia al flujo presenta variación en función del nivel de ocupación del cauce y de la forma del mismo. El coeficiente de Manning puede ser expresado como:

Donde n es el coeficiente de rugosidad debido al tamaño de grano de las partículas del fondo y n es el coeficiente de rugosidad debido a las formas de fondo presentes en el cauce o lecho de la Corriente. Para efectos de estimar n, se emplea la ecuación planteada por Strickler's (1923):

$$n_g = \frac{(d_{50})^{1/6}}{21}$$

Los modelos hidráulicos en general, incluido el HEC-RAS, incluyen dentro de sus formulaciones numéricas un término que representa la resistencia al flujo en canales. Este término incluye a su vez un coeficiente de rugosidad, el cual representa el efecto de resistencia al flujo de las superficies del fondo y de las paredes del canal este coeficiente se conoce como coeficiente de Manning.

El número del coeficiente de Manning (n) del cauce se estimó basados en la literatura existente, específicamente en el libro de Hidráulica de Canales Abiertos del autor Rchard H. French para diferentes factores de rugosidad de canales naturales. Los datos del coeficiente de Manning se pueden encontrar en la siguiente tabla.

TABLA 22 VALORES DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (CHOW, 1959)

Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
A *Cauces naturales*			
A.1 Cursos secundarios (ancho de la superficie libre en crecida < 30 m)			
A.1.1 Cursos en planicies			
- Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0,025	0,030	0,033
- Rectos con algunas piedras y pastos	0,030	0,035	0,040
- Limpios con meandros, con algunos pozos y bancos	0,033	0,040	0,045
- Meandros con algunas piedras y pastos	0,035	0,045	0,050
- Meandros con muchas piedras	0,045	0,050	0,060
- Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0,050	0,070	0,080
- Tramo con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0,075	0,100	0,150
A.1.2 Cursos montañosos, carentes de vegetación en el fondo, laderas con pendientes pronunciadas y árboles y arbustos en las laderas que se sumergen en niveles de crecida			
- Cauce de grava, cantos rodados y algunas rocas	0,030	0,040	0,050
- Cauce de cantos rodados, con grandes rocas	0,040	0,050	0,070
A.2 Cursos en planicies inundadas			
A.2.1 Zonas de pastos, sin arbustos			
- Pasto corto	0,025	0,030	0,035
- Pasto alto	0,030	0,035	0,050
A.2.2 Zonas cultivadas			
- Sin cultivo	0,020	0,030	0,030
- Cultivos sembrados en línea en fase de madurez fisiológica	0,025	0,035	0,045
- Cultivos sembrados a voleo en fase de madurez fisiológica	0,030	0,040	0,050
A.2.3 Zonas arbustivas			
- Escasos arbustos y pasto abundante	0,035	0,050	0,070
- Pequeños árboles y arbustos sin follaje (parada invernal)	0,035	0,050	0,060
- Pequeños árboles y arbustos con follaje (fase vegetativa)	0,040	0,060	0,080
- Arbustos medianos a densos durante la parada invernal	0,045	0,070	0,110
- Arbustos medianos a densos durante la fase vegetativa	0,070	0,100	0,160
A.2.4 Zonas arbóreas			
- Sauces densos, temporada invernal	0,110	0,150	0,200
- Terreno claro con ramas sin brotes	0,030	0,040	0,050
- Terreno claro con ramas con gran crecimiento de brotes	0,050	0,060	0,080
-Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación por debajo de las ramas	0,080	0,100	0,120
-Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación que alcanza a las ramas	0,100	0,120	0,160
A.3 Cursos importantes (ancho de la superficie libre en crecida > 30 m)			
En este caso, los valores del coeficiente *n* son inferiores a los correspondientes de cauces secundarios análogos, ya que los bancos ofrecen una resistencia efectiva menor.			
- Sección regular sin rocas ni arbustos	0,025		0,060
- Sección irregular y rugosa	0,035		0,100

Los coeficientes de rugosidad tipo Manning (n) empleados en la modelación hidráulica fueron seleccionados en función de las características superficiales, la vegetación, la rugosidad de lecho y taludes, y la presencia de obstáculos en cada tipo de cobertura. A continuación, se expone la justificación ingenieril por tipo de clase usada en el modelo:

Inundación — n = 0.073

Justificación: corresponde a zonas de planicie de inundación con vegetación densa, maleza, microrelieve irregular y posible presencia de arbustos o vegetación herbácea alta. Estos elementos incrementan la disipación de energía y la resistencia al flujo, por lo que valores típicos para llanuras con vegetación media–densa oscilan entre 0.06 y 0.12. Se adoptó 0.073 como valor representativo resultante del análisis de cobertura y observaciones de campo, equilibrando entre una vegetación dominante y superficies parcialmente abiertas.

Río (cauce) — n = 0.035

Justificación: valor representativo de un cauce natural con lecho de grava/rodados y tramos con bancos relativamente lisos, sin vegetación muy densa en la traza principal. Valores típicos para cauces naturales con material de lecho medio y bancos estables suelen situarse entre 0.030 y 0.050. El valor 0.035 refleja un cauce con rugosidad moderada que permite representar adecuadamente velocidades y niveles observados en campo y en el estudio hidrológico.

Bosque — n = 0.045

Justificación: áreas con cobertura arbórea producen mayor rugosidad por troncos, raíces expuestas y hojarasca. Valores usuales para canales o franjas de paso a través de bosque van de 0.04 a 0.08. Se empleó 0.045 considerando una cubierta arbórea frecuente, pero sin densidad extrema ni obstáculos continuos en la franja de flujo.

Vía (superficie pavimentada) — n = 0.013

Justificación: superficies pavimentadas y lisas (carreteras, pavimento) presentan baja resistencia al flujo; rangos típicos son 0.010–0.015. El valor 0.013 representa pavimento en buen estado y se usa para tramos que canalizan agua superficial por calzadas o cunetas rígidas.

Urbano — n = 0.017

Justificación: áreas urbanas combinan superficies rígidas (aceras, calzadas) con obstrucciones puntuales (mobiliario, pendientes, bordillos) que elevan ligeramente la rugosidad respecto a pavimento puro. El rango habitual es 0.012–0.025; 0.017 fue elegido como valor medio que refleja una ciudad con viviendas, vías y elementos urbanos moderados.

Dique — n = 0.02

Justificación: para coronas y taludes de dique compactado y sin vegetación alta, la rugosidad es baja pero mayor que el pavimento rígido. Los valores típicos para taludes de tierra compactada o revestimientos suaves están en 0.015–0.030. Se adoptó 0.02 como valor representativo de dique compactado con cobertura herbácea corta y sin irregularidades significativas.

TABLA 23 COEFICIENTE DE MANNING

ID	Name	ManningsN
0	NoData	
1	Inundaci?n	0.073
2	Rio	0.035
3	Bosque	0.045
4	Via	0.013
5	Urbano	0.017
6	Dique	0.02

FUENTE: HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS, V.T. CHOW

8.3.5 JUSTIFICACIÓN ESPECÍFICA PARA LA OBRA PROYECTADA — ENROCADO: N = 0.035

El enrocado proyectado como medida de protección en la margen derecha fue asignado con n = 0.035 por las razones técnicas siguientes:

Tipo de material: enrocado angular y medianamente compacto con tamaño de roca suficiente para resistir esfuerzos de arrastre, genera una rugosidad intermedia y enrocados de tamaño medio.

Estructura flexible: al tratarse de una estructura flexible y porosa, el flujo interactúa con la superficie de las piedras y penetra parcialmente entre ellas, aumentando la disipación comparada con una superficie lisa, pero menor que zonas con vegetación densa.

Compatibilidad hidráulica: n = 0.035 permite representar la capacidad de disipación y la distribución de velocidades esperada en el péndulo del talud enrocado, y es consistente con el valor del cauce (0.035), lo que facilita evaluar la interacción entre cauce y enrocado sin generar saltos de rugosidad abruptos que alteren innecesariamente la simulación.

Rango técnico: el valor propuesto está dentro del rango aceptado por prácticas de diseño hidráulico para enrocados y revocos rocosos; se ajusta al criterio de diseño que prioriza estabilidad estructural frente a caudales de diseño y control de la erosión.

