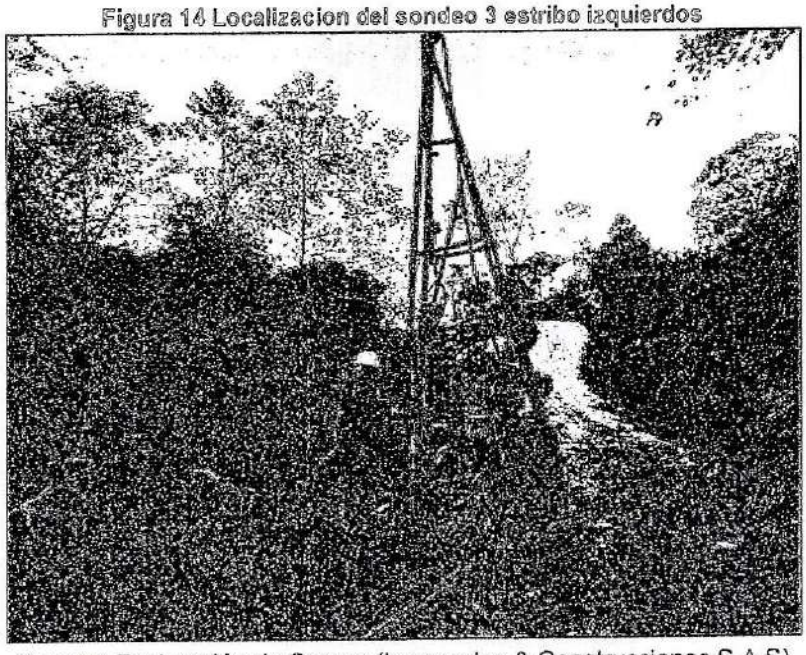
Figura 14 Localizacion del sondeo 3 estribo izquierdos



Fuente: Exploración de Campo (Ingesuelos & Construcciones S.A.S)

En el sondeo No. 3 localizado hacia la parte noroeste del puente, sobre sobre niveles de rellenos y suelo residual. En este sondeo se identificó un horizonte de Arenas arcillosas, mezclas de arena y limo (SC) de color café claro con un porcentaje de finos del 14.18% para los primeros 4.20 metros de profundidad. La capacidad de soporte del suelo mejoro en los 5.10 metros de profundidad. La profundidad de exploración alcanzó los 15.00 metros

402

6.3. CARACTERIZACIÓN GEOTECNICA

6.3.1. CRITERIOS UTILIZADOS

Para las investigaciones geotécnicas se utilizaron los criterios de geología y geotecnia, de acuerdo al estado del conocimiento de estas ciencias y a los lineamientos específicos por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

- Se analizó la información de los estudios geológicos y geotécnicos realizados anteriormente en el área, con el objeto de tener una información básica de las características geológicas y geotécnicas de toda el área en estudio.
- Se realizaron sondeos utilizando equipos de perforación a percusión y apiques y ensayos de laboratorio del material recuperado, para obtener las propiedades geotécnicas de los suelos.
- Se calcularon los parámetros requeridos para el diseño de cimentaciones del proyecto.

6.3.2. PERFIL ESTRATIGRÁFICO

Una vez terminada cada una de las perforaciones se procede a medir, dando como resultado que en el nivel de la tabla de agua establecido para este suelo no se encuentra nivel Freático. Ver Tabla 5, Perfiles Estratigráficos

Se realizó el monitoreo de los niveles freáticos en los sondeos durante el tiempo de realización del estudio, no se presentan nivel freático.

En conclusión, se considera que los trabajos de excavación proyectados no presentan infiltraciones por el agua del nivel freático.

Así mismo se destaca que este nivel corresponde a un valor puntual en tiempo y puede variar según las condiciones de lluvia y manejo de aguas subterráneas.

403

Tabla 5. Perfiles Estratigráficos

INGESUELOS & CONSTRUCCIONES

INGESUELOS&CONSTRUCCIONES SAS CARRERA 11 # 23 -12 SAN GIL - SANTANDER 3134624919 - 3118954637

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

ESTUDIO GEOTECNICO Y DE SUELOS MUNICIPIO DE ALBANIA - DEPARTAMENTO DE SANTANDER

CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

INGESUELOS-LAB 01

MUESTRA	1-2-3-4
SONDEO	1
PROF.	15,00 m
FECHA:	20/05/2021

H (m) DE	H (m) HASTA	ESTRATIFICACION	No. Muestra	Toma de Muestras 0 - 6"	6" - 8"	8 - 12"	N SPT	S.U.C.S	HUMEDAD NATURAL (%)	% PASA 200	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO	NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN
0,00	0,60		Se realizo excavación manual 0,60 metro para descartar la capa vegetal, material no consolidado y material de relleno												
0,60	1,05		1	3	3	3	6	GC	13,26%	23,62%	40,58%	24,26%	16,32%		Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla, color café claro con vetas amarillas, con humedad parcial de baja plasticidad y consistencia muy blanda, que clasifica en el sistema unificado como (GC).
1,05	1,50			4	4	5	9								
1,50	1,95			5	5	6	11								
1,95	2,40			6	7	7	14								
2,40	2,85			7	7	7	14								
2,85	3,30			8	8	8	16								
3,30	3,75			5	5	5	10								
3,75	4,20			5	7	7	14								
4,20	4,65		2	7	8	8	16	GC	13,52%	21,62%	40,59%	22,83%	17,76%		Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla, color café claro con vetas amarillas, con humedad parcial de baja plasticidad y consistencia muy blanda, que clasifica en el sistema unificado como (GC).
4,65	5,10			9	9	12	21								
5,10	5,55			12	12	12	24								
5,55	6,00			12	15	15	30								
6,00	6,45			9	9	9	18								
6,45	6,90			10	10	10	20								
6,90	7,35			11	11	12	23								
7,35	7,80			12	12	13	25								
7,80	8,25		3	13	11	11	22	SC	14,89%	19,07%	39,63%	26,41%	13,22%		Arenas arcillosas, mezclas de arena y limo, color café claro con vetas amarillas, con humedad parcial de baja plasticidad y consistencia muy blanda, que clasifica en el sistema unificado como (SC).
8,25	8,70			11	14	14	28								
8,70	9,15			14	14	15	29								
9,15	9,60			15	15	16	31								
9,60	10,05			16	17	17	34								
10,05	10,50			17	17	17	34								
10,50	10,95			18	18	18	36								
10,95	11,40			17	17	18	35								
11,40	11,85		4	19	19	19	38	GC	12,29%	24,89%	40,57%	24,14%	16,43%		Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla, color café claro con vetas amarillas, con humedad parcial de baja plasticidad y consistencia muy blanda, que clasifica en el sistema unificado como (GC).
11,85	12,30			20	20	20	40								
12,30	12,75			21	21	23	44								
12,75	13,20			23	24	24	48								
13,20	13,65			23	24	24	48								
13,65	14,10			23	24	23	47								
14,10	14,55			25	25	25	50								
14,55	15,00			26	27	26	53								

OBSERVACIONES:

Se evidencio que no hubo cambio de material en la perforacion y/o sondeo realizado. En todo caso primará el concepto del ingeniero geotecnista, quien definirá la exploración necesaria siguiendo los lineamientos ya señalados. No se encontro nivel freatico

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

INGESUELOS & CONSTRUCCIONES	INGESUELOS&CONSTRUCCIONES SAS CARRERA 11 # 23 -12 SAN GIL - SANTANDER 3134624919 - 3118954637	COLUMNA ESTRATIGRAFICA	INGESUELOS-LAB 01
		ESTUDIO GEOTECNICO Y DE SUELOS MUNICIPIO DE ALBANIA - DEPARTAMENTO DE SANTANDER	MUESTRA: 1-2-3-4
			SONDEO: 2
			PROF.: 15,00 m
		CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA	FECHA: 20/05/2021

H (m) DE	H (m) HASTA	ESTRATIFICACIÓN	No. Muestra	Toma de Muestras 0 - 6"	6" - 8"	8 - 12"	N SPT	S.U.C.S	HUMEDAD NATURAL (%)	% PASA 200	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO	NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN
0,00	0,60		Se realizo excavación manual 0,60 metro para descartar la capa vegetal, material no consolidado y material de relleno												
0,60	1,05		1	1	1	2									
1,05	1,50			1	2	2	4								
1,50	1,95			3	4	4	8								
1,95	2,40			5	5	5	10								
2,40	2,85			6	6	7	13	GC	12,58%	18,66%	30,71%	22,51%	8,20%		Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla, color café claro con vetas amarillas, con humedad parcial de baja plasticidad y consistencia muy blanda, que clasifica en el sistema unificado como (GC).
2,85	3,30			7	8	8	16								
3,30	3,75			9	9	9	18								
3,75	4,20			10	10	10	20								
4,20	4,65		2	11	11	11	22								
4,65	5,10			11	12	13	25								
5,10	5,55			13	13	13	26								
5,55	6,00			14	13	13	26	GC	12,23%	16,21%	31,31%	22,11%	9,20%		Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla, color café claro con vetas amarillas, con humedad parcial de baja plasticidad y consistencia muy blanda, que clasifica en el sistema unificado como (GC).
6,00	6,45			14	14	13	27								
6,45	6,90			14	14	15	29								
6,90	7,35			16	15	15	30								
7,35	7,80			17	15	15	30								
7,80	8,25		3	19	18	17	35								
8,25	8,70			17	16	19	35								
8,70	9,15			17	17	16	33								
9,15	9,60			18	18	19	37	GC	12,13%	14,12%	31,12%	22,28%	8,84%		Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla, color café claro con vetas amarillas, con humedad parcial de baja plasticidad y consistencia muy blanda, que clasifica en el sistema unificado como (GC).
9,60	10,05			16	17	19	36								
10,05	10,50			18	18	19	37								
10,50	10,95			20	21	21	42								
10,95	11,40			23	23	21	44								
11,40	11,85		4	22	21	21	42								
11,85	12,30			22	23	23	46								
12,30	12,75			23	24	24	48								
12,75	13,20			24	24	25	49	GP	12,81%	10,78%	31,16%	22,75%	8,41%		Gravas pobremente graduadas, mezclas de grava y arena, poco o ningún fino, color café claro con vetas amarillas, con humedad parcial de baja plasticidad y consistencia muy blanda, que clasifica en el sistema unificado como (GP).
13,20	13,65			26	27	27	54								
13,65	14,10			26	26	25	53								
14,10	14,55			25	25	25	50								
14,55	15,00			26	26	27	55								

OBSERVACIONES:

Se evidencio que no hubo cambio de material en la perforacion y/o sondeo realizado. En todo caso primará el concepto del ingeniero geotecnista, quien definirá la exploración necesaria siguiendo los lineamientos ya señalados. No se encontro nivel freatico

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

INGESUELOS & CONSTRUCCIONES

INGESUELOS&CONSTRUCCIONES SAS CARRERA 11 # 23 - 12 SAN GIL - SANTANDER 3134624919 - 3118954637

COLUMNA ESTRATIGRAFICA — INGESUELOS-LAB 01

ESTUDIO GEOTECNICO Y DE SUELOS MUNICIPIO DE ALBANIA - DEPARTAMENTO DE SANTANDER

CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

MUESTRA	1-2-3-4
SONDEO	3
PROF.	15,00 m
FECHA:	20/05/2021

H (m) DE	H (m) HASTA	ESTRATIFICACION	No. Muestra	Toma de Muestras 0 - 6"	6" - 8"	8 - 12"	N SPT	S.U.C.S	HUMEDAD NATURAL (%)	% PASA 200	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICO	NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN
0,00	0,60		Se realizo excavación manual 0,60 metro para descartar la capa vegetal, material no consolidado y material de relleno												
0,60	1,05		1	6	6	5	11	SC	12,58%	16,66%	30,71%	22,51%	8,20%		Arenas arcillosas, mezclas de arena y limo, color café claro con vetas amarillas, con humedad parcial de baja plasticidad y consistencia muy blanda, que clasifica en el sistema unificado como (SC).
1,05	1,50			5	5	5	10								
1,50	1,95			6	6	6	12								
1,95	2,40			7	7	7	14								
2,40	2,85			7	7	8	15								
2,85	3,30			8	8	8	16								
3,30	3,75			9	9	9	18								
3,75	4,20			5	5	5	10								
4,20	4,65		2	5	4	4	8	SC SM	12,23%	16,21%	31,31%	22,11%	9,20%		Arenas arcilloso - Limosas, mezclas de arena y limo, color café claro con vetas amarillas, con humedad parcial de baja plasticidad y consistencia muy blanda, que clasifica en el sistema unificado como (SC-SM).
4,65	5,10			4	13	13	26								
5,10	5,55			13	12	12	24								
5,55	6,00			13	13	13	26								
6,00	6,45			14	14	14	28								
6,45	6,90			14	14	15	29								
6,90	7,35			15	15	15	30								
7,35	7,80			16	16	16	32								
7,80	8,25		3	16	16	17	33	SM	12,13%	14,12%	31,12%	22,28%	8,84%		Arenas limosas, mezclas de arena y limo, color café claro con vetas amarillas, con humedad parcial de baja plasticidad y consistencia muy blanda, que clasifica en el sistema unificado como (SM).
8,25	8,70			18	18	18	36								
8,70	9,15			17	17	17	34								
9,15	9,60			18	18	18	36								
9,60	10,05			19	19	19	38								
10,05	10,50			19	17	17	34								
10,50	10,95			18	18	17	35								
10,95	11,40			17	17	17	34								
11,40	11,85		4	17	19	19	38	SC	12,81%	10,78%	31,16%	22,75%	8,41%		Arenas arcillosas, mezclas de arena y limo, color café claro con vetas amarillas, con humedad parcial de baja plasticidad y consistencia muy blanda, que clasifica en el sistema unificado como (SC).
11,85	12,30			19	20	20	40								
12,30	12,75			21	21	21	42								
12,75	13,20			22	21	19	40								
13,20	13,65			18	19	21	40								
13,65	14,10			21	21	22	43								
14,10	14,55			22	22	23	45								
14,55	15,00			22	22	23	45								

OBSERVACIONES:

Se evidencio que no hubo cambio de material en la perforacion y/o sondeo realizado. En todo caso primará el concepto del ingeniero geotecnista, quien definirá la exploración necesaria siguiendo los lineamientos ya señalados. No se encontro nivel freatico

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

6.3.3. RECOMENDACIONES PARA EL CONTROL DE FILTRACIONES EN EXCAVACIONES BAJO NIVEL FREÁTICO.

1. Si el nivel freático se encuentra por encima del fondo de la zanja, el nivel del agua debe reducirse por lo menos hasta el fondo de la misma, pero preferiblemente hasta 0,20 m por debajo de esta. Para esto pueden usarse diferentes técnicas dependiendo de la naturaleza del material.

2. Para suelos arenosos o limosos, se recomienda realizar un sistema de pozos de drenaje conectados a una tubería y una bomba, el espaciamiento de dichos pozos y la profundidad a la cual deben ser instalados dependen del nivel freático y la permeabilidad del suelo. Es importante usar un filtro alrededor de los puntos de succión en arena gruesa o grava para evitar atacar los pozos con material fino proveniente de la zanja.

3. Si el suelo está compuesto de arcilla o roca firma, se recomienda el uso de sumideros y bombas.

4. Si los filtros temporales en piedra, grava, cascajo, arena o tubería perforada se conectan al alcantarillado, tales conexiones deben taponarse una vez terminada obra con el fin de restablecer las condiciones iniciales del terreno.

5. Cuando el agua no puede mantenerse por debajo del fondo de la zanja se deben realizar subdrenes, cuya profundidad depende de la cantidad de agua en la zanja, con agregado de un solo tamaño (¾" (19 mm) – 1" (25 mm)) totalmente cubiertos en geotextil. Si aun así el agua no puede mantenerse por debajo del fondo de la zanja se debe usar un geotextil alrededor del lecho, y si es necesario en el área de la tubería, para evitar que se contamine con el material nativo. Se debe utilizar grava o piedra triturada para el lecho y el relleno.

6.3.4. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO.

Una vez descritas las muestras recuperadas en cada una de las perforaciones, se identificaron las muestras representativas y se realizaron ensayos de laboratorio de caracterización y resistencia.

Tabla 6. Ensayo de laboratorio y normas aplicadas

ENSAYO REALIZADOS	NORMA	N° ENSAYOS
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D422-63 –AASHTO T88 I.N.V.E 123	12
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) en suelo.	ASTM D2216 I.N.V.E. 122	12

Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	ASTM D4318-AASHTO T89-60 I.N.V.E 126	12
Peso unitario	ASTM D 100 I.N,V,E 128	12
Clasificación de suelos	ASTM D2487	12

Fuente: - Exploración en campo (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

Se evidencio que no hubo cambio de material en la perforación y/o sondeo realizado. En todo caso primará el concepto del ingeniero Geotecnista, quien definirá la exploración necesaria siguiendo los lineamientos ya señalados. No se encontró nivel freatico

Tabla 7. Resumen de ensayos de laboratorio Sondeo 1

Prof. (m)	W%	%Finos	%L.L.	%L.P.	% I.P.	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.	Tipo de suelo NSR-10
0,60 – 4.20	13.26	23.26	40.58	24.26	16.32	Grava Arcillosa Con Arena GC	Granular
4.20 – 7.80	13.52	21.62	40.59	22.83	17.75	Grava Arcillosa Con Arena GC	Granular
7.80 – 11.40	14.89	19.07	39.63	26.41	13.22	Arena Arcillosa Con Grava SC	Granular
11.40 – 14.40	12.29	24.89	40.57	24.14	16.42	Grava Arcillosa Con Arena GC	Granular

Fuente: - Exploración en campo (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

Tabla 8. Resumen de ensayos de laboratorio Sondeo 2

Prof. (m)	W%	%Finos	%L.L.	%L.P.	% I.P.	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.	Tipo de suelo NSR-10
0,60 – 4.20	12.58	18.66	30.71	22.51	8.24	Grava Arcillosa Con Arena GC	Granular
4.20 – 7.80	12.23	16.21	31.31	22.11	9.20	Grava Arcillosa Con Arena GC	Granular
7.80 – 11.40	12.13	14.12	31.12	22.28	8.83	Grava Arcillosa Con Arena GC	Granular
11.40 – 14.40	12.81	10.78	31.16	22.75	8.41	Grava Mal Graduada Con Arcilla Con Arena GP - GC	Granular

Fuente: - Exploración en campo (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

Tabla 9. Resumen de ensayos de laboratorio Sondeo 3

Prof. (m)	W%	%Finos	%L.L.	%L.P.	% I.P.	CLASIFICACIÓN S.U.C.S.	Tipo de suelo NSR-10
0,60 – 4.20	14.48	28.95	30.25	22.46	7.79	Arena Arcillosa Con Grava SC	Granular
4.20 – 7.80	12.08	26.79	29.81	22.65	7.16	Arena Arcillosa, Limosa Con Grava SC - SM	Granular
7.80 – 11.40	12.50	24.42	29.73	22.74	6.99	Arena Limosa Con Grava SM	Granular
11.40 – 14.40	12.96	22.08	29.66	21.56	8.10	Arena Arcillosa Con Grava SC	Granular

Fuente: - Exploración en campo (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

Convenciones:

W	= Humedad
% Finos	= Pasantes del tamiz ASTM 200
L.L.	= Límite Líquido
L.P.	= Límite Plástico
I.P.	= Índice Plástico
S.U.C.S.	= Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

Según las perforaciones, la descripción de las muestras obtenidas en los mismos y para efectos de diseño se definieron unos estratos como se menciona en las anteriores tablas.

SUELOS NO COHESIVOS O GRANULARES: Se consideran como suelos no cohesivos o granulares los que cumplen las siguientes condiciones, de acuerdo al Sistema de Clasificación Unificada de Suelos (SCUS), con algunas modificaciones:

(a) Todos los materiales clasificados como **GW, GP, GW-GM, GP-GM, GW-GC, GPGC, SW, SP, SW-SM, SP-SM, SW-SC, SP-SC.**

(b) Todos los materiales clasificados como **GM, GC, GM-GC, SM, SC, SM-SC**, en Los cuales 30% o menos del peso pase por tamiz No 200 y que tengan límite líquido wL ≤ 30% e índice plástico IP ≤ 10%.

H.2.5.2 - SUELOS COHESIVOS: Se consideran como suelos cohesivos todos aquellos que no cumplan con las condiciones de suelos no cohesivos o granulares

409

6.4. OBTENCIÓN DE PARÁMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA AL CORTE MEDIANTE ENSAYO DE SPT.

El ensayo de SPT consiste en hincar un toma-muestras en el terreno contando el número de golpes necesarios para hincar tramos de 6" (150 cm). La hinca se realiza mediante una masa de 140.0 lb (63.5Kg) que cae desde una altura de 30 pulgadas (76.0 cm) en una cabeza de golpeo o yunque, lo que corresponde a un trabajo técnico de 0.50 KJ por golpe.

El número de golpes requeridos para la penetración del muestreador de tres intervalos de 15.0 cm es registrado en los formatos de campo. El número de golpes requeridos para los dos últimos intervalos se suman para dar el número de penetración estándar a esa profundidad. A esta cifra se le llama generalmente el valor N (American Society for Testing and Materials 1997, designación D-1586).

Para casi todas estas variables hay factores de corrección a la energía teórica de referencia Er y el valor de N de campo debe corregirse.

Combinando la ecuación de Schmertmann, con un factor n de 1,25 para valores de NSPT bajos, con la regresión logarítmica obtenida para los valores NSPT superiores a 25 golpes, se obtiene una nueva ecuación se visualiza en la Fig.

$$\emptyset = 5.35 * \mathrm{LN}(\mathrm{Nspt}) + 14.44$$

Fuente: Obtención de parámetros geomecánicos a partir de ensayos a penetración dinámica continua en suelos mixtos cohesivos – granulares. Capítulo 2 – Página 9

Los valores de ángulo de rozamiento obtenidos por dicha ecuación son conservativos, con lo que dicha ecuación se situaría por el lado de la seguridad y se adaptaría mejor a suelos de carácter mixto, en los cuales el alto contenido en finos reduce sustancialmente el ángulo de rozamiento.

6.5. PARAMETROS DE SUELO

Se realiza el ajuste de los valores de Nspt obtenidos en campo debido al efecto de la energía incidente N 60.

El coeficiente de de correcion (CN) se determina mediante la expresion dada por liao y Whitman en 1986

$$\gamma_{SUM} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

Donde:

- ✓ γ_w *=Peso unitario del agua.(ton/m^3)*

el esfuerzo efectivo viene dado por:

$$\sigma' = \gamma_{SUM} * h$$

Factor de corrección CN:

$$C_N = \left[\frac{1}{\left(\frac{\sigma_e'}{p_a}\right)}\right]^{0.5}$$

6.5.1. PARÁMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA AL CORTE DE ARENAS Y ARCILLAS SEGÚN TERZAGHI Y PECK, BASADOS EN LOS ENSAYOS DE SPT.

ARENAS			
N	Compacidad (%)	Densidad	Angulo ϕ
0-4	Muy Floja	8 -15	< 30°
4-10	Suelta	15 35	30 ° - 35°
10-30	Media	35 – 65	35° - 40°
30-50	Densa	65 -85	40° - 45°
> 50	Muy Densa	85 - 100	< 45 °

Fuente: (Terzaghi y Peck)

ARCILLAS			
N	Consistencia	Qu (Kg/cm^2)	*Cu(Kg/cm^2)
< 2	Muy Blanda	< 0.25	0.125
2 -4	Blanda	0.25 – 0.5	0.125 – 0.25°
4 - 8	Media	0.5 -1.0	0.25 – 050
8 – 15	Firme	1.0 – 2.0	0.50 – 1.0
15 – 30	Muy Firme	2.0 – 4.0	1.0 – 2.0
> 30	Dura	> 4	> 2.0

Fuente: (Terzaghi y Peck)

411

OBTENCION DE PARÁMETROS GEOMECANICOS A PARTIR DEL SPT

Tabla 10. Obtención de Parámetros Geomecánicos Ncorregido

SONDEO 1									
PARAMETROS DE SUELO									
Profundidad		h(m)	Ysum	N SPT (Campo)	N 60	Esfuerzo efectivo (ton/m2)	CN* (L&W)	N1 60	φ**
0,60	1,05	0,83	2,36	6	4	2,48	2,01	7	25,02
1,05	1,50	1,28	2,36	9	5	3,54	1,68	9	26,24
1,50	1,95	1,73	2,36	11	7	4,60	1,47	10	26,61
1,95	2,40	2,18	2,36	14	8	5,66	1,33	11	27,35
2,40	2,85	2,63	2,36	14	8	6,73	1,22	10	26,89
2,85	3,30	3,08	2,36	16	10	7,79	1,13	11	27,21
3,30	3,75	3,53	2,36	10	6	8,85	1,06	6	24,35
3,75	4,20	3,98	2,36	14	8	9,91	1,00	8	25,85
4,20	4,65	4,43	2,16	16	10	10,04	1,00	10	26,53
4,65	5,10	4,88	2,16	21	13	11,02	0,95	12	27,74
5,10	5,55	5,33	2,16	24	14	11,99	0,91	13	28,22
5,55	6,00	5,78	2,16	30	18	12,96	0,88	16	29,21
6,00	6,45	6,23	2,16	18	11	13,93	0,85	9	26,28
6,45	6,90	6,68	2,16	20	12	14,90	0,82	10	26,67
6,90	7,35	7,13	2,16	23	14	15,88	0,79	11	27,25
7,35	7,80	7,58	2,16	25	15	16,85	0,77	12	27,53
7,80	8,25	8,03	1,74	22	13	14,36	0,83	11	27,28
8,25	8,70	8,48	1,74	28	17	15,14	0,81	14	28,43
8,70	9,15	8,93	1,74	29	17	15,92	0,79	14	28,48
9,15	9,60	9,38	1,74	31	19	16,70	0,77	14	28,71
9,60	10,05	9,83	1,74	34	20	17,49	0,76	15	29,08
10,05	10,50	10,28	1,74	34	20	18,27	0,74	15	28,96
10,50	10,95	10,73	1,74	36	22	19,05	0,72	16	29,15
10,95	11,40	11,18	1,74	35	21	19,84	0,71	15	28,90
11,40	11,85	11,63	2,10	38	23	24,89	0,63	14	28,73
11,85	12,30	12,08	2,10	40	24	25,83	0,62	15	28,90
12,30	12,75	12,53	2,10	44	26	26,78	0,61	16	29,32
12,75	13,20	12,98	2,10	48	29	27,72	0,60	17	29,69
13,20	13,65	13,43	2,10	48	29	28,67	0,59	17	29,60
13,65	14,10	13,88	2,10	47	28	29,61	0,58	16	29,40
14,10	14,55	14,33	2,10	50	30	30,56	0,57	17	29,65
14,55	15,00	14,78	2,10	53	32	31,50	0,56	18	29,85

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

SONDEO 2									
PARAMETROS DE SUELO									
Profundidad		h(m)	Ysum	N SPT (Campo)	N 60	Esfuerzo efectivo (ton/m2)	CN* (L&W)	N1 60	φ**
0,60	1,05	0,83	2,17	2	1	2,28	2,09	3	19,37
1,05	1,50	1,28	2,17	4	2	3,26	1,75	4	22,13
1,50	1,95	1,73	2,17	8	5	4,23	1,54	7	25,13
1,95	2,40	2,18	2,17	10	6	5,21	1,39	8	25,77
2,40	2,85	2,63	2,17	13	8	6,18	1,27	10	26,72
2,85	3,30	3,08	2,17	16	10	7,16	1,18	11	27,43
3,30	3,75	3,53	2,17	18	11	8,14	1,11	12	27,72
3,75	4,20	3,98	2,17	20	12	9,11	1,05	13	27,98
4,20	4,65	4,43	2,14	22	13	9,95	1,00	13	28,26
4,65	5,10	4,88	2,14	25	15	10,91	0,96	14	28,69
5,10	5,55	5,33	2,14	26	16	11,88	0,92	14	28,68
5,55	6,00	5,78	2,14	26	16	12,84	0,88	14	28,47
6,00	6,45	6,23	2,14	27	16	13,80	0,85	14	28,48
6,45	6,90	6,68	2,14	29	17	14,77	0,82	14	28,68
6,90	7,35	7,13	2,14	30	18	15,73	0,80	14	28,69
7,35	7,80	7,58	2,14	30	18	16,69	0,77	14	28,53
7,80	8,25	8,03	2,30	35	21	18,98	0,73	15	29,01
8,25	8,70	8,48	2,30	35	21	20,01	0,71	15	28,87
8,70	9,15	8,93	2,30	33	20	21,05	0,69	14	28,42
9,15	9,60	9,38	2,30	37	22	22,08	0,67	15	28,91
9,60	10,05	9,83	2,30	36	22	23,12	0,66	14	28,64
10,05	10,50	10,28	2,30	37	22	24,15	0,64	14	28,67
10,50	10,95	10,73	2,30	42	25	25,19	0,63	16	29,23
10,95	11,40	11,18	2,30	44	26	26,22	0,62	16	29,37
11,40	11,85	11,63	1,77	42	25	20,97	0,69	17	29,72
11,85	12,30	12,08	1,77	46	28	21,77	0,68	19	30,11
12,30	12,75	12,53	1,77	48	29	22,57	0,67	19	30,24
12,75	13,20	12,98	1,77	49	29	23,36	0,65	19	30,26
13,20	13,65	13,43	1,77	54	32	24,16	0,64	21	30,69
13,65	14,10	13,88	1,77	53	32	24,96	0,63	20	30,50
14,10	14,55	14,33	1,77	50	30	25,75	0,62	19	30,11
14,55	15,00	14,78	1,77	55	33	26,55	0,61	20	30,55

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

413

SONDEO 3									
PARAMETROS DE SUELO									
Profundidad		h(m)	Ysum	N SPT (Campo)	N 60	Esfuerzo efectivo (ton/m2)	CN* (L&W)	N1 60	φ**
0,60	1,05	0,83	1,74	11	7	1,83	2,34	15	29,08
1,05	1,50	1,28	1,74	10	6	2,61	1,96	12	27,62
1,50	1,95	1,73	1,74	12	7	3,39	1,72	12	27,89
1,95	2,40	2,18	1,74	14	8	4,18	1,55	13	28,16
2,40	2,85	2,63	1,74	15	9	4,96	1,42	13	28,07
2,85	3,30	3,08	1,74	16	10	5,74	1,32	13	28,02
3,30	3,75	3,53	1,74	18	11	6,53	1,24	13	28,31
3,75	4,20	3,98	1,74	10	6	7,31	1,17	7	24,86
4,20	4,65	4,43	1,85	8	5	8,60	1,08	5	23,23
4,65	5,10	4,88	1,85	26	16	9,44	1,03	16	29,29
5,10	5,55	5,33	1,85	24	14	10,27	0,99	14	28,64
5,55	6,00	5,78	1,85	26	16	11,10	0,95	15	28,86
6,00	6,45	6,23	1,85	28	17	11,93	0,92	15	29,06
6,45	6,90	6,68	1,85	29	17	12,77	0,89	15	29,07
6,90	7,35	7,13	1,85	30	18	13,60	0,86	15	29,08
7,35	7,80	7,58	1,85	32	19	14,43	0,83	16	29,27
7,80	8,25	8,03	1,73	33	20	14,27	0,84	17	29,46
8,25	8,70	8,48	1,73	36	22	15,05	0,82	18	29,79
8,70	9,15	8,93	1,73	34	20	15,83	0,79	16	29,34
9,15	9,60	9,38	1,73	36	22	16,61	0,78	17	29,52
9,60	10,05	9,83	1,73	38	23	17,39	0,76	17	29,69
10,05	10,50	10,28	1,73	34	20	18,17	0,74	15	28,98
10,50	10,95	10,73	1,73	35	21	18,94	0,73	15	29,02
10,95	11,40	11,18	1,73	34	20	19,72	0,71	15	28,76
11,40	11,85	11,63	1,75	38	23	20,74	0,69	16	29,22
11,85	12,30	12,08	1,75	40	24	21,53	0,68	16	29,39
12,30	12,75	12,53	1,75	42	25	22,31	0,67	17	29,56
12,75	13,20	12,98	1,75	40	24	23,10	0,66	16	29,20
13,20	13,65	13,43	1,75	40	24	23,89	0,65	16	29,11
13,65	14,10	13,88	1,75	43	26	24,68	0,64	16	29,41
14,10	14,55	14,33	1,75	45	27	25,46	0,63	17	29,57
14,55	15,00	14,78	1,75	45	27	26,25	0,62	17	29,46

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

7. ALTERNATIVAS DE CIMENTACION

7.1 CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE MEDIANTE METODOLOGÍA ECUACION GENERAL MODIFICADA PARA FALLA GENERAL.