Cobertura	n adoptado	Rango típico (referencia práctica)	Razonamiento
Inundación	0.073	0.06 – 0.12	Vegetación densa, microrelieve
Río (cauce)	0.035	0.03 – 0.05	Lecho grava/rodados, rugosidad moderada
Bosque	0.045	0.04 – 0.08	Troncos, raíces, hojarasca
Vía (pavimento)	0.013	0.010 – 0.015	Superficie lisa pavimentada
Urbano	0.017	0.012 – 0.025	Obstáculos y mobiliario urbano
Dique	0.02	0.015 – 0.03	Terraplén compacto, cobertura corta
Enrocado (proyectado)	0.035	0.03 – 0.05	Riprap angular, estructura flexible

8.4 CONDICIONES DE FRONTERA

Para efectos de establecer las condiciones de frontera, en primera instancia, es apropiado aproximar una clasificación del flujo en función del tipo de cauce y la pendiente longitudinal del mismo. Al estimar la pendiente longitudinal promedia de las distintas canalizaciones, se determinó que corresponden a pendientes modernamente bajas. Con fundamento en lo anterior y bajo la premisa de que a lo largo del canal se pueden encontrar algunos tramos con pendiente supercrítica y otros subcrítica, se establece como requisito de análisis considerar la condición de flujo mixto, lo cual requiere definir condiciones de frontera tanto aguas arriba como aguas abajo (entrada y salida), de la canalización.

En consideración a la información disponible para elaborar el modelo de análisis hidráulico, la condición de frontera más adecuada corresponde a la de profundidad normal, representada por la pendiente de fricción. Teniendo en cuenta que el análisis hidráulico se plantea para condición de flujo mixto, procedimentalmente se determina la pendiente media de la canalización y se establece como condición de frontera tanto aguas arriba como aguas abajo. Seguido se realiza la evaluación hidráulica y mediante un proceso iterativo se ajustan las condiciones de frontera, de tal forma que las variables hidráulicas adopten valores razonables para las condiciones específicas del tramo de corriente objeto de análisis.

8.4.1 CONDICIONES DE FRONTERA ADOPTADAS EN EL MODELO HIDRÁULICO

TABLA 3 CONDICIONES DE FRONTERA – PENDIENTE DEL CAUCE

Condición de frontera	Magnitud
Aguas arriba	Critical Depth

Aguas abajo	Critical Depth

FUENTE: PROPIA – HEC RAS 6.5.

A continuación, se presentan las condiciones para el modelamiento hidráulico de este proyecto, en el software HEC-RAS (desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers).

- Régimen de flujo mixto.
- Coeficientes de expansión y contracción 0,10 y 0,30 respectivamente para la perdida de energía entre secciones contiguas.

8.5 CALIBRACIÓN DE MODELO

Entendiéndose la calibración como el proceso de comparar los resultados obtenidos en el modelo con respecto a mediciones en campo, sobre el prototipo, y de ser necesario la realización de ajuste de parámetros para lograr la mejor representación posible del fenómeno analizado, en el presente caso debido a la carencia de información de contraste no es posible realizar estrictamente dicho proceso. Sin embargo, si es factible realizar un proceso de "afinamiento" de los modelos hidráulicos, mediante la ponderación de los resultados de las variables profundidad de flujo, la velocidad media del flujo y en número de Froude, lo cual, permite establecer criterios para ajustar los coeficientes de rugosidad y las condiciones de frontera, principalmente la de aguas abajo.

La modelación hidráulica es usada para simular situaciones reales de comportamiento que se producen en las obras hidráulicas, estas modelaciones tienen múltiples aplicaciones. "Los modelos hidráulicos, se usan para la solución de problemas relacionados con las estructuras hidráulicas, fenómenos de infiltración o tramos de ríos (Modelación Hidráulica).

Para el desarrollo del proyecto tomamos el área en estudio del RIO GUAYURIBA el cual se simulará el caudal de diseño correspondiente al periodo de retorno de 100 años calculado en estudio hidrológico, con sus respectivos coeficientes de rugosidad para eje y bancas del cauce, pendientes entre secciones, como se mostrará en el desarrollo del software HEC RAS.

Empezando por definir el sistema de unidades que manejara el HEC RAS en este caso se establece el SI (sistema internacional), luego se genera un nuevo proyecto, posterior a esto se ingresa la geometría del canal, definiendo primero el sentido y dirección del flujo del cauce, definido el sentido del flujo se ingresan las secciones del cauce con las respectivas pendientes entre secciones, coeficiente Manning, distancia entre secciones o kilometro donde se encuentra la sección y puntos críticos de las secciones.

Al confeccionar el modelo, todos los datos introducidos (excepto, probablemente, la superficie de la cuenca) están afectados de grandes errores o son meras suposiciones. Si disponemos de datos de caudales, podemos afinar los datos introducidos así: 1. Ejecutamos el modelo para un periodo histórico

del que conozcamos los caudales que se produjeron en esa cuenca. 2. Comparamos los resultados obtenidos por el modelo con los que realmente se produjeron. 3. Si la comparación del punto 2 no es satisfactoria, cambiamos los parámetros necesarios y volvemos al punto 1.

El proceso de calibración del modelo hidráulico consiste en estimar el valor de coeficiente de rugosidad de Maning, para esto se obtiene primero la pendiente promedio del cauce en el tramo de estudio y se corre el modelo en régimen mixto del cauce en el tramo en estudio;
Se desarrollaron aproximadamente 60 secciones transversales para el desarrollo del modelo hidráulico en el software HEC RAS, las distancias entre las secciones son constantes con intervalos de 25 (veinticinco) metros, teniendo en cuenta que en el levantamiento topográfico de cada sección se presentan cambios o alteraciones en sus dimensiones geométricas del terreno.

Los caudales de diseño extraídos del estudio hidrológico que se modelaron a los diferentes periodos de retorno se presentan en la siguiente tabla:

TABLA 24 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA ALIMENTAR EL MODELO

CUENCA RIO GUAYURIBA	
TR AÑOS	**CAUDAL m3/s**
2	**613,4**
5	**994,0**
10	**1260,8**
20	**1692,3**
50	**2463,2**
100	**3235,8**

FUENTE PROPIA

8.6 HIDRÁULICA CONDICIONES ACTUALES CON IMPLANTACIÓN DE OBRA PROPUESTA

Al terminar de ingresar cada sección se debe guardar la geometría y se cierra esta pestaña, el programa genera la imagen del canal en planta con las secciones a la distancia correspondiente como se observa en la siguiente Ilustración.

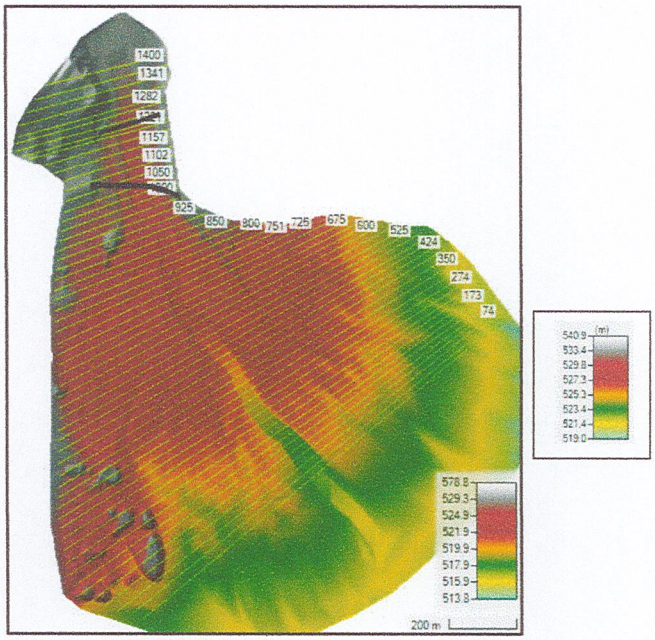


ILUSTRACIÓN 14 MDE SECCIONES TRANSVERSALES DEL ÁREA DE ESTUDIO DE CAUCE MODELO HEC-RAS
FUENTE PROPIA

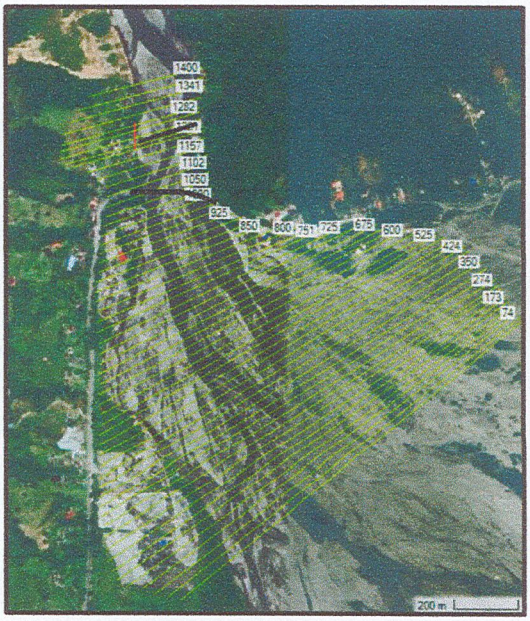


ILUSTRACIÓN 15 GOOGLE SATÉLITE SECCIONES TRANSVERSALES DEL ÁREA DE ESTUDIO DE CAUCE MODELO HEC-RAS
FUENTE PROPIA

Calle 15 No. 40 -01 Lobby 1 - Piso 8
CC Primavera Urbana-Villavicencio
contactenos@aim-meta.gov.co
https://aim-meta.gov.co

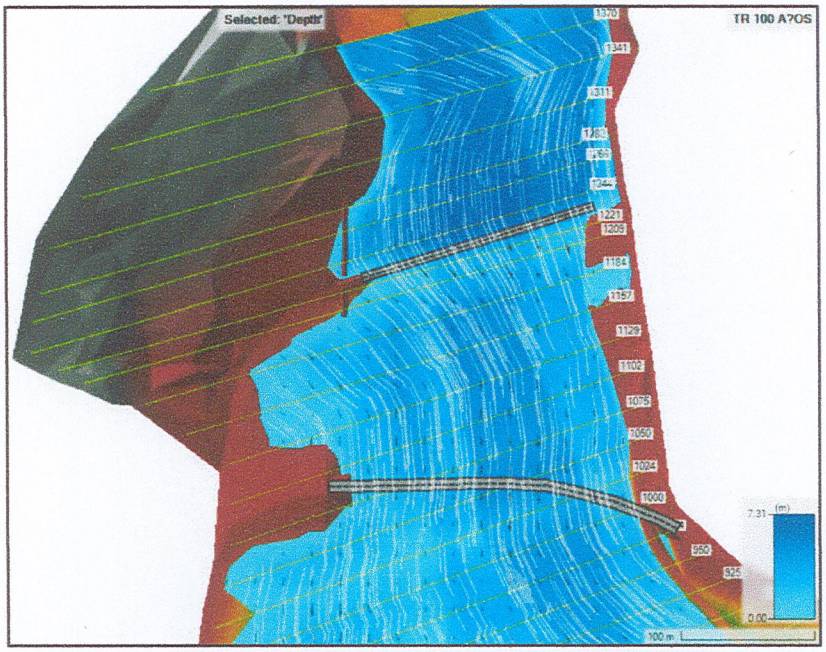


ILUSTRACIÓN 16 MDE MODELACIÓN HIDRÁULICA SIMULACIÓN DE INUNDACIÓN TR 100 AÑOS
FUENTE PROPIA

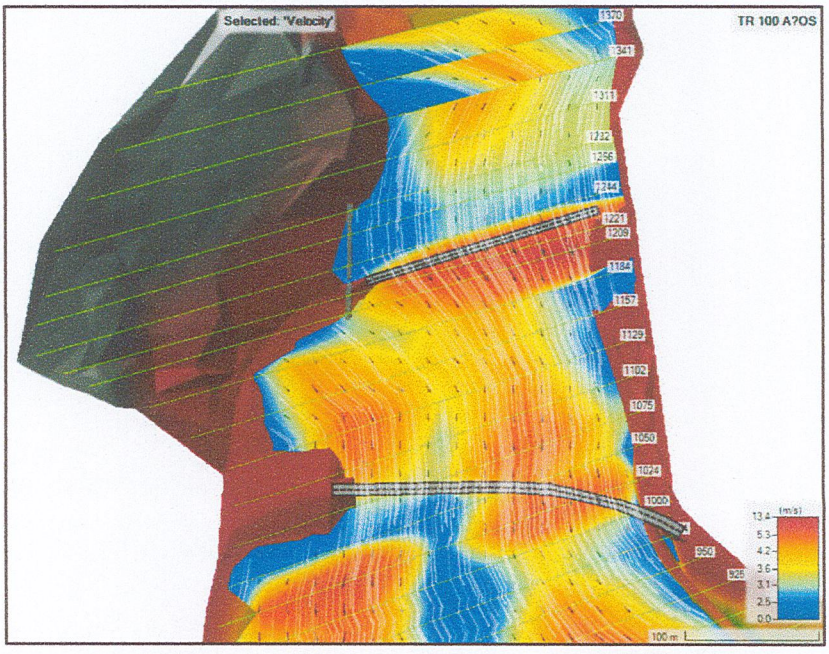


ILUSTRACIÓN 17 MDE MODELACIÓN HIDRÁULICA SIMULACIÓN DE VELOCIDAD TR 100 AÑOS
FUENTE PROPIA

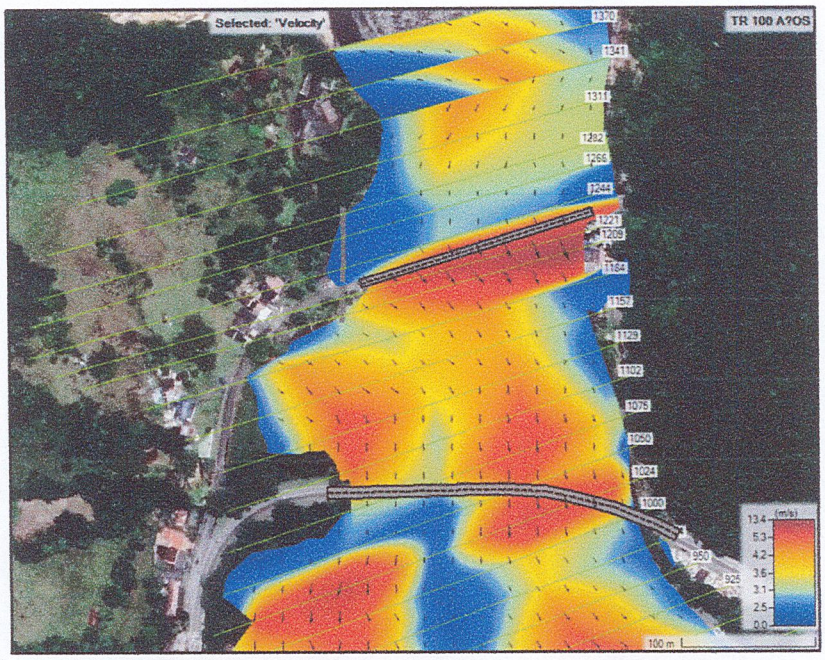


ILUSTRACIÓN 18 GOOGLE SATÉLITE MODELACIÓN HIDRÁULICA SIMULACIÓN DE VELOCIDAD TR 100 AÑOS
FUENTE PROPIA

Los resultados de la modelación HEC-RAS para el periodo de retorno de 100 años muestran una banda de velocidades máximas en la traza principal del cauce que incide directamente en la margen derecha proyectada para la protección. Las velocidades simuladas alcanzan valores máximos en la escala de la figura (orden de magnitud hasta ~13 m/s en las zonas de chorro concentrado), lo que implica esfuerzos cortantes en el lecho y en el talud superiores a los esperables para la formación natural del talud. La presencia de los puentes y diques en el sector contribuye a la contracción del flujo y a la reorientación de las corrientes hacia la margen, aumentando el potencial de socavación local.

Frente a estas condiciones, la alternativa de enrocado se justifica por su capacidad para disipar energía del flujo mediante una superficie rugosa y permeable, proteger el talud y el respaldo frente a esfuerzos de arrastre y socavación, y comportarse de forma flexible ante cambios morfodinámicos. El diseño final del enrocado debe dimensionarse a partir de las velocidades y niveles del HEC-RAS, incluyendo la verificación de estabilidad del material, la protección frente a socavación y la disposición de filtros y geotextiles que impidan migración de finos. Se recomienda además la ejecución de un análisis de sensibilidad de rugosidades y un estudio de socavación local en las proximidades de pilas y estribos de los puentes aledaños para establecer la profundidad de anclaje del pie del enrocado para esta zona.

De acuerdo a las condiciones hidráulicas actuales del Cauce RIO GUAYURIBA, así como partiendo del contexto de necesidad indicada por la misma comunidad, se desarrolla el planteamiento de la alternativa más pertinente para este caso particular. Por ello a continuación en el presente numeral se enseñan las consideraciones de diseño acatadas para la proyección la estructura tipo enrocado.