La metodología de cálculo de la capacidad de carga admisible mediante metodología ecuación general modificada para falla general meyerhof (1963).

Meyerhof (1963)

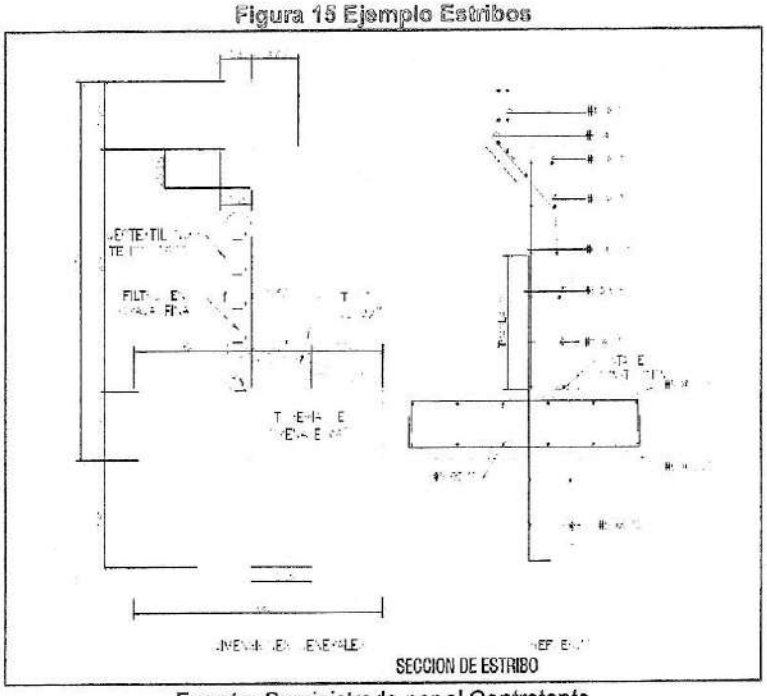
$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} y B N_y F_{ys} F_{yd} F_{yi}$$

c = Cohesión
q = Tensión efectiva en el nivel de la parte inferior de la base
$y.$ = Peso unitario del suelo
B: = Ancho de la cimentación (=diámetro para una base circular)
F_{cs}, F_{qs}, F_y = Factores de Forma
F_{cd}, F_{qd}, F_{yd} = Factores de Profunidad
F_{ci}, F_{qi}, F_{yi} = Factores de Inclinacion de Carga
N_c, N_q, N_y = Factores de Capacidad de Carga

Nota: Se toma como Q admisible el valor hallado mediante el método de SPT DE CAMPO por ser el más crítico

415

Figura 15 Ejemplo Estribos



Fuente: Suministrado por el Contratante

7.2. CAPACIDAD PORTANTE

Capacidad Portante Sondeo 1

DATOS DE ENTRADA

Cohesión	C_u	=	0	kg/cm²	=	0	kN/m²
Ángulo de Fricción	ϕ	=	25,85	°	=	0,38	rad
Peso Unitario Espe	γ	=	2,36	T/m³	=	23,15	kN/m³
Peso Unitario Espe	γ_{sat}	=	2,36	T/m³	=	23,15	kN/m³
Ángulo de Inclinac	β	=	0	°	=	0,0	rad
Nivel Freático	D_{NF}	=	0,00	m			
Nivel de Fundació	D_F	=	4,00	m			

FACTORES DE CARGA

Forma	N_c	=	16,38
Profundidad	N_q	=	7,47
Inclinación	N_γ	=	6,68

FACTORES DE SEGURIDAD

Básico Min.	FS_{BM}	=	1,20
Indirecto	FS_I	=	3,00

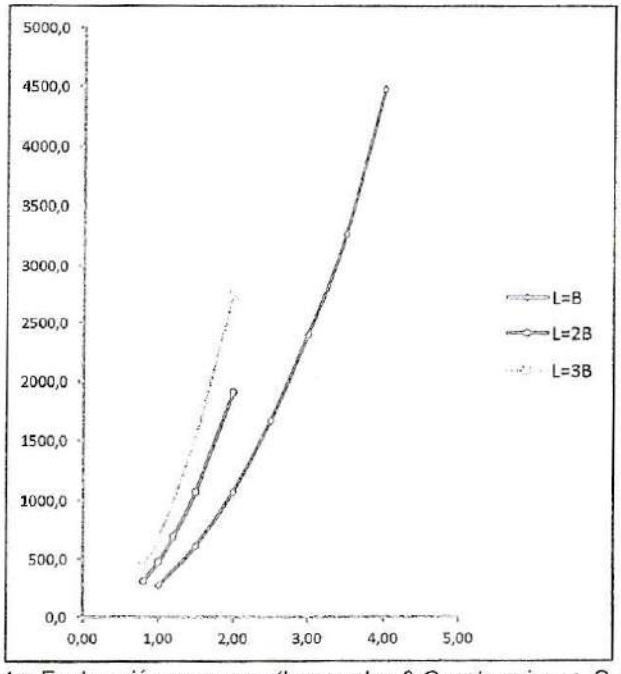
Zapatas independientes Cuadradas

B	L	B/L	Df/B	A	F_{cs}	F_{qs}	$F_{\gamma s}$	F_{cd}	F_{qd}	$F_{\gamma d}$	F_{ci}	F_{qi}	$F_{\gamma i}$	γ'	q	1	2	3	σ_u	σ_{adm}	σ_{adm}	F_s
m	m			m²	Factores de forma			Factores de profundidad			Factores de inclinación			kN/m³	kN/m²	kN/m²	kN/m²	kN/m²	kN/m²	kN/m²	T/m²	Ok!
1,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,46	1,39	0,60	1,53	1,42	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	788,74	26,75	815,5	271,8	27,7	2
1,50	1,50	1,00	2,67	2,25	1,46	1,39	0,60	1,48	1,38	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	768,74	40,13	808,9	269,6	27,5	6
2,00	2,00	1,00	2,00	4,00	1,46	1,39	0,60	1,44	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	750,32	53,51	803,8	267,9	27,3	10
2,50	2,50	1,00	1,60	6,25	1,46	1,39	0,60	1,40	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	733,63	66,89	800,5	266,8	27,2	16
3,00	3,00	1,00	1,33	9,00	1,46	1,39	0,60	1,37	1,29	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	718,71	80,26	799,0	266,3	27,1	23
3,50	3,50	1,00	1,14	12,25	1,46	1,39	0,60	1,34	1,27	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	705,48	93,64	799,1	266,4	27,2	32
4,00	4,00	1,00	1,00	16,00	1,46	1,39	0,60	1,40	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	731,49	107,02	838,5	279,5	28,5	43
4,50	4,50	1,00	0,89	20,25	1,46	1,39	0,60	1,36	1,28	2,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	711,96	240,79	952,8	317,6	32,4	64
5,00	5,00	1,00	0,80	25,00	1,46	1,39	0,60	1,32	1,25	1,50	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	696,34	200,66	897,0	299,0	30,5	70
5,50	5,50	1,00	0,73	30,25	1,46	1,39	0,60	1,29	1,23	1,58	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	683,57	232,99	916,6	305,5	31,1	94
6,00	6,00	1,00	0,67	36,00	1,46	1,39	0,60	1,27	1,21	1,67	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	672,92	267,55	940,5	313,5	32,0	113
6,50	6,50	1,00	0,62	42,25	1,46	1,39	0,60	1,25	1,19	1,75	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	663,90	304,33	968,2	322,7	32,9	132
7,00	7,00	1,00	0,57	49,00	1,46	1,39	0,60	1,23	1,18	1,83	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	656,18	343,35	999,5	333,2	34,0	154
7,50	7,50	1,00	0,53	56,25	1,46	1,39	0,60	1,21	1,17	1,92	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	649,49	384,60	1034,1	344,7	35,1	178
8,00	8,00	1,00	0,50	64,00	1,46	1,39	0,60	1,20	1,16	2,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	643,63	428,07	1071,7	357,2	36,4	204
8,50	8,50	1,00	0,47	72,25	1,46	1,39	0,60	1,19	1,15	2,08	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	638,46	473,78	1112,2	370,7	37,8	233
9,00	9,00	1,00	0,44	81,00	1,46	1,39	0,60	1,18	1,14	2,17	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	633,87	521,72	1155,6	385,2	39,3	265
9,50	9,50	1,00	0,42	90,25	1,46	1,39	0,60	1,17	1,13	2,25	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	629,76	571,88	1201,6	400,5	40,8	300
10,00	10,00	1,00	0,40	100,00	1,46	1,39	0,60	1,16	1,13	2,33	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	626,06	624,27	1250,3	416,8	42,5	337

417

Zapatas Independientes Rectangulares

0,80	1,60	0,50	5,00	1,28	1,23	1,20	0,80	1,55	1,43	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	684,30	28,54	712,8	237,6	24,2	3041,1
1,00	2,00	0,50	4,00	2,00	1,23	1,20	0,80	1,53	1,42	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	677,12	35,67	712,8	237,6	24,2	3075,2
1,20	2,40	0,50	3,33	2,88	1,23	1,20	0,80	1,51	1,40	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	670,11	42,81	712,9	237,6	24,2	3114,4
1,50	3,00	0,50	2,67	4,50	1,23	1,20	0,80	1,48	1,38	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	659,96	53,51	713,5	237,8	24,2	3178,2
2,00	4,00	0,50	2,00	8,00	1,23	1,20	0,80	1,44	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	644,14	71,35	715,5	238,5	24,3	3388,0
0,80	2,40	0,33	5,00	1,92	1,15	1,13	0,87	1,55	1,43	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	646,70	30,92	677,6	225,9	23,0	4331,7
1,00	3,00	0,33	4,00	3,00	1,15	1,13	0,87	1,53	1,42	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	639,92	38,65	678,6	226,2	23,1	4378,6
1,50	4,50	0,33	2,67	6,75	1,15	1,13	0,87	1,48	1,38	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	623,69	57,97	681,7	227,2	23,2	4526,7
2,00	6,00	0,33	2,00	12,00	1,15	1,13	0,87	1,44	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	608,74	77,29	686,0	228,7	23,3	4799,1
2,50	7,50	0,33	1,60	18,75	1,15	1,13	0,87	1,40	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	595,21	96,61	691,8	230,6	23,5	5128,9
3,00	9,00	0,33	1,33	27,00	1,15	1,13	0,87	1,37	1,29	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	583,10	115,94	699,0	233,0	23,8	5591,4
3,50	10,50	0,33	1,14	36,75	1,15	1,13	0,87	1,34	1,27	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	572,36	135,26	707,6	235,9	24,0	6183,4
4,00	12,00	0,33	1,00	48,00	1,15	1,13	0,87	1,40	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	593,47	154,58	748,1	249,4	25,4	11043,8
4,50	13,50	0,33	0,89	60,75	1,15	1,13	0,87	1,36	1,28	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	577,63	173,91	751,5	250,5	25,5	13288,5
5,00	15,00	0,33	0,80	75,00	1,15	1,13	0,87	1,32	1,25	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	564,96	193,23	758,2	252,7	25,8	15914,6
5,50	16,50	0,33	0,73	90,75	1,15	1,13	0,87	1,29	1,23	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	554,59	212,55	767,1	255,7	26,1	19095,9
6,00	18,00	0,33	0,67	108,00	1,15	1,13	0,87	1,27	1,21	1,00	1,00	1,00	1,00	13,34	53,37	0,00	545,95	231,87	777,8	259,3	26,4	22888,6



Fuente: Exploración en campo (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

Capacidad Portante Sondeo 2

DATOS DE ENTRADA

Cohesión	C_u	=	0	kg/cm²	=	0	kN/m²
Ángulo de Fricción	ϕ	=	27,98	°	=	0,41	rad
Peso Unitario Espe	γ	=	2,17	T/m³	=	21,29	kN/m³
Peso Unitario Espe	γ_{sat}	=	2,17	T/m³	=	21,29	kN/m³
Ángulo de Inclinac	β	=	0	°	=	0,0	rad
Nivel Freático	D_{NF}	=	0,00	m			
Nivel de Fundació	D_F	=	4,00	m			