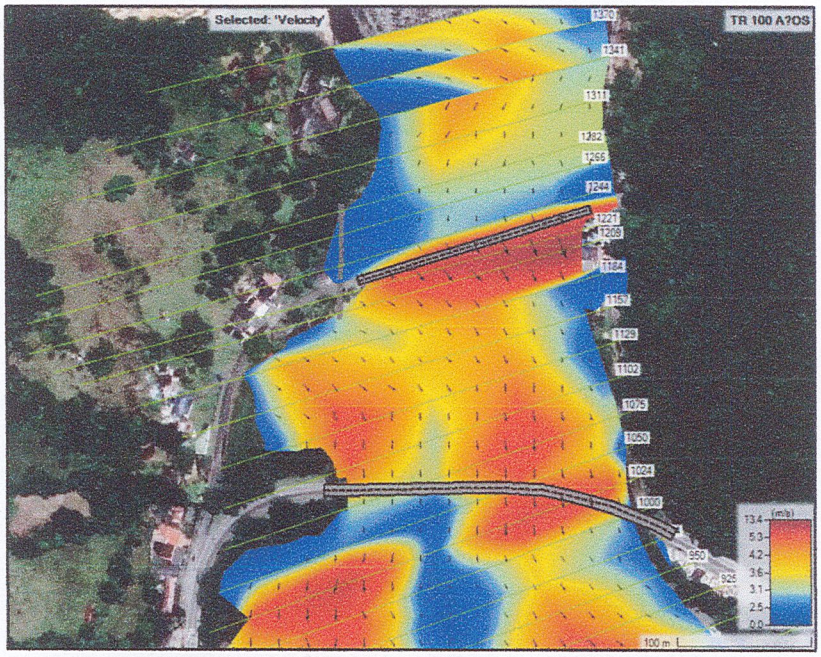
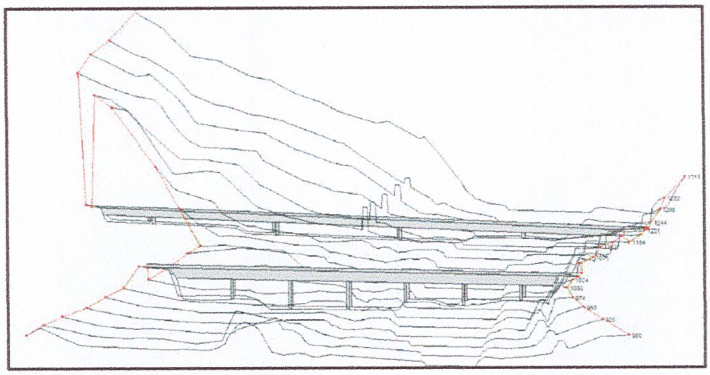


ILUSTRACIÓN 18 GOOGLE SATÉLITE MODELACIÓN HIDRÁULICA SIMULACIÓN DE VELOCIDAD TR 100 AÑOS
FUENTE PROPIA

Los resultados de la modelación HEC-RAS para el periodo de retorno de 100 años muestran una banda de velocidades máximas en la traza principal del cauce que incide directamente en la margen derecha proyectada para la protección. Las velocidades simuladas alcanzan valores máximos en la escala de la figura (orden de magnitud hasta ~13 m/s en las zonas de chorro concentrado), lo que implica esfuerzos cortantes en el lecho y en el talud superiores a los esperables para la formación natural del talud. La presencia de los puentes y diques en el sector contribuye a la contracción del flujo y a la reorientación de las corrientes hacia la margen, aumentando el potencial de socavación local.

Frente a estas condiciones, la alternativa de enrocado se justifica por su capacidad para disipar energía del flujo mediante una superficie rugosa y permeable, proteger el talud y el respaldo frente a esfuerzos de arrastre y socavación, y comportarse de forma flexible ante cambios morfodinámicos. El diseño final del enrocado debe dimensionarse a partir de las velocidades y niveles del HEC-RAS, incluyendo la verificación de estabilidad del material, la protección frente a socavación y la disposición de filtros y geotextiles que impidan migración de finos.

De acuerdo a las condiciones hidráulicas actuales del Cauce RIO GUAYURIBA, así como partiendo del contexto de necesidad indicada por la misma comunidad, se desarrolla el planteamiento de la alternativa más pertinente para este caso particular. Por ello a continuación en el presente numeral se enseñan las consideraciones de diseño acatadas para la proyección la estructura tipo enrocado.



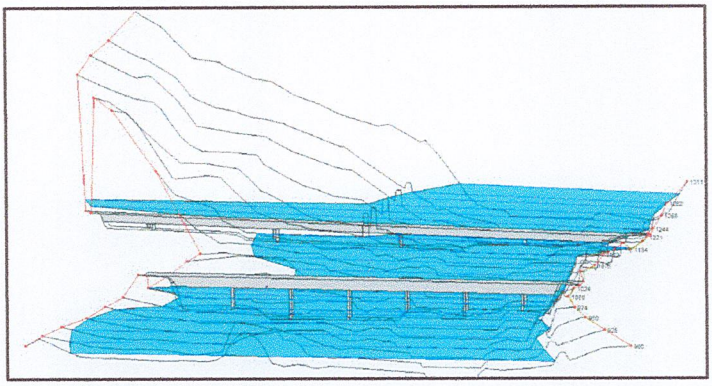
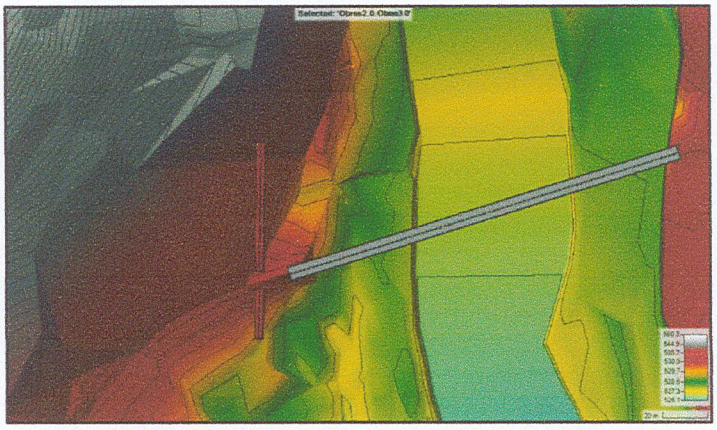


ILUSTRACIÓN 19 ESQUEMA MODELO HIDRÁULICO ENROCADO MARGEN DERECHA, FUENTE HEC RAS 6.5
FUENTE PROPIA



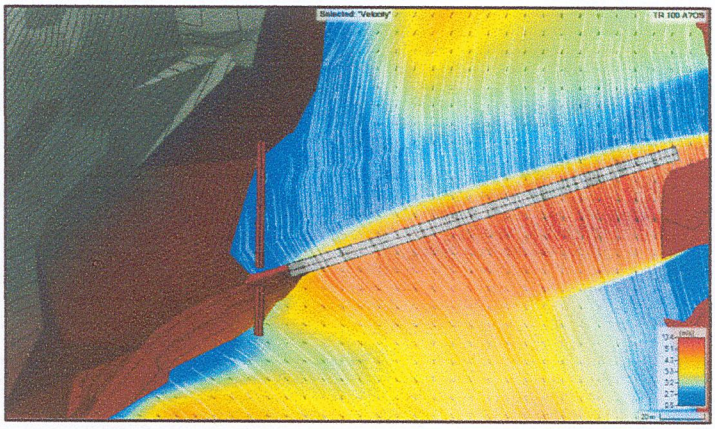


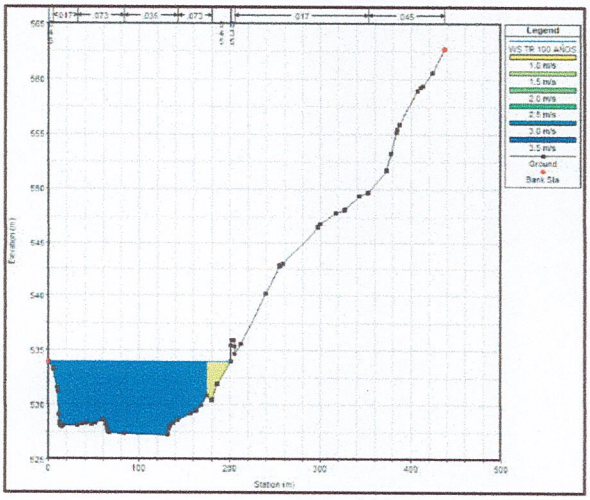
ILUSTRACIÓN 20 IMPLANTACIÓN DE MURO EN RIO GUAYURIBA
FUENTE PROPIA

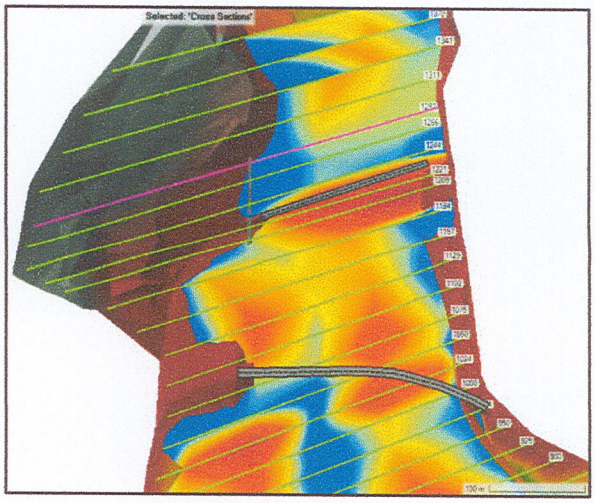
Para efectos de ilustrar el comportamiento de las variaciones hidráulicas, se presenta a continuación el resultado del modelo hidráulico mediante secciones.

TABLA 25 RESULTADO MODELO HIDRÁULICO, TR 100 AÑOS, RS:1282, FUENTE HEC RAS 6.5

Plan: PLAN_ENROCADO River 1 Reach 1 RS: 1282 Profile: TR 100 AÑOS					
E.G. Elev (m)	534.47	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.51	Wt. n-Val.		0.040	
W.S. Elev (m)	533.96	Reach Len. (m)	16.30	16.30	16.30
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		1019.57	
E.G. Slope (m/m)	0.001628	Area (m2)		1019.57	
Q Total (m3/s)	3235.80	Flow (m3/s)		3235.80	
Top Width (m)	200.70	Top Width (m)		200.70	
Vel Total (m/s)	3.17	Avg. Vel. (m/s)		3.17	
Max Chl Dpth (m)	6.70	Hydr. Depth (m)		5.08	
Conv. Total (m3/s)	80192.5	Conv. (m3/s)		80192.5	
Length Wtd. (m)	16.30	Wetted Per. (m)		203.71	
Min Ch El (m)	527.26	Shear (N/m2)		79.91	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		253.62	
Frctn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)	0.02	1332.20	0.01
C & E Loss (m)	0.03	Cum SA (1000 m2)	0.02	771.23	0.01

FUENTE PROPIA





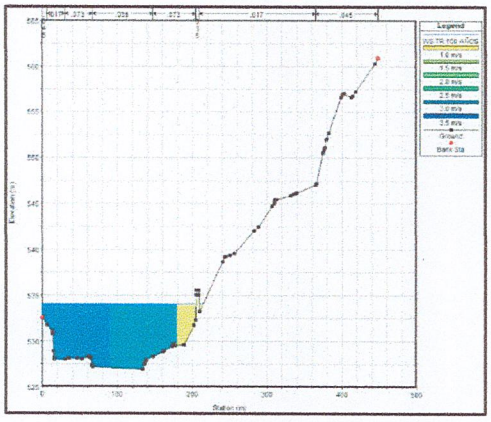
Cale 15 No. 40 -01 Lobby 1 - Piso 8
CC Primavera Urbana-Villavicencio
contactenos@aim-meta.gov.co
https://aim-meta.gov.co

ILUSTRACIÓN 21 PERFIL DE VELOCIDAD Y MANCHA DE INUNDACIÓN, TR 100 AÑOS, RS 1282, FUENTE HEC RAS 6.5
Fuente Propia

TABLA 26 RESULTADO MODELO HIDRÁULICO, TR 100 AÑOS, RS:1266, FUENTE HEC RAS 6.5

Plan: PLAN_ENROCADO River 1 Reach 1 RS: 1266 Profile: TR 100 AÑOS					
E.G. Elev (m)	534.42	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.41	Wt. n-Val.		0.039	
W.S. Elev (m)	534.01	Reach Len. (m)	21.80	21.80	21.80
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		1140.91	
E.G. Slope (m/m)	0.001203	Area (m2)		1140.91	
Q Total (m3/s)	3235.80	Flow (m3/s)		3235.80	
Top Width (m)	209.55	Top Width (m)		209.55	
Vel Total (m/s)	2.84	Avg. Vel. (m/s)		2.84	
Max Chl Dpth (m)	7.03	Hydr. Depth (m)		5.44	
Conv. Total (m3/s)	93280.4	Conv. (m3/s)		93280.4	
Length Wtd. (m)	21.80	Wetted Per. (m)		215.46	
Min Ch El (m)	526.98	Shear (N/m2)		62.49	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		177.22	
Frctn Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m3)	0.02	1314.59	0.01
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.02	767.88	0.01

FUENTE PROPIA



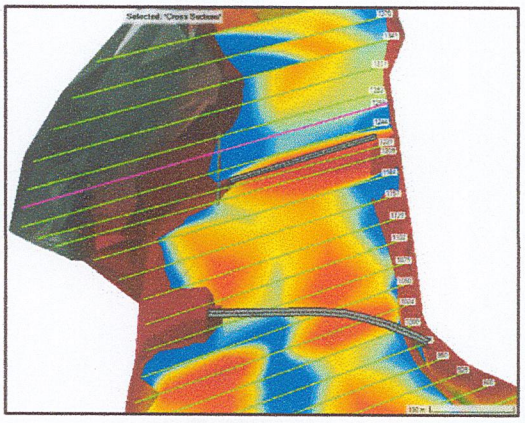


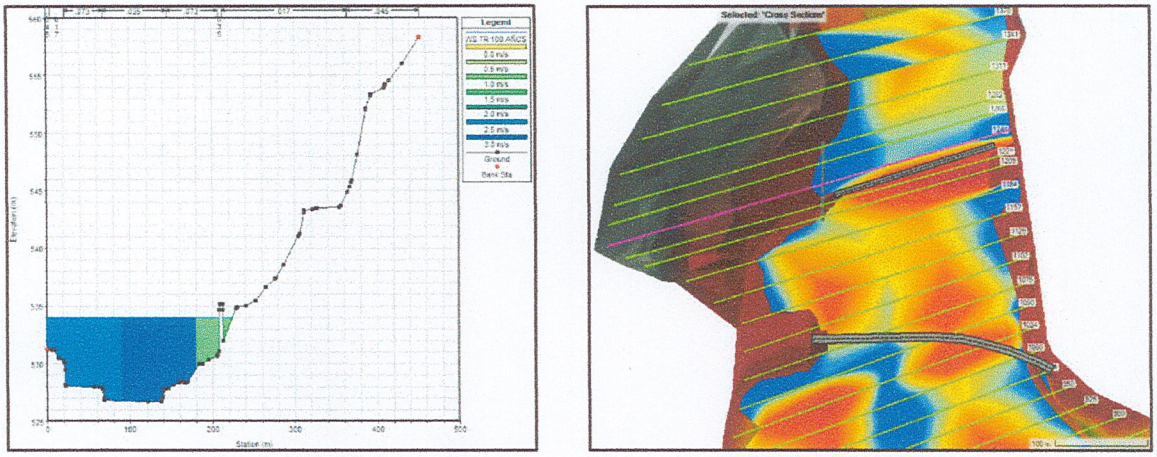
ILUSTRACIÓN 22 PERFIL DE VELOCIDAD Y MANCHA DE INUNDACIÓN, TR 100 AÑOS, RS 1266, FUENTE HEC RAS 6.5
FUENTE PROPIA

TABLA 27 RESULTADO MODELO HIDRÁULICO, TR 100 AÑOS, RS:1244, FUENTE HEC RAS 6.5

Plan: PLAN_ENROCADO River 1 Reach 1 RS: 1244 Profile: TR 100 AÑOS					
E.G. Elev (m)	534.38	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.36	Wt. n-Val.	0.045	0.043	
W.S. Elev (m)	534.02	Reach Len. (m)	10.60	10.60	10.60
Crit W.S. (m)	531.10	Flow Area (m2)	0.78	1211.93	
E.G. Slope (m/m)	0.001244	Area (m2)	0.78	1211.92	
Q Total (m3/s)	3235.80	Flow (m3/s)	0.24	3235.56	
Top Width (m)	219.90	Top Width (m)	0.28	219.62	
Vel Total (m/s)	2.67	Avg. Vel. (m/s)	0.32	2.67	
Max Chl Dpth (m)	7.31	Hydr. Depth (m)	2.76	5.52	
Conv. Total (m3/s)	91742.9	Conv. (m3/s)	6.9	91736.0	
Length Wtd. (m)	10.60	Wetted Per. (m)	3.04	225.86	
Min Ch El (m)	526.70	Shear (N/m2)	3.11	65.46	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	0.98	174.76	
Frctn Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m3)	0.01	1288.95	0.01
C & E Loss (m)	0.06	Cum SA (1000 m2)	0.02	763.20	0.01