FACTORES DE CARGA

Forma	N_c	=	18,44
Profundidad	N_q	=	8,95
Inclinación	N_γ	=	8,58

FACTORES DE SEGURIDAD

Básico Min.	FS_{BM}	=	1,20
Indirecto	FS_I	=	3,00

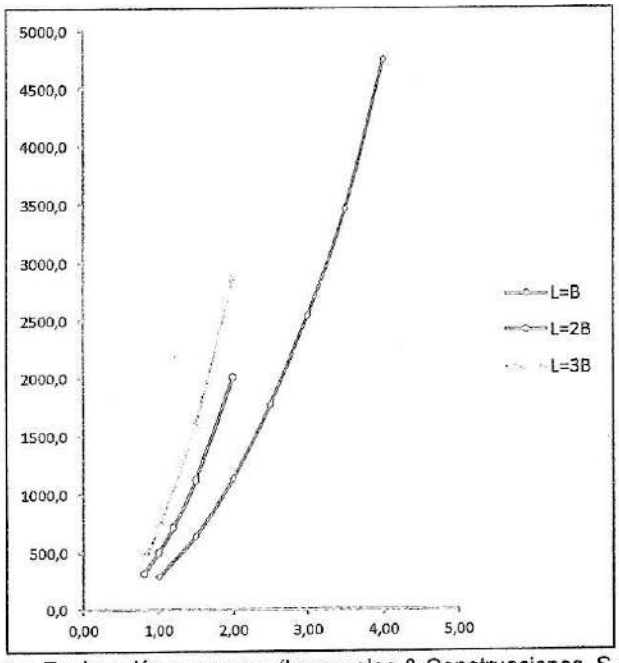
Zapatas independientes Cuadradas

B m	L m	B/L	Df/B	A m2	F_{cs}	F_{qs}	$F_{\gamma s}$	F_{cd}	F_{qd}	$F_{\gamma d}$	F_{ci}	F_{qi}	$F_{\gamma i}$	γ' kN/m³	q kN/m²	1 kN/m³	2 kN/m²	3 kN/m²	σ kN/	σ_{edm} kN/m²	σ_{adm} T/m²	F_s
1,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,49	1,43	0,60	1,53	1,42	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	833,12	29,53	862	287,6	29,3	
1,50	1,50	1,00	2,67	2,25	1,49	1,43	0,60	1,48	1,38	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	812,07	44,29	856	285,5	29,1	
2,00	2,00	1,00	2,00	4,00	1,49	1,43	0,60	1,44	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	792,67	59,05	851	283,9	28,9	
2,50	2,50	1,00	1,60	6,25	1,49	1,43	0,60	1,40	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	775,11	73,82	848	283,0	28,8	
3,00	3,00	1,00	1,33	9,00	1,49	1,43	0,60	1,37	1,29	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	759,40	88,58	848	282,7	28,8	
3,50	3,50	1,00	1,14	12,25	1,49	1,43	0,60	1,34	1,27	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	745,47	103,35	848	282,9	28,8	
4,00	4,00	1,00	1,00	16,00	1,49	1,43	0,60	1,40	1,31	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	772,85	118,11	891	297,0	30,3	
4,50	4,50	1,00	0,89	20,25	1,49	1,43	0,60	1,36	1,28	2,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	752,30	265,75	1018	339,3	34,6	
5,00	5,00	1,00	0,80	25,00	1,49	1,43	0,60	1,32	1,25	1,50	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	735,85	221,46	957	319,1	32,5	
5,50	5,50	1,00	0,73	30,25	1,49	1,43	0,60	1,29	1,23	1,58	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	722,40	257,14	979	326,5	33,3	
6,00	6,00	1,00	0,67	36,00	1,49	1,43	0,60	1,27	1,21	1,67	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	711,19	295,27	1006	335,5	34,2	
6,50	6,50	1,00	0,62	42,25	1,49	1,43	0,60	1,25	1,19	1,75	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	701,70	335,87	1037	345,9	35,3	
7,00	7,00	1,00	0,57	49,00	1,49	1,43	0,60	1,23	1,18	1,83	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	693,57	378,94	1072	357,5	36,4	
7,50	7,50	1,00	0,53	56,25	1,49	1,43	0,60	1,21	1,17	1,92	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	686,52	424,46	1110	370,3	37,7	
8,00	8,00	1,00	0,50	64,00	1,49	1,43	0,60	1,20	1,16	2,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	680,36	472,44	1153	384,3	39,2	
8,50	8,50	1,00	0,47	72,25	1,49	1,43	0,60	1,19	1,15	2,08	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	674,92	522,88	1198	399,3	40,7	
9,00	9,00	1,00	0,44	81,00	1,49	1,43	0,60	1,18	1,14	2,17	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	670,08	575,79	1246	415,3	42,3	
9,50	9,50	1,00	0,42	90,25	1,49	1,43	0,60	1,17	1,13	2,25	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	665,75	631,15	1297	432,3	44,1	
10,00	10,00	1,00	0,40	100,00	1,49	1,43	0,60	1,16	1,13	2,33	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	661,86	688,97	1350	450,3	45,9	

419

Zapatas Independientes Rectangulares

0,80	1,60	0,50	5,00	1,28	1,24	1,22	0,80	1,55	1,43	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	715,13	31,50	746,6	248,9	25,4	[illegible]
1,00	2,00	0,50	4,00	2,00	1,24	1,22	0,80	1,53	1,42	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	707,66	39,37	747,0	249,0	25,4	[illegible]
1,20	2,40	0,50	3,33	2,88	1,24	1,22	0,80	1,51	1,40	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	700,36	47,24	747,6	249,2	25,4	[illegible]
1,50	3,00	0,50	2,67	4,50	1,24	1,22	0,80	1,48	1,38	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	689,78	59,05	748,8	249,6	25,4	[illegible]
2,00	4,00	0,50	2,00	8,00	1,24	1,22	0,80	1,44	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	673,30	78,74	752,0	250,7	25,6	[illegible]
0,80	2,40	0,33	5,00	1,92	1,16	1,14	0,87	1,55	1,43	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	672,87	34,12	707,0	235,7	24,0	[illegible]
1,00	3,00	0,33	4,00	3,00	1,16	1,14	0,87	1,53	1,42	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	665,84	42,65	708,5	236,2	24,1	[illegible]
1,50	4,50	0,33	2,67	6,75	1,16	1,14	0,87	1,48	1,38	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	649,01	63,98	713,0	237,7	24,2	[illegible]
2,00	6,00	0,33	2,00	12,00	1,16	1,14	0,87	1,44	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	633,51	85,30	718,8	239,6	24,4	[illegible]
2,50	7,50	0,33	1,60	18,75	1,16	1,14	0,87	1,40	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	619,47	106,63	726,1	242,0	24,7	[illegible]
3,00	9,00	0,33	1,33	27,00	1,16	1,14	0,87	1,37	1,29	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	606,92	127,95	734,9	245,0	25,0	[illegible]
3,50	10,50	0,33	1,14	36,75	1,16	1,14	0,87	1,34	1,27	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	595,78	149,28	745,1	248,4	25,3	[illegible]
4,00	12,00	0,33	1,00	48,00	1,16	1,14	0,87	1,40	1,31	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	617,67	170,60	788,3	262,8	26,8	[illegible]
4,50	13,50	0,33	0,89	60,75	1,16	1,14	0,87	1,36	1,28	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	601,24	191,93	793,2	264,4	27,0	[illegible]
5,00	15,00	0,33	0,80	75,00	1,16	1,14	0,87	1,32	1,25	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	588,10	213,25	801,4	267,1	27,2	[illegible]
5,50	16,50	0,33	0,73	90,75	1,16	1,14	0,87	1,29	1,23	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	577,35	234,58	811,9	270,6	27,6	[illegible]
6,00	18,00	0,33	0,67	108,00	1,16	1,14	0,87	1,27	1,21	1,00	1,00	1,00	1,00	11,48	45,91	0,00	568,39	255,90	824,3	274,8	28,0	[illegible]



Fuente: Exploración en campo (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

Capacidad Portante Sondeo 3

DATOS DE ENTRADA

Cohesión	C_u	=	0	kg/cm²	=	0	kN/m²
Ángulo de Fricción	ϕ	=	24,86	°	=	0,36	rad
Peso Unitario Espe	γ	=	1,74	T/m³	=	17,07	kN/m³
Peso Unitario Espe	γ_{sat}	=	1,74	T/m³	=	17,07	kN/m³
Ángulo de Inclinac	β	=	0	°	=	0,0	rad
Nivel Freático	D_{NF}	=	0,00	m			
Nivel de Fundación	D_F	=	4,00	m			

FACTORES DE CARGA

Forma	N_c	=	15,53
Profundidad	N_q	=	6,87
Inclinación	N_γ	=	5,96

FACTORES DE SEGURIDAD

Básico Mín.	FS_{BM}	=	1,20
Indirecto	FS_I	=	3,00

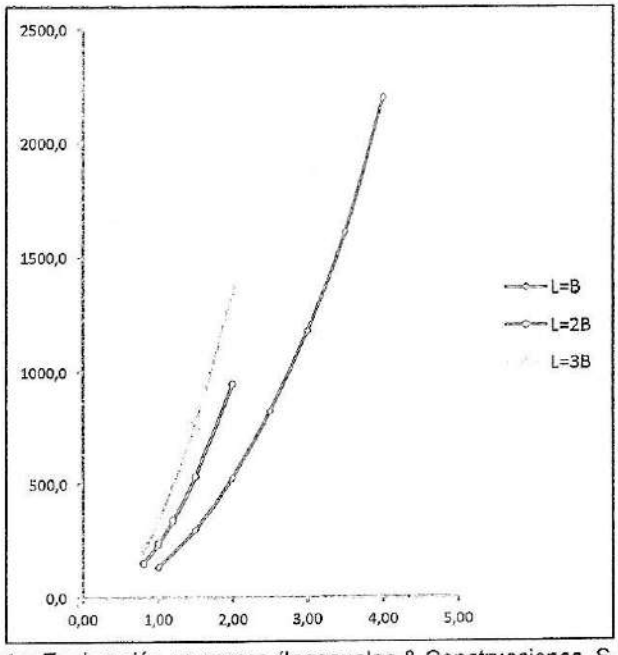
Zapatas independientes Cuadradas

B	L	B/L	Df/B	A	F_{cs}	F_{qs}	$F_{\gamma s}$	F_{cd}	F_{qd}	$F_{\gamma d}$	F_{ci}	F_{qi}	$F_{\gamma i}$	γ'	q	1	2	3	σ_u	σ_{adm}	σ_{adm}	θ_z
m	m			m²	FACTORES DE FORMA			FACTORES DE PROFUNDIDAD			FACTORES DE INCLINACIÓN			kN/m³	kN/m²	kN/m²	kN/m²	kN/m²	kN/m	kN/m²	T/m²	°
1,00	1,00	1,00	4,00	1,00	1,44	1,38	0,60	1,53	1,42	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	390,25	12,97	403,	134,4	13,7	
1,50	1,50	1,00	2,67	2,25	1,44	1,38	0,60	1,48	1,38	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	380,37	19,45	399,	133,3	13,6	
2,00	2,00	1,00	2,00	4,00	1,44	1,38	0,60	1,44	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	371,25	25,94	397,	132,4	13,5	
2,50	2,50	1,00	1,60	6,25	1,44	1,38	0,60	1,40	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	363,00	32,42	395,	131,8	13,4	
3,00	3,00	1,00	1,33	9,00	1,44	1,38	0,60	1,37	1,29	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	355,63	38,91	394,	131,5	13,4	
3,50	3,50	1,00	1,14	12,25	1,44	1,38	0,60	1,34	1,27	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	349,08	45,39	394,	131,5	13,4	
4,00	4,00	1,00	1,00	16,00	1,44	1,38	0,60	1,40	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	361,94	51,88	413,	137,9	14,1	
4,50	4,50	1,00	0,89	20,25	1,44	1,38	0,60	1,36	1,28	2,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	352,29	116,72	469,	156,3	15,9	
5,00	5,00	1,00	0,80	25,00	1,44	1,38	0,60	1,32	1,25	1,50	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	344,57	97,27	441,	147,3	15,0	
5,50	5,50	1,00	0,73	30,25	1,44	1,38	0,60	1,29	1,23	1,58	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	338,25	112,94	451,	150,4	15,3	
6,00	6,00	1,00	0,67	36,00	1,44	1,38	0,60	1,27	1,21	1,67	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	332,98	129,69	462,	154,2	15,7	
6,50	6,50	1,00	0,62	42,25	1,44	1,38	0,60	1,25	1,19	1,75	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	328,52	147,52	476,	158,7	16,2	
7,00	7,00	1,00	0,57	49,00	1,44	1,38	0,60	1,23	1,18	1,83	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	324,71	166,44	491,	163,7	16,7	
7,50	7,50	1,00	0,53	56,25	1,44	1,38	0,60	1,21	1,17	1,92	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	321,39	186,43	507,	169,3	17,3	
8,00	8,00	1,00	0,50	64,00	1,44	1,38	0,60	1,20	1,16	2,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	318,50	207,51	526,	175,3	17,9	
8,50	8,50	1,00	0,47	72,25	1,44	1,38	0,60	1,19	1,15	2,08	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	315,94	229,66	545,	181,9	18,5	
9,00	9,00	1,00	0,44	81,00	1,44	1,38	0,60	1,18	1,14	2,17	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	313,67	252,90	566,	188,9	19,3	
9,50	9,50	1,00	0,42	90,25	1,44	1,38	0,60	1,17	1,13	2,25	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	311,64	277,22	588,	196,3	20,0	
10,00	10,00	1,00	0,40	100,00	1,44	1,38	0,60	1,16	1,13	2,33	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	309,81	302,61	612,	204,1	20,8	

421

Zapatas Independientes Rectangulares

0,80	1,60	0,50	5,00	1,28	1,22	1,19	0,80	1,55	1,43	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	340,28	13,83	354,1	118,0	12,0	354,1
1,00	2,00	0,50	4,00	2,00	1,22	1,19	0,80	1,53	1,42	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	336,71	17,29	354,0	118,0	12,0	354,0
1,20	2,40	0,50	3,33	2,88	1,22	1,19	0,80	1,51	1,40	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	333,22	20,75	354,0	118,0	12,0	354,0
1,50	3,00	0,50	2,67	4,50	1,22	1,19	0,80	1,48	1,38	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	328,18	25,94	354,1	118,0	12,0	354,1
2,00	4,00	0,50	2,00	8,00	1,22	1,19	0,80	1,44	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	320,32	34,58	354,9	118,3	12,1	354,9
0,80	2,40	0,33	5,00	1,92	1,15	1,13	0,87	1,55	1,43	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	322,24	14,99	337,2	112,4	11,5	337,2
1,00	3,00	0,33	4,00	3,00	1,15	1,13	0,87	1,53	1,42	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	318,86	18,73	337,6	112,5	11,5	337,6
1,50	4,50	0,33	2,67	6,75	1,15	1,13	0,87	1,48	1,38	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	310,78	28,10	338,9	113,0	11,5	762,5
2,00	6,00	0,33	2,00	12,00	1,15	1,13	0,87	1,44	1,35	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	303,34	37,47	340,8	113,6	11,6	1363,2
2,50	7,50	0,33	1,60	18,75	1,15	1,13	0,87	1,40	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	296,59	46,83	343,4	114,5	11,7	2146,4
3,00	9,00	0,33	1,33	27,00	1,15	1,13	0,87	1,37	1,29	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	290,57	56,20	346,8	115,6	11,8	3028,9
3,50	10,50	0,33	1,14	36,75	1,15	1,13	0,87	1,34	1,27	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	285,22	65,57	350,8	116,9	11,9	4297,1
4,00	12,00	0,33	1,00	48,00	1,15	1,13	0,87	1,40	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	295,73	74,93	370,7	123,6	12,6	5930,6
4,50	13,50	0,33	0,89	60,75	1,15	1,13	0,87	1,36	1,28	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	287,84	84,30	372,1	124,0	12,6	7538,8
5,00	15,00	0,33	0,80	75,00	1,15	1,13	0,87	1,32	1,25	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	281,53	93,67	375,2	125,1	12,7	9378,9
5,50	16,50	0,33	0,73	90,75	1,15	1,13	0,87	1,29	1,23	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	276,37	103,03	379,4	126,5	12,9	11496,3
6,00	18,00	0,33	0,67	108,00	1,15	1,13	0,87	1,27	1,21	1,00	1,00	1,00	1,00	7,26	29,04	0,00	272,06	112,40	384,5	128,2	13,1	13840,7



Fuente: Exploración en campo (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

7.2.1 CIMENTACIÓN MEDIANTE ESTRIBOS

Los estribos son un tipo particular de muros de contención que sirven de apoyo a la superestructura del puente. El estribo debe ser capaz de mantener el cauce estable y la vez contener el terraplén.

7.3. COEFICIENTE DE PRESION LATERAL

Los suelos del sector presentan valores de penetración estándar constantes. Por esa razón, se recomienda la adopción de coeficientes de presión.

Los coeficientes de presión se determinan mediante las expresiones:

$$K_o = 1 - Sen\emptyset \quad K_a = \frac{1 - Sen\emptyset}{1 + Sen\emptyset} \quad K_p = \frac{1 + Sen\emptyset}{1 - Sen\emptyset}$$

Con lo cual se obtienen:

Sondeo 1		
Profundidad 4,00 M		
Ø'	fi	25,85
OUTPUTS		
Coulomb	Ka=	0,393
	Kp=	3,271
Rankine	Ka=	0,393
	Kp=	2,546
Reposo	K_o=	0,5640

Sondeo 2		
Profundidad 4,00 M		
Ø'	fi	27,98
OUTPUTS		
Coulomb	Ka=	0,393
	Kp=	3,271
Rankine	Ka=	0,361
	Kp=	2,768
Reposo	K_o=	0,5308

Sondeo 3		
Profundidad 4,00 M		
Ø'	fi	24,86
OUTPUTS		
Coulomb	Ka=	0,393
	Kp=	3,271
Rankine	Ka=	0,408
	Kp=	2,451
Reposo	K_o=	0,5796

8. CONDICIONES GEOTÉCNICAS ESPECIALES

8.1. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE EXPANSIÓN

Como característica especial, todas las arcillas tienen, de una forma u otra, la propiedad de contraerse cuando pierden humedad y de expandirse cuando la ganan de nuevo según las condiciones ambientales. Como minerales activos se reconocen la montmorillonita, la vermiculita y algunas variedades de haloisita; la particularidad de estos radica en que tienen la propiedad de "absorber" moléculas de agua dentro de su propia estructura molecular. Debido a la composición limosa y arcillosa de los materiales en el predio se evalúa el potencial de expansividad del suelo siguiendo los lineamientos del numeral h.9.1 suelos expansivos de la norma NSR - 10. En la tabla 11 contenido se presentan los criterios de valoración del potencial de expansión, a partir de los resultados obtenidos del laboratorio.

Tabla 11. Clasificación de suelos expansivos

Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidómetro bajo presión vertical de 0.07 kgf/cm²	Límite líquido LL, en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad, IP, en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (μ)	Expansión libre EL, en (%), medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20 - 30	50 - 63	8 - 12	23 - 45	18 - 37	> 100
Medio	10 - 20	39 - 50	8 - 18	12 - 34	12 - 27	50 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

Nota: *los valores consignados a continuación, son los promedios de los resultados de laboratorio que se le realizo a cada una de las muestras extraídas en la ejecución de cada sondeo*

En los ensayos de laboratorio realizados a las muestras extraídas del sondeo # 1:

- De 0.60 – 4-20, se encontró que los suelos presentan límite líquido (40.58%) y límite de contracción (7.66%) e índice de plasticidad (16.32%). Se puede esperar una significativa actividad de expansión - contracción y por lo tanto presenta una compresibilidad **Medio.**

- De 4.20 – 7.80, se encontró que los suelos presentan límite líquido (40.59%) y límite de contracción (8.34%) e índice de plasticidad (17.75%). Se puede esperar una significativa actividad de expansión - contracción y por lo tanto presenta una compresibilidad **Medio.**

- De 7.80 – 11.40 se encontró que los suelos presentan límite líquido (39.63%) y límite de contracción (8.34%) e índice de plasticidad (13.22%). Se puede esperar

una significativa actividad de expansión - contracción y por lo tanto presenta una compresibilidad **Medio.**

- De 11.40 – 15.00, se encontró que los suelos presentan límite líquido (40.57%) y límite de contracción (7.17%) e índice de plasticidad (16.42%). Se puede esperar una significativa actividad de expansión - contracción y por lo tanto presenta una compresibilidad **Medio.**

En los ensayos de laboratorio realizados a las muestras extraídas del sondeo # 2:

- De 0.60 – 4-20, se encontró que los suelos presentan límite líquido (30.71%) y límite de contracción (7.66%) e índice de plasticidad (8.24%). Se puede esperar una significativa actividad de expansión - contracción y por lo tanto presenta una compresibilidad **Bajo.**

- De 4.20 – 7.80, se encontró que los suelos presentan límite líquido (31.31%) y límite de contracción (4.32%) e índice de plasticidad (9.20%). Se puede esperar una significativa actividad de expansión - contracción y por lo tanto presenta una compresibilidad **Bajo.**

- De 7.80 – 11.40 se encontró que los suelos presentan límite líquido (31.12%) y límite de contracción (4.15%) e índice de plasticidad (8.83%). Se puede esperar una significativa actividad de expansión - contracción y por lo tanto presenta una compresibilidad **Bajo.**

- De 11.40 – 15.00, se encontró que los suelos presentan límite líquido (31.16%) y límite de contracción (3.95%) e índice de plasticidad (8.41%). Se puede esperar una significativa actividad de expansión - contracción y por lo tanto presenta una compresibilidad **Bajo.**

En los ensayos de laboratorio realizados a las muestras extraídas del sondeo # 3:

- De 0.60 – 4-20, se encontró que los suelos presentan límite líquido (30.25%) y límite de contracción (3.66%) e índice de plasticidad (7.79%). Se puede esperar una significativa actividad de expansión - contracción y por lo tanto presenta una compresibilidad **Bajo.**

- De 4.20 – 7.80, se encontró que los suelos presentan límite líquido (29.81%) y límite de contracción (3.36%) e índice de plasticidad (7.16%). Se puede esperar una significativa actividad de expansión - contracción y por lo tanto presenta una compresibilidad **Bajo.**

- De 7.80 – 11.40 se encontró que los suelos presentan límite líquido (29.73%) y límite de contracción (3.28%) e índice de plasticidad (6.99%). Se puede esperar

una significativa actividad de expansión - contracción y por lo tanto presenta una compresibilidad **Bajo**.

- De 11.40 – 15.00, se encontró que los suelos presentan límite líquido (29.66%) y límite de contracción (3.80%) e índice de plasticidad (8.10%). Se puede esperar una significativa actividad de expansión - contracción y por lo tanto presenta una compresibilidad **Medio**.

8.2. MEDIDAS PREVENTIVAS

Con el fin de alterar lo menos posible el equilibrio dinámico del subsuelo y reducir Los potenciales cambios de humedad/succión, y por tanto las expansiones/contracciones del subsuelo las siguientes acciones preventivas son útiles:

- Cubrir el terreno sobre el cual se proyectan las edificaciones con membranas impermeables que impidan la filtración de agua hacia el suelo expansivo.
- **Barreras de humedad:** Colocadas perimetralmente a la estructura pueden coadyuvar al equilibrio; debe evitarse, sin embargo, que se establezcan canales de humedecimiento como fenómenos termo osmóticos que hagan inútil la precaución.
- **Drenaje de las aguas de escorrentía:** Debe proveerse un adecuado drenaje alrededor de las estructuras por medio de pendientados perimetrales (2-10%), cunetas revestidas, áreas pavimentadas y canalizaciones de las aguas lluvias.
- **Subdrenajes:** Para interceptar los flujos de aguas subterráneas, así como para disipar las presiones artesianas de los paleocauces existentes.
- **Alcantarillados y rellenos:** Los alcantarillados en suelos expansivos, deben ser estancos; así mismo los rellenos deben hacerse con materiales inertes de baja permeabilidad y compactados según la especificación compatible.
- **Paisajismo e irrigación:** Separar convenientemente las actividades de paisajismo, relacionadas con irrigación de plantas y jardines, de las estructuras adyacentes.

8.3. ALTERACIÓN DEL SUELO EXPANSIVO

Puede lograrse por cualquiera de los siguientes métodos:

- **Reemplazo:** Consiste en la excavación y el reemplazo de la capa expansiva, cuando su espesor y profundidad no lo hacen prohibitivamente costoso.

- **Tratamiento con cal:** La mezcla superficial de cal con el suelo potencialmente expansivo o su inyección a presión es benéfica, según el estado del suelo (agrietado o no) y el método de aplicación (inyección a presión o mezcla mecánica). Se debe disponer del equipo adecuado para pulverizar el suelo en el sitio del tratamiento, o para realizar inyecciones a presión.

- **Pre humedecimiento:** El pre humedecimiento supone la expansión previa a la colocación de la estructura y el mantenimiento de esa humedad bajo una placa o un recubrimiento impermeable. Se debe tener presente que generalmente se requiere mucho tiempo para lograr que el agua penetre en la zona activa. Adicionalmente, la pérdida de capacidad de soporte dificulta las operaciones de construcción.

8.4. ELUSIÓN DE LOS SUELOS EXPANSIVOS

Se puede intentar por los siguientes procedimientos:

- **Profundizar los cimientos:** Hasta pasar, al menos parcialmente, la profundidad de la zona crítica donde la expansión es más severa.

- **Pilotes pres excavados:** A la profundidad necesaria para desarrollar la carga; puede completarse con el aislamiento del fuste del pilote en la zona activa. También puede considerarse el uso de micro pilotes para reducir la fricción del fuste en la zona activa

- **Placas aéreas:** Para evitar el contacto de los pisos con el suelo potencialmente expansivo y mantener el gradiente térmico existente en el subsuelo.

8.5. MITIGACIÓN DE TIPO ESTRUCTURAL

Este tipo de solución se logra por los siguientes caminos mutuamente excluyentes:

- **Cimentación rígida:** Rigidización de los elementos de la cimentación de manera que la estructura se mueva como un todo. Está acompañada a menudo de concentración de la carga en ciertos puntos y liberación en otros, para permitir el alivio de las presiones de expansión bajo losas huecas, tipo artesonado. Los métodos convencionales de diseño de estas losas consideran las condiciones del clima, los parámetros del suelo (expansión, distancia de variación de la humedad, y rigidez), las condiciones de carga de la estructura, y las dimensiones

y rigidez de la losa. También se han desarrollo modelos numéricos de interacción suelo-estructura. La estructura debe diseñarse en consecuencia.

- **Construcción flexible:** Que permita el movimiento sin daño de ciertos elementos de la estructura. Los elementos no estructurales deben estar concebidos para acomodarse a estos ajustes

8.6. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE LICUACIÓN

Criterios históricos. Basado en observaciones de predios vecinos donde se realiza el proyecto no se evidencian edificaciones con problemas presentados por suelos licuables en el pasado.

Criterios geológicos. De acuerdo con la estratigrafía, una sucesión de shales negros, ligeramente calcáreos y micáceos, con concreciones de calizas hasta de 30 cm de diámetro, que afloran en la quebrada La Paja, afluente del río Sogamoso, entre Bucaramanga y San Vicente. La Formación Paja, aflora en la zona estudiada (planchas 170 y 190) en un área de 850 Km , concordantemente a la Formación Bitoque en el lado oriental de la plancha 170 y de igual manera sobre la Formación Rosa-blanca en la región occidental (Anticlinal de Portones). La unidad se caracteriza por una morfología suavemente ondulada, debido a su carácter predominantemente arcilloso. Sus numerosos repliegues, impidieron el levantamiento detallado de su litología, y por tal razón, su descripción se hace en forma general, basados en secciones discontinuas. Está constituida en su base por lutitas y limolitas grises oscuras a negras,, ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas arcillosas; su parte media la componen una sucesión de frutitas, arcillolitas, grises, con intercalaciones de areniscas, con concreciones limo líticas, piritosas, hasta de 10 cm de diámetro, y niveles de yeso (selenita), y la parte superior está formada por lutitas grises claras a oscuras micáceas, interestratificadas con areniscas arcillosas, de grano fino, en estratos hasta de 5 m de es- pesor.. no son suelos estratigrafía saturados originados por la sedimentación en los ríos y lagos (fluviales o depósitos aluviales), o por la deposición de desechos o materiales erosionados (depósitos coluvio), o los depósitos formados por acción del viento (depósitos eólicos) los cuales pueden ser muy susceptibles a que se produzca licuefacción

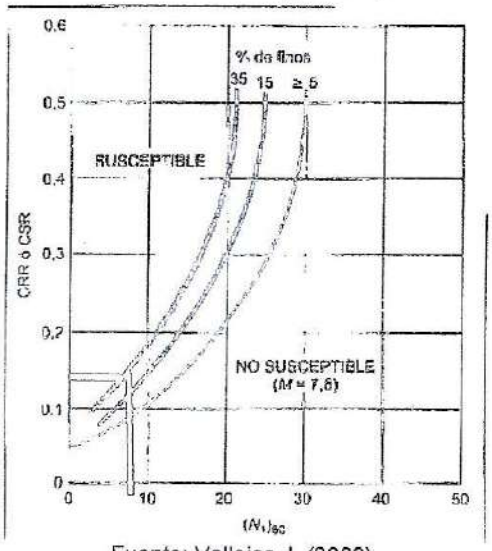
Criterios de composición. Está en función del tipo de suelo. Suelos arcillosos, suelos especialmente sensibles capaces de presentar ablandamiento, siendo su comportamiento similar al de suelo licuado. O bien, aquellos suelos compuestos por partículas del mismo tamaño son más susceptibles a la licuefacción de los suelos con respecto a suelos con una amplia gama de tamaños de partículas. En un suelo con muchas partículas de diferentes tamaños, las pequeñas partículas tienden a llenar los huecos entre las partículas más grandes reduciendo así la tendencia de densificación y el desarrollo presión de poros cuando son sacudidos. El proceso

geológico produce partículas redondeadas, si el ángulo de fricción entre las partículas es mayor que entre las partículas redondeadas tenemos un depósito de suelo con partículas angulares es normalmente más fuerte y menos susceptible a la licuefacción.

Criterios Estado. El primer "estado" de un suelo se define por su densidad y tensión efectiva al momento que se somete a una carga rápida. En un determinado nivel de esfuerzos eficaces y flexibles, los suelos son más susceptibles a la licuefacción de los suelos más densos. Para una determinada densidad, los suelos firmes son generalmente más susceptibles a la licuefacción de los suelos a bajas densidad

A pesar del porcentaje de finos, se hace el análisis de licuación para el sondeo más crítico:

Figura 16 Susceptibilidad de licuefacción en función del SPT, (N1)60 para un terremoto de magnitud 7,5



Fuente: Vallejos, L (2002)

Para N_{60} = 7 a la profundad de cimentación de 4.00 Metros

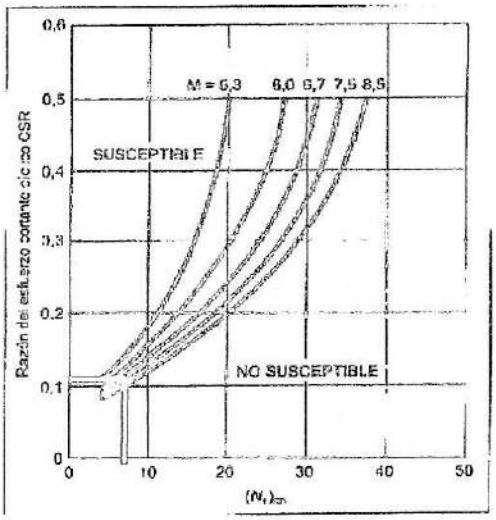
Valor CRR = 0.25

En la Figura 16 se muestra la relación entre CRR ó CSR y el valor (N1)60 indicando el límite entre los suelos susceptibles y los no susceptibles de licuefacción para un terremoto de magnitud 7,5 y distintos porcentajes de finos.

429

Vallejos (2002), opina que a partir de datos experimentales se puede estimar si el suelo es susceptible de licuefacción. Calculando el valor de CSR para un valor (N1)60, en la Figura 17 se indica si es posible la licuefacción para varias magnitudes de terremotos

Figura 17 Susceptibilidad de licuefacción de un suelo en función de (N1)60 y la razón del esfuerzo cortante cíclico csr para distintas magnitudes.