FUENTE PROPIA

ILUSTRACIÓN 23 PERFIL DE VELOCIDAD Y MANCHA DE INUNDACIÓN, TR 100 AÑOS, RS 1244, FUENTE HEC RAS 6.5



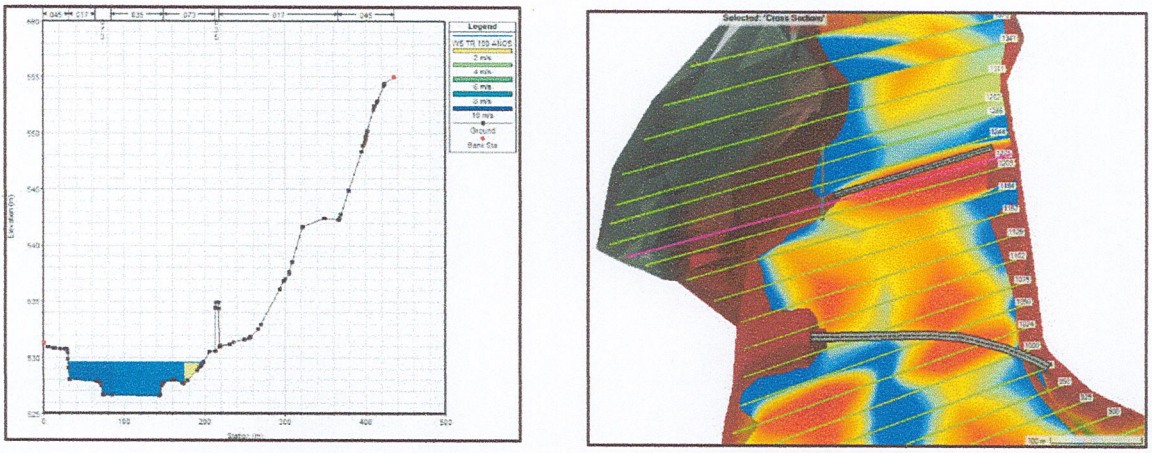
FUENTE PROPIA

TABLA 28 RESULTADO MODELO HIDRÁULICO, TR 100 AÑOS, RS:1221, FUENTE HEC RAS 6.5

Plan: PLAN_ENROCADO River 1 Reach 1 RS: 1221 Profile: TR 100 AÑOS					
E.G. Elev (m)	533.66	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	4.07	Wt. n-Val.		0.036	
W.S. Elev (m)	529.59	Reach Len. (m)	11.80	11.80	11.80
Crit W.S. (m)	530.94	Flow Area (m2)		362.11	
E.G. Slope (m/m)	0.032560	Area (m2)		362.11	
Q Total (m3/s)	3235.80	Flow (m3/s)		3235.80	
Top Width (m)	168.04	Top Width (m)		168.04	
Vel Total (m/s)	8.94	Avg. Vel. (m/s)		8.94	
Max Chl Dpth (m)	3.03	Hydr. Depth (m)		2.15	
Conv. Total (m3/s)	17932.3	Conv. (m3/s)		17932.3	
Length Wtd. (m)	11.80	Wetted Per. (m)		169.44	
Min Ch El (m)	526.56	Shear (N/m2)		682.40	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		6097.92	
Frctn Loss (m)	0.56	Cum Volume (1000 m3)	0.00	1271.02	0.01
C & E Loss (m)	0.32	Cum SA (1000 m2)	0.02	758.84	0.01

FUENTE PROPIA

ILUSTRACIÓN 24 PERFIL DE VELOCIDAD Y MANCHA DE INUNDACIÓN, TR 100 AÑOS, RS 1221, FUENTE HEC RAS 6.5



Fuente Propia

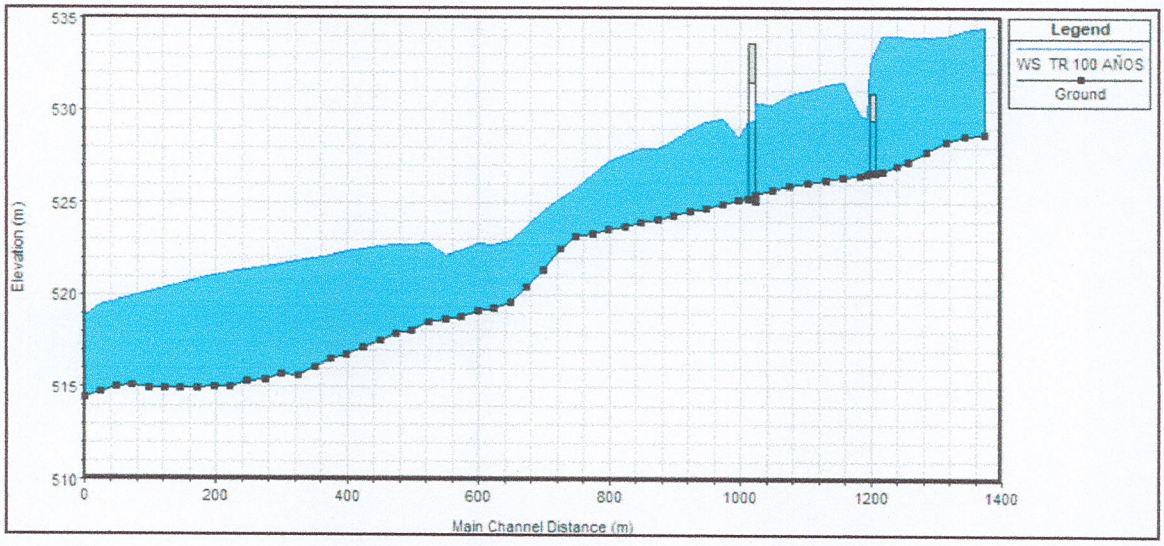


ILUSTRACIÓN 25 PERFIL LONGITUDINAL DE PROFUNDIDAD DEL FLUJO, FUENTE HEC RAS 6.5

8.7 DISEÑO DE OBRAS

8.7.1 ANALISIS DE SOCAVACION

PARA EL CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN PARA ESTE TIPO DE OBRAS TENEMOS EN CUENTA LA SOCAVACIÓN GENERAL, MEDIANTE EL MÉTODO DE LISCHTVAN – LEVEDIEV (1953), PARA ESTE CASO TOMAMOS LA SECCIÓN CRITICA DEL PROYECTO.

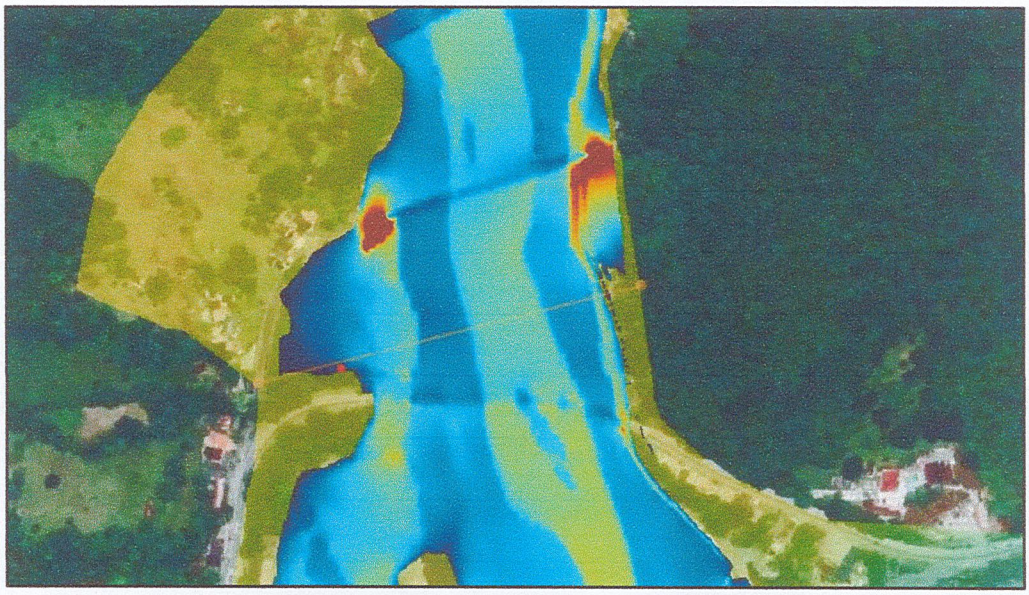


ILUSTRACIÓN 26 SECCIÓN DE CÁLCULO SOCAVACIÓN, FUENTE HEC RAS 6.5
FUENTE PROPIA

Donde:

Hs – h: Profundidad de socavación (m)

h: Tirante de agua (m)

Dm: Diámetro característico del lecho (mm)

β: Coeficiente de frecuencia.

μ: Factor de corrección por contracción del cauce.