Fuente: Vallejos, L (2002)

Valor CSR = 0.11

FS = CRR/CSR = 0.25/0.11 = Fs. 2.27

Condición ineludible: Si FS < 1 significa licuefacción inicial realizable

- A partir de los 15 m de profundidad no se han conocido fenómenos de licuefacción en suelos.
- El nivel freático, en la mayoría de los casos en los que se ha presentado la licuefacción se encontraba a poca profundidad, inferior a 3 m; por debajo de los 5 m de profundidad, la susceptibilidad a la licuefacción es muy baja

8.7. EVALUACIÓN DE COLAPSO EN SUELOS

Se identifican como suelos colapsables aquellos depósitos formados por arenas y limos, en algunos casos cementados por arcillas y sales. Que sufren pérdidas de su conformación estructural, acompañadas de severas reducciones en el volumen exterior cuando se aumenta su humedad o se saturan

Existen 4 tipos de suelos colapsables que se listan a continuación:

a) Suelos aluviales y coluviales
b) Suelos eólicos
c) Cenizas volcánicas
d) Suelos residuales

Geológicamente los materiales encontrados en el presente estudio corresponden a suelos de origen a la formación Simiti, por lo tanto, se hace necesario verificar las condiciones de colapsabilidad del suelo, siguiendo los lineamientos del numeral H.9.3 SUELOS COLAPSABLES de la NSR-10.

Se identifica la Colapsabilidad de estos depósitos, cuando el volumen de vacíos iguala la cantidad de agua en el punto del límite líquido. Para mayor cantidad de agua o menor volumen de vacios el depósito es inestable. La evaluación se puede hacer mediante la siguiente formulación.

PROPIEDADES DEL SUELO SONDEO # 1

Peso Específico del agua

γ_w= 1	(Tf / m³)

Sondeo # 1

DATOS		INCÓGNITA					
		γ_s (Tf / m³) Peso Específico del suelo	γ_d (Tf / m³) Peso Específico seco	γ_{sat} (Tf / m³) Peso Específico saturado	ω Humedad	n Porosidad	e Índice de huecos
γ_d	W						
1,74	0,14	2,300	-	1,984	-	0,244	0,322
γ_d	W						
1,85	0,12	2,378	-	2,072	-	0,222	0,285
γ_d	W						
1,73	0,12	2,183	-	1,938	-	0,208	0,262
γ_d	W						
1,75	0,12	2,215	-	1,960	-	0,210	0,266

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

PROPIEDADES DEL SUELO SONDEO # 1

Peso Específico del agua

γ_w= 1	(Tf / m³)

Sondeo # 1

DATOS		INCÓGNITA					
		γ_s (Tf / m³) Peso Específico del suelo	γ_d (Tf / m³) Peso Específico seco	γ_{sat} (Tf / m³) Peso Específico saturado	ω Humedad	*n* Porosidad	*e* Índice de huecos
γ_d	*w*						
2,36	0,13	3,405	-	2,667	-	0,307	0,443
γ_d	*w*						
2,16	0,13	3,003	-	2,441	-	0,281	0,390
γ_d	*w*						
1,74	0,14	2,300	-	1,984	-	0,244	0,322
γ_d	*w*						
2,10	0,12	2,807	-	2,352	-	0,252	0,337

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

PROPIEDADES DEL SUELO SONDEO # 2

Peso Específico del agua

γ_w= 1	(Tf / m³)

Sondeo # 2

DATOS		INCÓGNITA					
		γ_s (Tf / m³) Peso Específico del suelo	γ_d (Tf / m³) Peso Específico seco	γ_{sat} (Tf / m³) Peso Específico saturado	ω Humedad	*n* Porosidad	*e* Índice de huecos
γ_d	*w*						
2,17	0,12	2,934	-	2,430	-	0,260	0,352
γ_d	*w*						
2,14	0,12	2,879	-	2,397	-	0,257	0,346
γ_d	*w*						
2,30	0,12	3,177	-	2,576	-	0,276	0,381
γ_d	*w*						
1,77	0,12	2,247	-	1,982	-	0,212	0,270

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

PROPIEDADES DEL SUELO SONDEO # 3

Peso Especifico del agua

γ_w = 1	(Tf / m³)

Sondeo # 3

DATOS		INCÓGNITA					
		γ_s (Tf / m³) Peso Especifico del suelo	γ_d (Tf / m³) Peso Especifico seco	γ_{sat} (Tf / m³) Peso Especifico saturado	ω Humedad	n Porosidad	e Indice de huecos
γ_d	W	2,300	-	1,984	-	0,244	0,322
1,74	0,14						
γ_d	W	2,378	-	2,072	-	0,222	0,285
1,85	0,12						
γ_d	W	2,183	-	1,938	-	0,208	0,262
1,73	0,12						
γ_d	W	2,215	-	1,960	-	0,210	0,266
1,75	0,12						

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

EVALUACION DE COLAPSABILIDAD SONDEO # 1

COLAPSABILIDAD DE LOS SUELOS
CRITERIO: TITULO H - H.9.3.3 NSR-10

$$\gamma_{dcrit} = \frac{\gamma_w}{(1/G_s) + w_\ell}$$

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	
	1,00	1,00	1,00	1,00	gr/cm3
d =	2,36	2,16	1,74	2,10	gr/cm3
	3,405	3,003	2,300	2,807	gr/cm3
	13,26	13,52	14,89	12,29	%

$d\,crit$	2,35	2,14	1,71	2,09
d / $d\,crit$	1,006	1,011	1,015	1,006

CRITERIO: SUELO ESTABLE

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

EVALUACION DE COLAPSABILIDAD SONDEO # 2

COLAPSABILIDAD DE LOS SUELOS
CRITERIO: TITULO H - H.9.3.3 NSR-10

$$\gamma_{dcrit} = \frac{\gamma_w}{(1/G_s) + w_\ell}$$

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	
	1,00	1,00	1,00	1,00	gr/cm3
d =	2,17	2,14	2,30	1,77	gr/cm3
	2,934	2,879	3,177	2,247	gr/cm3
	12,58	12,23	12,13	12,81	%

d crit	2,14	2,13	2,29	1,74
d / d crit	1,013	1,005	1,003	1,014

CRITERIO: SUELO ESTABLE

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

EVALUACION DE COLAPSABILIDAD SONDEO # 3

COLAPSABILIDAD DE LOS SUELOS
CRITERIO: TITULO H - H.9.3.3 NSR-10

$$\gamma_{dcrit} = \frac{\gamma_w}{(1/G_s) + w_\ell}$$

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	
	1,00	1,00	1,00	1,00	gr/cm3
d =	1,74	1,85	1,73	1,75	gr/cm3
	2,300	2,378	2,183	2,215	gr/cm3
	14,48	12,08	12,5	12,96	%

d crit	1,73	1,85	1,72	1,72
d / d crit	1,008	1,001	1,009	1,017

CRITERIO: SUELO ESTABLE

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

9. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

9.1. GENERALES

- Diseño estructural tolerante, en los casos donde se demuestra que el asentamiento resultante del colapso no es inadmisible, debe diseñarse la estructura para resistir dicho movimiento sin distorsión ni daño aparente

- Para todas las cimentaciones a realizar, se deberá garantizar el retiro total de cualquier tipo de escombros, material deletéreo o con contenido de materia orgánica. En el caso que se requiera deberá sobre excavarse para retirar el material y reemplazar con material seleccionado además de concreto ciclópeo como soporte de la cimentación.

- En el caso estar en época de lluvia y que sea necesario dejar abierta una excavación por más de 24 horas, una vez alcanzado el nivel de cimentación establecido se deberá colocar sobre éste una capa de concreto pobre de 50 cm de espesor.

- Se recomienda que el estrato definitivo de cimentación solo se alcanzará una vez se disponga de todos los elementos necesarios para las tareas de construcción de esta. Dado el caso que se requiera avanzar en las labores de excavación se propone realizarlas hasta un nivel mínimo de 0.50 m por encima del nivel definitivo, a manera de protección.

- Los planos de cimentación producto de las anteriores recomendaciones serán revisados y aprobados por esta oficina. Sin dicho visto bueno en los planos no tendrán ninguna validez.

- La implantación del proyecto queda sujeta a las condiciones topográficas del momento de la construcción y, por lo tanto, todas las medidas de los planos definitivos deberán ser verificadas in situ.

- Se recomienda el acopio de los residuos de la excavación de las losas de fundación lejos de las bermas del frente de excavación o en su defecto, a una distancia mínima de 6m fuera del paramento de la excavación.

- Con el material sobrante de excavación a partir del nivel -1.0 m puede viabilizar su uso para los rellenos a los costados, previa caracterización y confirmación en laboratorio.

- Se recomienda llevar un estricto control de calidad en la etapa constructiva con el fin de garantizar la calidad de los materiales y el cumplimiento de las recomendaciones hechas en este informe.

- La cota recomendada para apoyar el elemento estructural es de mínimo 4.00 m, contados a partir de la superficie del terreno, en caso de realizarse labores de excavación, nivelación y/o relleno, las zapatas deben estar apoyadas sobre una capa de concreto ciclópeo no menor a 50 cm de espesor por debajo del nivel definitivo de cimentación. Ver Tabla 12.

Tabla 12. Cota recomendada para apoyar el elemento estructural

Sondeo	Profundidad de Cimentación	Concreto Ciclópeo Cm	Total, Excavación
1	4.00 Metros	0.50	4.50 Metros
2	4.00 Metros	0.50	4.50 Metros
3	4.00 Metros	0.50	4.50 Metros

Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

- En la implementación de las zapatas, el sistema de cimentación debe contar con una rigidez necesaria para soportar distorsiones angulares de L/300, en donde L es la distancia entre zapatas adyacentes.

- Toda excavación que presente peligro de derrumbes que afecten el ritmo de los trabajos, la seguridad del personal o la estabilidad de las obras o propiedades adyacentes, deberá entibarse de manera satisfactoria para el Interventor. Los entibados deberán ser retirados antes de rellenar las excavaciones. Todos los cortes mayores a 1.5 m se deben entibar.

- Dentro del presente estudio no está contemplado el análisis y estabilidad de talud, ni obras de estabilización y/o contención.

9.2. PROCEDIMIENTO PARA EXCAVACIONES PROFUNDAS

En los trabajos de excavación, se adoptarán las precauciones necesarias para evitar derrumbamientos, según la naturaleza y condiciones del terreno, y forma de realización de los trabajos.

En general, se considera que las excavaciones con profundidades superiores a (1,50) metros, deben disponer de sistemas de contención de tierras, entibaciones, de protección y rescate de los trabajadores.

Una vez localizada el área y teniendo los niveles topográficos, se procede a realizar la excavación mecánica o perfilada con la retroexcavadora o retro cargador y haciendo el cargue del material en la volqueta estacionada o al sitio de acopio temporal.

El sitio a excavar se debe encontrar en condiciones secas, de no ser así, se usará bomba o se planeará un drenaje por gravedad para evacuar el agua acumulada.

Todos los trabajos de excavación se harán coordinadamente con las obras de arte, drenaje y obras de superficies excavadas de protección y de estabilidad de taludes.

Las excavaciones que representen riesgo para las personas, equipos o instalaciones deberán revisarse la posibilidad de entibar o tender el talud hasta su ángulo de reposo.

En caso de profundidades mayores a 1.5 m, y dependiendo de la calidad del terreno se deben prever medidas de trabajo en alturas, de acuerdo con lo descrito en el programa de protección contra caídas de alturas.

El ayudante de obra destinado a la retroexcavadora debe garantizar que cuando el equipo esté trabajando no hallan trabajadores en el área de giro.

El material de excavación es dispuesto temporalmente a mínimo 1.0 m del borde de la excavación o es cargado inmediatamente en volquetas, para luego ser llevado a la zona de disposición de materiales o trasladado de acuerdo con las instrucciones del área técnica y/o construcciones.

9.3 ZAPATAS AISLADAS

- Teniendo en cuenta el perfil estratigráfico en la zona del proyecto, se recomienda cimentar sobre dados en concreto ciclópeo, a una profundidad aproximada mínima de **4.00 m** respecto del nivel definitivo del terreno.

- Para las zapatas aisladas se diseñará un sistema de vigas de amarre en ambos sentidos formando anillos de rigidez con las características que establezca el ingeniero estructural, pero se estima que las vigas de amarre deben ser capaces de trasladar entre una columna y su vecina como mínimo el 10% de la carga axial transmitida por esta.

- En caso de existir muros divisorios deberán proyectarse sobre cimentos o vigas de amarre.

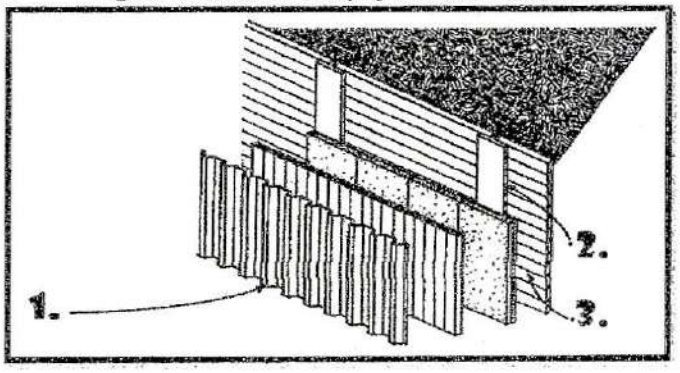
437

9.4 RECOMENDACIONES PARA PROCESO CONSTRUCTIVO DE LAS EXCAVACIONES

Se recomienda utilizar el siguiente procedimiento de excavación para la construcción de los cimientos:

- Realizar las excavaciones para cada uno de los cimientos.
- Manejar un sistema de apuntalado a medida que se realiza la excavación.
- Una malla de gallinero que evite el agrietamiento de esta protección.
- Armar las parrillas de hierros en zapatas y vigas de amarre.
- Fundir el concreto de los cimientos.

Figura 18 Sistema de Apoyo de Excavaciones



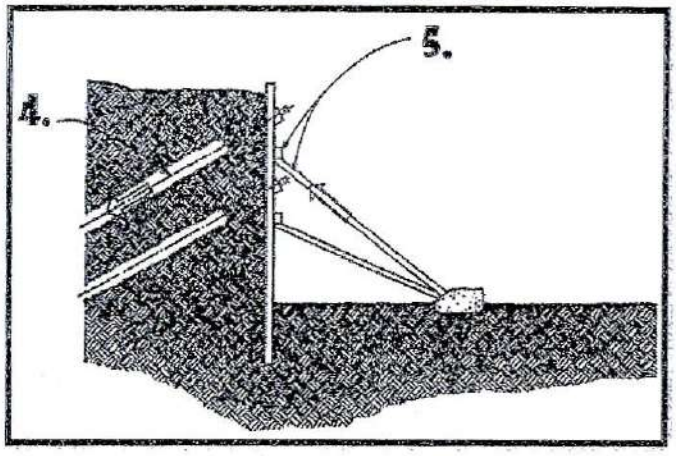
Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

1. Una tablaestaca consiste en planchas de madera, acero o concreto precolado hincadas en sentido vertical lado a lado para contener al terreno y evitar que el agua se filtre hacia la excavación.

2. Las vigas o los montantes de sujeción son perfiles H de acero hincados en el suelo en sentido vertical para sustentar al entablado horizontal.

3. El entablado se refiere a los tablones de madera alineados colateralmente para retener el frente de una excavación

Figura 19 Sistema de Apuntalado



Fuente: Elaboración Propia (Ingesuelos & Construcciones. S.A.S.)

4. Se pueden usar brandales anclados en la roca o anclas en el suelo si el arriostramiento transversal o los puntales inclinados interfieren con la excavación o con la operación de construcción. Los brandales consisten en cables o tendones de acero que se insertan en orificios previamente barrenados a través de la tablaestaca y hasta la roca o hasta un estrato adecuado de suelo, lechado a presión para anclarlos en la roca o el suelo y posesionarlos con un gato hidráulico. Los brandales se anclan entonces en largueros de acero continuos y horizontales para mantener la tensión.

5. La tablaestaca y las vigas de sujeción con el entablado se sustentan mediante largueros horizontales continuos. Estos largueros están apuntalados con arriostramiento transversal horizontal de acero o con puntales inclinados diagonales de acero; se apoyan en blocajes de talón o en zapatas.

9.5 MATERIAL SELECCIONADO

- Se deberá utilizar un material granular que deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

Tamaño Máximo	75 mm
% pasa el tamiz N°200	<= 25% en peso
C.B.R. Laboratorio	> = 20%
Expansión Prueba C.B.R.	0.0 %
Contenido Materia Orgánica	0.0 %

Límite Líquido	➢ < 30%
Índice Plástico	< 10%

9.6 MANEJO DE AGUAS

- Es posible que durante la construcción se requiera la implementación de un sistema temporal de captación y desagüe de las aguas de escorrentía, si la construcción coincide con la época de lluvias. Este sistema podrá ser conformado por filtros temporales cañuelas, zanjas, o utilizar algún tipo de equipo mecánico como motobombas, para su rápida evacuación.

- Para la construcción proyectada y sus alrededores, se deben construir eficientes sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias o de cualquier naturaleza.

- La zona debe ser acondicionada con pendientes apropiadas y andenes de 1.0 m de ancho para evitar el acceso directo de las aguas infiltradas de escorrentía al suelo de fundación.

9.7 RECOMENDACIONES PARA LA PROTECCIÓN DE EDIFICACIONES Y PREDIOS VECINOS

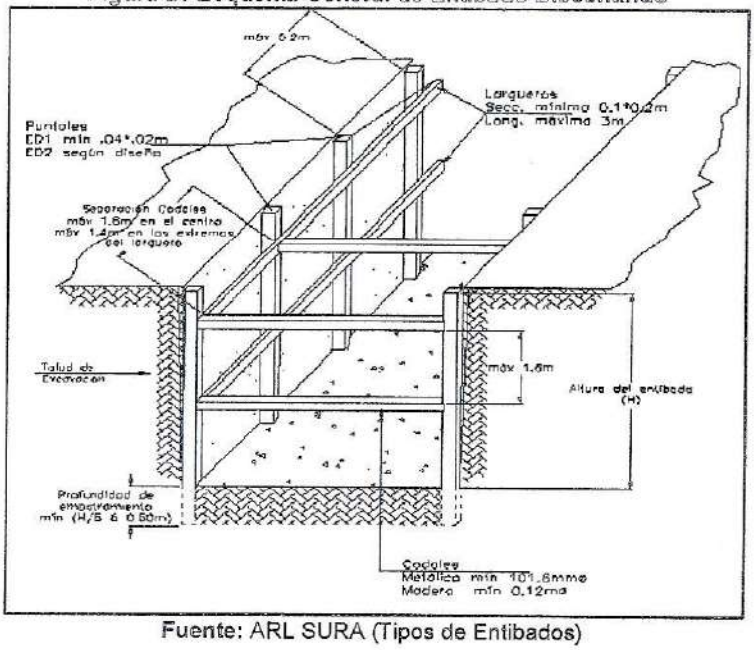
Cuando las condiciones del terreno y el ingeniero encargado del estudio geotécnico lo estime necesario, se hará un capítulo que contenga: estimar los asentamientos ocasionales originados en descenso del nivel freático, así como sus efectos sobre las edificaciones vecinas, diseñar un sistema de soportes que garantice la estabilidad de las edificaciones o predios vecinos, estimar los asentamientos inducidos por el peso de la nueva edificación sobre las construcciones vecinas, calcular los asentamientos y deformaciones laterales producidos en obras vecinas a causa de las excavaciones, y cuando las deformaciones o asentamientos producidos por la excavación o por el descenso del nivel freático superen los límites permisibles deben tomarse las medidas preventivas adecuadas

9.8 SISTEMAS DE PROTECCIÓN DE EXCAVACIONES

Los sistemas de protección de excavaciones pueden realizarse con entibados, tablestacados, cortinas de pilotes o una combinación de los anteriores. Pueden ser utilizados en aquellas excavaciones en las que, debido a sus características geométricas o a las propiedades geo mecánicas del terreno, se puedan presentar problemas por inestabilidad lateral o de fondo, tubificación o deformaciones laterales excesivas. También se construyen para facilitar las labores de construcción y para garantizar la seguridad del personal o de las obras o edificaciones vecinas.

440

Figura 20 Esquema General de Entibado Discontinuo



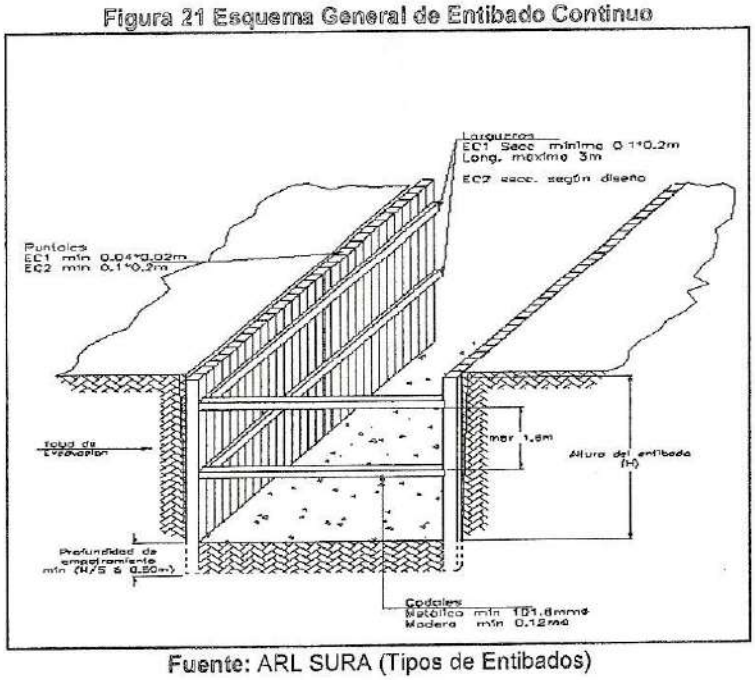
Fuente: ARL SURA (Tipos de Entibados)

Las paredes de la zanja deben ser sostenidas totalmente por tableros continuos de madera y deben ser soportados lateralmente por largueros de madera y puntales de madera o de acero. Los elementos que lo conforman son los siguientes:

- Puntales: Tablas verticales de madera de sección rectangular mínima de 0.04 x 0.20 metros, generando una superficie continua.
- Largueros: Tablas horizontales en madera de sección mínima 0.10 x 0.20 metros, con longitud máxima de 3.00 metros.
- Codales: Postes metálicos telescópicos de diámetro mínimo de 152.4 milímetros (6") o en madera de 0.15 metros de diámetro mínimo, distribuidos en niveles con separación vertical máxima de 1.60 metros y separación horizontal máxima de 1.60 metros en la zona central del larguero y de 1.40 metros en los extremos del larguero.

441

Figura 21 Esquema General de Entibado Continuo



Fuente: ARL SURA (Tipos de Entibados)

- Puntales: Perfiles metálicos de sección y longitud de empotramiento definidos en el diseño.
- La longitud mínima de empotramiento es H/3, donde H - altura de excavación.
- Largueros: Vigas horizontales de madera de sección mínima 0.20 x 0.25 metros, con longitud máxima de 3.0 metros, separadas verticalmente como máximo una distancia de 1.5 metros.
- Codales: Postes metálicos telescópicos de diámetro mínimo 152.4 milímetros (6") en niveles con separación horizontal máxima de 3.0 metros.

9.9 ALCANCES DEL ESTUDIO Y LIMITACIONES

Evaluar las características geomecánica de los materiales en el área de la locación mediante un programa de investigación del subsuelo consistente en una exploración directa (perforaciones), pruebas de campo y ensayos de laboratorio sobre las muestras recuperadas.

Las recomendaciones contenidas en el presente informe se basan en los datos obtenidos del plan exploratorio realizado, y en la información suministrada. Es de destacar, que el perfil estratigráfico utilizado para diseño es producto de una interpolación de los registros de perforación obtenidos del plan exploratorio, por lo tanto, se realizaron los diseños sobre un perfil promedio.

Si durante la construcción se presentan situaciones o condiciones no previstas en este informe, se deberá consultar oportunamente para estudiar la solución más adecuada. Esto también incluye cambios significativos en el diseño del proyecto final, que puedan generar variación en la localización, uso, niveles y cagas utilizados para este informe.

Este documento no podrá ser modificado sin autorización explícita del ingeniero consultor.

10. RECOPILACION Y ANALISIS DE INFORMACION EXISTENTE

Para el desarrollo del presente estudio, se consultó las siguientes fuentes de información.

- NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES (CCP-14),
- BOWLES, J. (1996), Foundation Analysis and Design 5th Edition. Mc Graw Hill.
- CERNICA, Jhon N. Geotechnical Engineering – Foundation Design.
- DAS, B (2001). "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica". Thomson Learning.
- INGEOMINAS año 1985.
- Registros de perforación y ensayos de laboratorio realizados para el presente trabajo.
- Memoria explicativa del mapa geológico generalizado del municipio de Albania
- Esquema de ordenamiento territorial del municipio de Albania – Departamento de Santander.

11. CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES (CCP-14),

El presente estudio geotécnico cumple con el desarrolló la nueva Norma Colombiana de Diseño de Puentes (CCP-14), con la cual se actualiza -después de 18 años- el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes (CCP 95). El ingeniero Geotecnista da constancia de que conoce el sitio y lo ha visitado para efectos de la elaboración del estudio.



Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Esp. Geotecnia Ambiental
Esp. Recurso Hídrico
Esp. Gerencia de Proyectos de Construcción
M.P. 68202096275STD

12. ANEXOS

Carrera 11 # 23 – 12 san Gil - Santander
Cel. 3134624919 - 3118954637
ingesuelosconstrucciones@gmail.com

12.1. ANEXO RESULTADOS DE LABORATORIO SONDEO # 1

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E-123

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 1

MUESTRA: 1

PROFUNDIDAD : 0,60 - 4.20 m

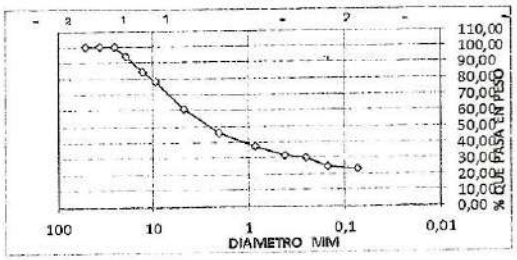
PESO TARA (gr)	9,6	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	647	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	572,4	
PESO AGUA (gr)	74,6	
PESO MUEST. SECA (gr)	562,6	
HUMEDAD (%)	13,26	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 562,6

PESO DESPUES DE LAVADO gr: 436,60

PORCENTAJE DE ERROR %: 0,11

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	90,2	84,50	15,02	46,18
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	100,00	20	41,1	45,80	8,14	38,04
1"	25,4	0,00	0,00	100,00	40	26,8	36,40	6,47	31,57
3/4"	19,3	34,10	6,06	93,94	60	3,5	5,10	0,91	30,66
1/2"	38,3	55,70	9,90	84,04	100	20,3	29,50	5,24	25,42
3/8"	22,8	34,20	6,08	77,96	200	4,4	10,10	1,80	23,62
No 4	118,8	94,30	16,76	61,20	PASA 200	2,4	6,40	1,14	
SUMA	*****	218,30	38,80		SUMA	*****	217,80	38,71	
					TOTAL		436,10		



GRAVAS= 38,80 %

ARENAS= 37,58 %

FINOS= 23,62 %

Grava arcillosa con arena GC

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez
Laboratorista

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E-125-126

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 1

MUESTRA : 1

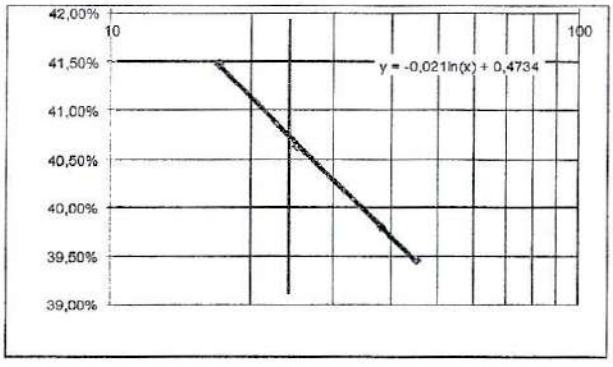
PROFUNDIDAD : 0.60 - 4.20 m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
C9	45	9,74	32,96	26,39	6,57	16,65	39,46%
C10	38	9,56	32,57	26,02	6,55	16,46	39,79%
C11	25	9,6	32,2	25,67	6,53	16,07	40,63%
C12	17	9,71	32,05	25,50	6,55	15,79	41,46%

LIMITE PLASTICO

C7		9,7	16,66	14,91	1,75	5,21	33,59%
C8		9,56	16,18	15,32	0,86	5,76	14,93%



LIMITE LIQUIDO : 40,58%

LIM. PLASTICO : 24,26%

IND. DE PLASTI. : 16,32%

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez Galviz
Laboratorista

449

Tamiz (mm)	Granulometría 1 Pasa (%):
100	100,00
80	100,00
63	100,00
50	100,00
40	100,00
25	100,00
20	100,00
12,5	84,04
10	77,96
6,3	69,58
5	61,20
2	46,16
1,25	38,04
0,4	31,57
0,160	25,42
0,080	23,62

LL (%)	40,58
LP (%)	24,28
IP (%)	16,32
Humedad natural (%)	40,00
Densidad seca (gr/cm^3)	1.5
H/LL	0,99
H/LP	1,65

Colapsabilidad	No colapsable
	1,27

Marcador	Rombo

Indice de consistencia Ic (C.R.)=	0,036
Indice de liquidez I_L=	0,964
Indice de compresión Cc=	0,275
Contracción lineal CL (%)=	7,662

Carrera 11 # 23 – 12 san Gil - Santander
Cel. 3134624919 - 3118954637
ingesuelosconstrucciones@gmail.com

450

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 1

MUESTRA: 2

PROFUNDIDAD : 4.20 - 7.80 m

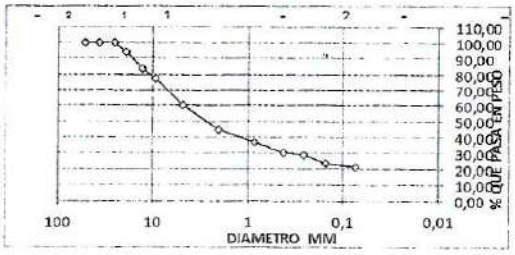
PESO TARA (gr)	9,9	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	662,2	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	575,7	
PESO AGUA (gr)	76,5	
PESO MUEST. SECA (gr)	565,8	
HUMEDAD (%)	13,52	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 565,8