ϕ: Factor de corrección por forma de transporte de sedimentos.

z: exponente variable en función del diámetro medio de la partícula

Q: caudal

B: ancho de la superficie libre

V: Velocidad

TABLA 29 CÁLCULO DE SOCAVACIÓN

Parámetros Hidráulicos	Valor
Q (m^3/s)	3198
h (m)	5.45
B (m)	175
A (m2)	887
V (m/s)	12
Dm (mm)	11.38
Luz (mínima para μ)	28
Tiempo de Retorno	100
Peso específico muestra de agua (Tn/m3)	1
μ	0.945
α	1.1
β	0.99
φ	1.00
z	0.34
Hs (m)	7.38
Prof. Socav. (ds) (m)	**1.92**

FUENTE PROPIA

Calle 15 No. 40 -01 Lobby 1 - Piso 8
CC Primavera Urbana-Villavicencio
contactenos@aim-meta.gov.co
https://aim-meta.gov.co

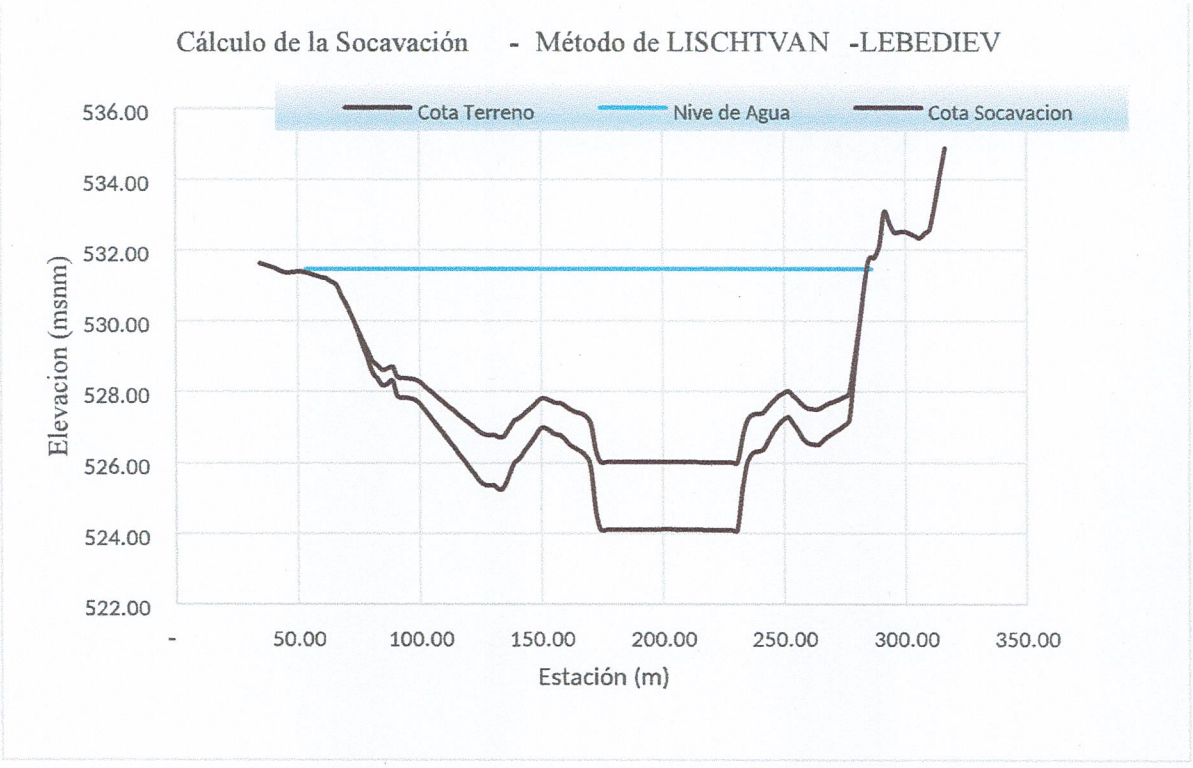
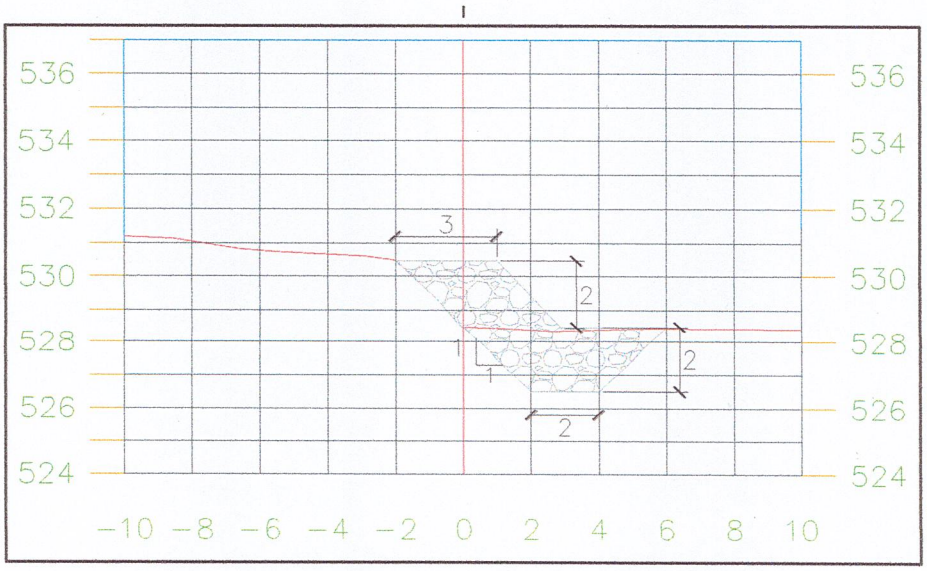


ILUSTRACIÓN 27 SOCAVACIÓN GENERAL
FUENTE PROPIA

8.7.2 CALCULO ENROCADO



LUSTRACIÓN 28 SECCIÓN TIPO ENROCADO

FUENTE PROPIA

Para el cálculo del enrocado se tiene en cuenta el valor del esfuerzo cortante crítico, contra el esfuerzo cortante de fondo donde tenemos:

TABLA 30 DATOS BASE CÁLCULO ENROCADO

Densidad de Solido	ds	2650	kgf/m3
Densidad de Agua	d	1000	kgf/m3
gravedad	g	9.81	m/s2
Profundidad	h	5.45	m
Pendiente	S	0.00840	m/m

FUENTE PROPIA

y variando el D50 tenemos

D50 (m)	Tc (N/m2)	Tc (Kgf/m2)	
0.1	76.07655	7.755	Presenta movimiento de fondo
0.2	152.1531	15.51	Presenta movimiento de fondo
0.3	228.22965	23.265	Presenta movimiento de fondo
0.4	304.3062	31.02	Presenta movimiento de fondo
0.5	380.38275	38.775	Presenta movimiento de fondo
0.6	456.4593	46.53	No presenta movimiento de fondo
0.7	532.53585	54.285	No presenta movimiento de fondo
0.8	608.6124	62.04	No presenta movimiento de fondo
0.9	684.68895	69.795	No presenta movimiento de fondo
1	760.7655	77.55	No presenta movimiento de fondo
1.1	836.84205	85.305	No presenta movimiento de fondo
1.2	912.9186	93.06	No presenta movimiento de fondo
1.3	988.99515	100.815	No presenta movimiento de fondo
1.4	1065.0717	108.57	No presenta movimiento de fondo
1.5	1141.14825	116.325	No presenta movimiento de fondo
1.6	1217.2248	124.08	No presenta movimiento de fondo
1.7	1293.30135	131.835	No presenta movimiento de fondo
1.8	1369.3779	139.59	No presenta movimiento de fondo

1.9	1445.45445	147.345	No presenta movimiento de fondo
2	1521.531	155.1	No presenta movimiento de fondo

FUENTE PROPIA

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El caudal propuesto de diseño, propuesto para un periodo de retorno de 100 años es de 3235m3/s, cercano a los valores obtenidos por Hidroconsulta. (Tabla 43 caudales de diseño).

Periodo de Retorno	Caudal Máximo
TR2	613.4
TR5	994
TR10	1260.8
TR20	1692.3
TR50	2463.2
TR100	3235.8

- Comparando los datos del modelo hidrológico con las distribuciones obtenida de los datos de la estación CASETEJA-DELICIAS [35027210], tenemos poca variación, lo que se infiere que el modelo se ajusta a los parámetros reales.

- De acuerdo con los datos de las estaciones tenemos que las mayores lluvias se encuentran en los meses de abril a junio, teniendo como época seca los meses de diciembre a febrero, donde sería la mejor época para construir las obras.

- Las subcuencas de la cuenca alta del Guayuriba tienden a no ser ni alargadas ni achatadas de acuerdo con el factor de forma, cuyo promedio es 0.41, influyendo directamente en la distribución y comportamiento del tiempo de concentración, teniendo mayores tiempos de concentración hacia las subcuencas más cercanas al punto de cierre.

- Las condiciones geológicas del cauce presentan arena y grava, con modificación importante ya que corresponde a un cauce trenzado, por lo tanto, tiene varios canales secundarios (brazos) que se comunican entre sí y que forman bancos (islas transitorias) entre ellos. Este tipo de ríos tienen un curso divagante; lo cual causa pérdida de material del talud por la acción dinámica del rio.

- La construcción de las obras contribuye a proteger la Ruta 65, ya que, en un evento de aguas máximas, estas no la afectan como en los últimos años ha ocurrido, ocasionando traumatismos a gran parte del departamento del Meta, Guaviare entre otros.

- El modelo hidráulico desarrollado en HEC-RAS 6.5 permitió determinar que la cota máxima del nivel de aguas para el periodo de retorno de 100 años alcanza un valor de 534.02 m, correspondiente al punto de mayor energía hidráulica dentro del tramo analizado. Este Nivel representa la condición de máxima avenida esperada bajo régimen natural y constituye el referente hidráulico principal para la definición de cotas de diseño, coronas de estructuras y obras de protección.
- La cota obtenida se encuentra dentro de los márgenes de estabilidad y capacidad de conducción del cauce, lo cual indica que, con la implementación del enrocado proyectado, no se presentan incrementos significativos en el tirante de flujo ni desbordamientos laterales en la zona de influencia, garantizando así un comportamiento estable y seguro ante eventos extraordinarios.

- El análisis hidráulico bajo condiciones actuales del río Guayuriba en el sector de la Vereda Brisas del Guayuriba del Municipio de Acacias, Meta, evidencia un patrón de flujo concentrado hacia la margen derecha, donde se presentan altas velocidades del orden de 5.0 a 13.4 m/s para el evento de diseño correspondiente a un periodo de retorno de 100 años. Este comportamiento está asociado a la constricción del cauce en la zona de estudio y a la configuración geométrica del talud natural, condiciones que generan procesos erosivos y de socavación que comprometen la estabilidad de la margen.

- Los resultados del modelo hidráulico desarrollado en HEC-RAS 6.5 muestran que, bajo el escenario actual, los esfuerzos cortantes máximos en el canal alcanzan valores cercanos a 65 N/m^2, superando los límites admisibles para materiales naturales de grano medio, lo que confirma la necesidad de implementar una obra de protección que reduzca la energía incidente y controle la erosión en el tramo adyacente al puente antiguo.

- La alternativa de solución seleccionada corresponde a la construcción de un enrocado de protección en la margen derecha, con una longitud total aproximada de 91, de los cuales en su totalidad se disponen en las coordenadas N: 2005685.14 E: 4914986.50 y la coordenada fin N:2005771.45 E: 4915013.37, aguas arriba del puente antiguo. El modelo hidráulico con la obra proyectada demuestra que el enrocado disipa parte significativa de la energía del flujo, reduciendo la velocidad promedio a valores del orden de 2.5 – 3.0 m/s sobre el talud protegido y limitando el esfuerzo cortante a niveles de estabilidad estructural para el material de revestimiento propuesto.

- La configuración propuesta permite mantener la capacidad de conducción del cauce (≈ 3 235 m^3/s) sin generar incrementos significativos en los niveles de la lámina de agua, garantizando un régimen hidráulico estable. El enrocado, diseñado co un coeficiente de rugosidad de Manning n n = 0.035, actúa como una barrera flexible y permeable, capaz de acomodarse a la dinámica fluvial y proteger la margen contra la socavación durante eventos extraordinarios.

- Se recomienda realizar la verificación estructural y geotécnica del pie del enrocado y del material de fundación, asegurando su anclaje y estabilidad ante condiciones de flujo extremo.

- La profundidad de socavación es de 2 mts, a partir del lecho fluval.

- Es conveniente implementar un sistema de filtros granulares o geotextiles para evitar pérdida de material fino detrás del revestimiento.

- Se sugiere el monitoreo postconstruccion del tramo, con especial atención a la evolución del cauce y posibles cambios en las condiciones hidráulicas locales.

- La obra propuesta es hidráulicamente eficiente y compatible con el comportamiento fluvial del río Guayuriba, constituyendo una solución técnica viable y sostenible para el control de erosión y la mitigación del riesgo de inundaciones que afectan a las viviendas ubicadas en el sector aledaño.

10. BIBLIOGRAFIA

- Campos, A. (1992). Procesos del Ciclo Hidrológico. México: Universidad Autónoma
- Chow, V. T. (1994). Hidrologia Aplicada. Bogota: McGraw-Hill.
- IGAC. (2004). Estudio Genral de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Meta. Bogota: IGAC.
- Navarrete. (2004).
- Rodríguez Diaz, H. A. (2013). DRENAJE URBANO ELEMENTOS DE DISEÑO, drenaje urbano no convencional. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenieria .
- TORRES, J.A.; ORDOÑEZ, J.I.; DUQUE, R. Análisis de incertidumbre del tiempo de concentración en la modelación de eventos de tormenta en la cuenca alta del Rio Magdalena. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. San José (Costa Rica). 2012.
- INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, Invias, Ministerio de Transporte. Manual de drenaje para carreteras. Bogotá. Invias. 2009.
- MOPU. Instrucción 5.2-IC Drenaje superficial, Madrid (España). Ministerio de Obras Públicas. Julio 1990.
- Melville Bruce M., Coleman Stephen E.. Bridge scour, Water Resources Publications, LLC. Colorado (USA), 2000.

Villavicencio, 27 de julio 2025

Señores

AGENCIA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL META-AIM
CALLE 15 No. 40 -01 – CC. PRIMAVERA URBANA
VILLAVICENCIO, META

REFERENCIA: CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE MITIGACIÓN EN SECTORES CRÍTICOS DEL RÍO GUAYURIBA, EN EL MUNICIPIO ACACIAS, META

ASUNTO: Memorial de responsabilidad del ESTUDIO HIDROLOGICO HIDRAULICO Y DE SOCAVACION

Cordial saludo,

Yo JUAN CARLOS RODRIGUEZ GUERRERO responsable del estudio Hidráulico identificado con cedula de ciudadanía No 80172465 de BOGOTA DC, en mi calidad de INGENIERO CIVIL especialista en AGUA Y SANEAMIENTO AMBIENTAL y matrícula profesional No. 2520216977 CND certifico que realicé el estudio hidrológico, Hidráulico y de socavación correspondiente al proyecto de la referencia bajo los parámetros técnicos exigido por la normatividad vigente y demás afines.

Declaro que asumo la responsabilidad del estudio hidrológico, Hidráulico y de socavación, además de exonerar de responsabilidad alguna a quien los ejecute siempre y cuando se ciña a lo especificado en planos y memorias por lo que no podrán ser modificados sin mi autorización. Se anexa para fines pertinentes la copia de la matrícula profesional y el certificado de vigencia de la misma.

Atentamente,

Juan C. Rodríguez

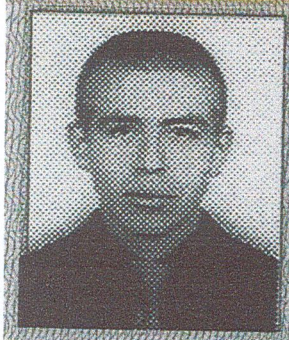
JUAN CARLOS RODRIGUEZ GUERRERO
INGENIERO CIVIL
ESP. EN AGUAS Y SANEAMIENTO AMBIENTAL
Matrícula profesional No.: 2520216977 CND

Calle 15 No. 40 -01 Lobby 1 - Piso 8
CC Primavera Urbana-Villavicencio
contactenos@aim-meta.gov.co
https://aim-meta.gov.co

REPUBLICA DE COLOMBIA

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERIA

COPNIA



MATRICULA PROFESIONAL No.

2520216977 1CND

INGENIERO CIVIL

DE FECHA 21/05/2009

JUAN CARLOS
RODRIGUEZ GUERRERO
C.C. 80172465
UNIVERSIDAD NACIONAL DE
COLOMBIA

PRESIDENTE DEL CONSEJO

REPÚBLICA DE COLOMBIA

COPNIA

Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2026-4842640

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL ENCARGADO

CERTIFICA:

1. Que JUAN CARLOS RODRIGUEZ GUERRERO, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 80172465, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 25202-169771 desde el 21 de Mayo de 2009, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 571.

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 veintinueve (29) días del mes de Octubre del año dos mil veintiseis (2026).

Luis Carlos Cabezas Pulecio

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.

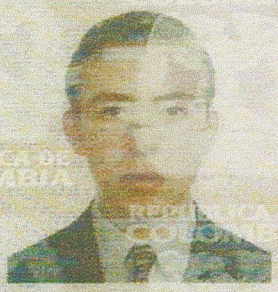
Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

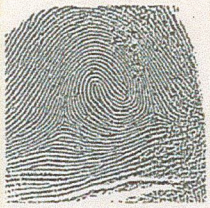
REPUBLICA DE COLOMBIA
IDENTIFICACION PERSONAL
CEDULA DE CIUDADANIA
80172465
NUMERO

RODRIGUEZ GUERRERO
APELLIDOS

JUAN CARLOS
NOMBRES

Juan C. Rodriguez.
FIRMA





INDICE DERECHO

FECHA DE NACIMIENTO 27-MAY-1981
BOGOTA D.C.
(CUNDINAMARCA)
LUGAR DE NACIMIENTO

1.70 ESTATURA
O+ G.S. RH
M SEXO

31-JUL-2000 BOGOTA D.C.
FECHA Y LUGAR DE EXPEDICION

REGISTRADOR NACIONAL
IVAN DUQUE ESCOBAR

P-1500110-43085324-M-0080172465-20010522 05681 01138A 01 093275663