PESO DESPUES DE LAVADO gr: 451,40

PORCENTAJE DE ERROR %: 0,11

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	90,2	89,30	15,78	44,77
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	100,00	20	41,1	45,60	8,06	36,71
1"	25,4	0,00	0,00	100,00	40	26,8	37,40	6,61	30,10
3/4"	19,3	35,20	6,22	93,78	60	3,5	6,30	1,11	28,99
1/2"	38,3	57,90	10,23	83,55	100	20,3	30,40	5,37	23,61
3/8"	22,8	32,60	5,76	77,78	200	4,4	11,30	2,00	21,62
No 4	118,8	97,50	17,23	60,55	PASA200	2,4	7,40	1,31	
SUMA	*****	223,20	39,45		SUMA	*****	227,70	40,24	
					TOTAL		460,90		



GRAVAS= 39,45 %

ARENAS= 38,94 %

FINOS= 21,62 %

Grava arcillosa con arena GC

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez
Laboratorista

451

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 1

MUESTRA : 2

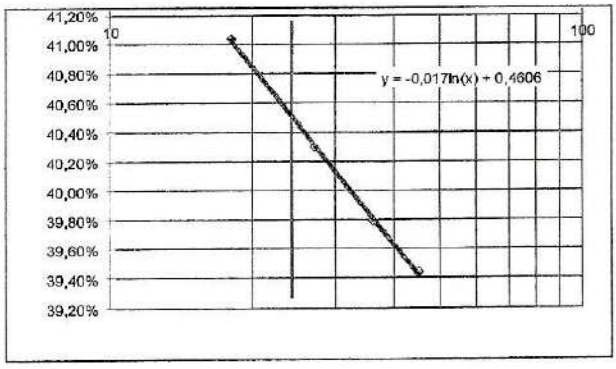
PROFUNDIDAD : 4.20 - 7,80 m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
C19	45	9,75	32,98	26,41	6,57	16,66	39,44%
C20	36	9,59	32,6	26,05	6,55	16,46	39,79%
C21	27	9,55	32,25	25,73	6,52	16,18	40,30%
C22	18	9,61	32,09	25,55	6,54	15,94	41,03%

LIMITE PLASTICO

C17		9,71	16,65	14,97	1,68	5,26	31,94%
C18		9,54	16,26	15,44	0,81	5,9	13,73%



LIMITE LIQUIDO : 40,59%

LIM. PLASTICO : 22,83%

IND. DE PLASTI. : 17,75%

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez Galviz
Laboratorista

452

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 1

MUESTRA : 2

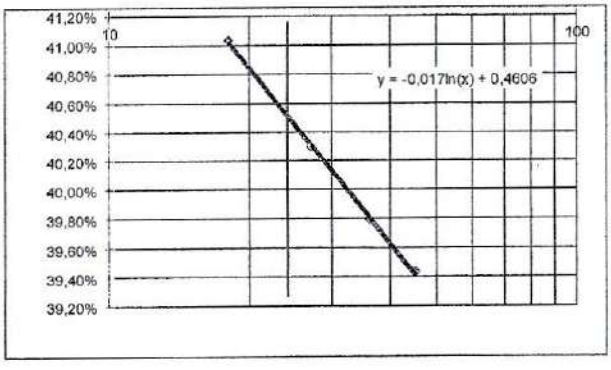
PROFUNDIDAD : 4.20 - 7,80 m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
C19	45	9,75	32,98	26,41	6,57	16,66	39,44%
C20	36	9,59	32,6	26,05	6,55	16,46	39,79%
C21	27	9,55	32,25	25,73	6,52	16,18	40,30%
C22	18	9,61	32,09	25,55	6,54	15,94	41,03%

LIMITE PLASTICO

C17		9,71	16,65	14,97	1,68	5,26	31,94%
C18		9,54	16,25	15,44	0,81	5,9	13,73%



LIMITE LIQUIDO : 40,59%

LIM. PLASTICO : 22,83%

IND. DE PLASTI. : 17,75%

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez Galviz
Laboratorista

453

Tamiz (mm)	Granulometria Pasa (%)
100	100,00
80	100,00
63	100,00
50	100,00
40	100,00
25	100,00
20	100,00
12,5	83,55
10	77,78
6,3	69,17
5	60,55
2	44,77
1,25	36,71
0,4	30,10
0,160	23,61
0,080	21,62

LL (%)	40,59
LP (%)	22,83
IP (%)	17,76
Humedad natural (%)	40,00
Densidad seca (gr/cm³)	1.5
H/LL	0,99
H/LP	1,75

Colapsabilidad	No colapsable
	1,26

Marcador	Rombo

Indice de consistencia Ic (C.R.)=	0,033
Indice de liquidez I_L=	0,967
Indice de compresión Cc=	0,275
Contracción lineal CL (%)=	8,338

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 1

MUESTRA: 3

PROFUNDIDAD : 7,80 - 11,40 m

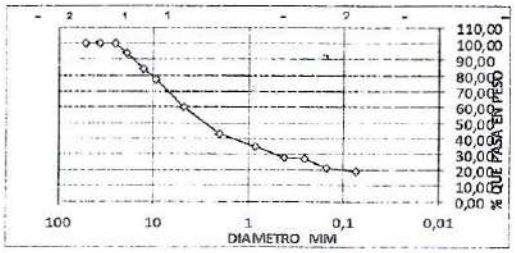
PESO TARA (gr)	9,81	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	643,9	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	561,7	
PESO AGUA (gr)	82,2	
PESO MUEST. SECA (gr)	551,89	
HUMEDAD (%)	14,89	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 551,89

PESO DESPUES DE LAVADO gr: 454,55

PORCENTAJE DE ERROR %: 0,11

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	90,2	93,20	16,89	43,37
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	100,00	20	41,1	47,60	8,62	34,75
1"	25,4	0,00	0,00	100,00	40	26,8	36,40	6,60	28,15
3/4"	19,3	33,20	6,02	93,98	60	3,5	6,35	1,15	27,00
1/2"	38,3	53,92	9,77	84,21	100	20,3	32,41	5,87	21,13
3/8"	22,8	35,65	6,46	77,75	200	4,4	11,35	2,06	19,07
No 4	118,8	96,54	17,49	60,26	PASA 200	2,4	7,43	1,35	
SUMA	*****	219,31	39,74		SUMA	*****	234,74	42,53	
					TOTAL		454,06		



GRAVAS= 39,74 %

ARENAS= 41,19 %

FINOS= 19,07 %

Arena arcillosa con grava SC

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez
Laboratorista

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021
PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA
LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

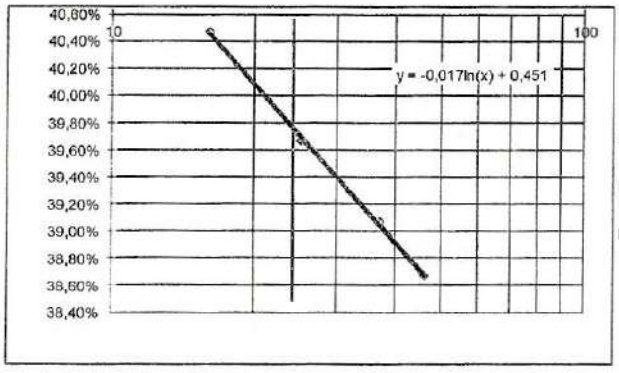
SONDEO : 1
MUESTRA : 3
PROFUNDIDAD : 7.80 - 11.40 m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
C26	46	9,77	32,9	26,45	6,45	16,68	38,67%
C27	37	9,68	32,53	26,11	6,42	16,43	39,07%
C28	25	9,57	32,21	25,78	6,43	16,21	39,67%
C29	16	9,65	32,04	25,59	6,45	15,94	40,46%

LIMITE PLASTICO

C24		9,77	16,69	14,87	1,82	5,1	35,69%
C25		9,68	16,31	15,34	0,97	5,66	17,14%



LIMITE LIQUIDO : 39,63%
LIM. PLASTICO : 26,41%
IND. DE PLASTI. : 13,22%

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez Galviz
Laboratorista

Tamiz (mm)	Granulometria 1 Pasa (%):
100	100,00
80	100,00
63	100,00
50	100,00
40	100,00
25	100,00
20	100,00
12,5	84,21
10	77,75
6,3	69,01
5	60,26
2	43,37
1,25	34,75
0,4	28,15
0,160	21,13
0,080	19,07

LL (%)	40,59
LP (%)	22,83
IP (%)	17,76
Humedad natural (%)	40,00
Densidad seca (gr/cm^3)	1.5
H/LL	0,99
H/LP	1,75

Colapsabilidad	No colapsable
	1,26

Marcador	Rombo

Indice de consistencia Ic (C.R.)=	0,033
Indice de liquidez IL=	0,967
Indice de compresión Cc=	0,275
Contracción lineal CL (%)=	8,338

457

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E-123

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 1

MUESTRA: 4

PROFUNDIDAD : 11,40 - 15,00 m

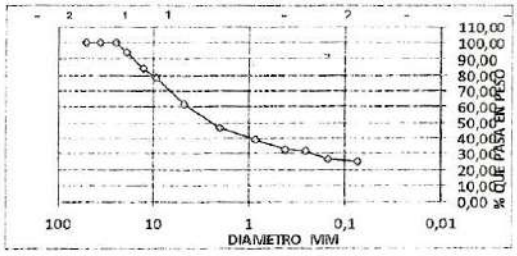
PESO TARA (gr)	9,7	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	653,1	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	582,7	
PESO AGUA (gr)	70,4	
PESO MUEST. SECA (gr)	573	
HUMEDAD (%)	12,29	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 573

PESO DESPUES DE LAVADO gr: 437,67

PORCENTAJE DE ERROR %: 0,11

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	90,2	83,51	14,57	47,05
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	100,00	20	41,1	45,82	8,00	39,06
1"	25,4	0,00	0,00	100,00	40	26,8	36,41	6,35	32,70
3/4"	13,3	35,60	6,21	93,79	60	3,5	5,12	0,89	31,81
1/2"	38,3	55,73	9,73	84,06	100	20,3	29,51	5,15	26,66
3/8"	22,8	34,21	5,97	78,09	200	4,4	10,12	1,77	24,89
No 4	118,8	94,34	16,46	61,63	PASA 200	2,4	6,80	1,19	
SUMA	*****	219,88	38,37		SUMA	*****	217,29	37,92	
					TOTAL		437,17		



GRAVAS= 38,37 %

ARENAS= 36,73 %

FINOS= 24,89 %

Grava arcillosa con arena GC

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez
Laboratorista

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 1

MUESTRA : 4

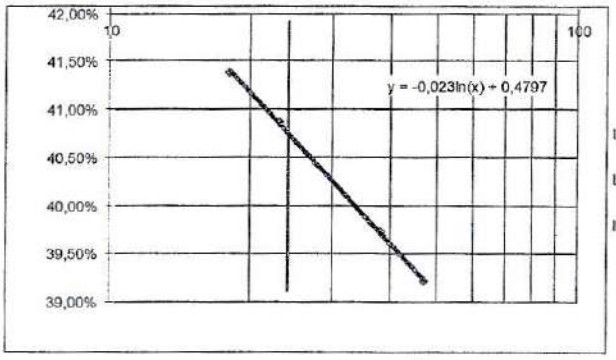
PROFUNDIDAD : 1140 - 6,00 m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
C8	47	9,76	32,91	26,39	6,52	16,63	39,21%
C9	38	9,57	32,5	25,98	6,52	16,41	39,73%
C10	23	9,64	32,25	25,69	6,56	16,05	40,87%
C11	18	9,77	32,01	25,50	6,51	15,73	41,39%

LIMITE PLASTICO

C6		9,7	16,47	14,76	1,71	5,06	33,79%
C7		9,79	16,19	15,38	0,81	5,59	14,49%



LIMITE LIQUIDO : 40,57%

LIM. PLASTICO : 24,14%

IND. DE PLASTI. : 16,42%

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez Galviz
Laboratorista

459

Tamiz (mm)	Granulometria 1 Pasa (%)
100	100,00
80	100,00
63	100,00
50	100,00
40	100,00
25	100,00
20	100,00
12,5	84,06
10	78,09
6,3	69,86
5	61,63
2	47,05
1,25	39,06
0,4	32,70
0,160	26,66
0,080	24,89

LL (%)	40,57
LP (%)	24,14
IP (%)	16,43
Humedad natural (%)	40,00
Densidad seca (gr/cm^3)	1.5
H/LL	0,99
H/LP	1,66

Colapsabilidad	No colapsable
	1,27

Marcador	Rombo

Indice de consistencia Ic (C.R.)=	0,035
Indice de liquidez Il=	0,965
Indice de compresión Cc=	0,275
Contracción lineal CL (%)=	7,714

12.2. ANEXO RESULTADOS DE LABORATORIO SONDEO # 2

461

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 2

MUESTRA: 1

PROFUNDIDAD : 0,60 - 4.20 m

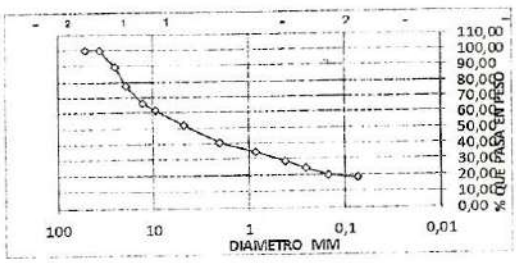
PESO TARA (gr)	9,6	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	690,7	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	614,6	
PESO AGUA (gr)	76,1	
PESO MUEST. SECA (gr)	605	
HUMEDAD (%)	12,58	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 605

PESO DESPUES DE LAVADO gr: 495,30

PORCENTAJE DE ERROR %: 0,10

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	90,2	68,80	11,37	40,96
1 1/2"	36,1	0,00	0,00	100,00	20	41,1	38,80	6,41	34,55
1"	25,4	63,80	10,55	89,45	40	26,8	34,10	5,64	28,91
3/4"	13,3	72,70	12,02	77,44	60	3,5	26,40	4,36	24,55
1/2"	38,3	66,50	10,99	66,45	100	20,3	29,50	4,88	19,67
3/8"	22,8	28,50	4,71	61,74	200	4,4	6,10	1,01	18,66
No 4	118,8	56,90	9,40	52,33	PASA 200	2,4	2,70	0,45	
SUMA	*****	288,40	47,67		SUMA	*****	206,40	34,12	
					TOTAL		494,80		



GRAVAS= 47,67 %

ARENAS = 33,67 %

FINOS= 18,66 %

Grava arcillosa con arena GC

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez
Laboratorista

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 2

MUESTRA : 1

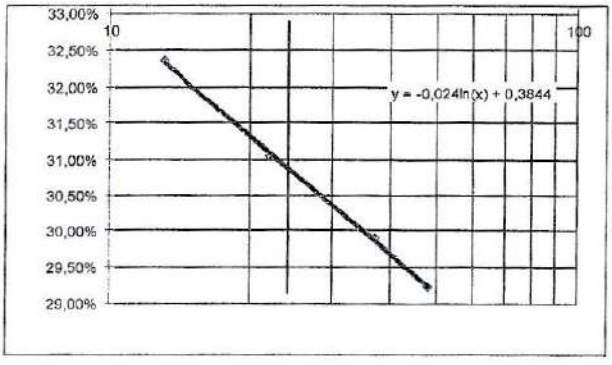
PROFUNDIDAD : 0,60 - 4,20 m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
C3	48	9,87	32,82	27,63	5,19	17,76	29,22%
C4	37	9,63	32,62	27,33	5,29	17,7	29,89%
C5	22	9,63	32,42	27,02	5,4	17,39	31,05%
C6	13	9,55	32,09	26,58	5,51	17,03	32,35%

LIMITE PLASTICO

C1		9,57	16,7	15,42	1,28	5,85	21,88%
C2		9,41	16,49	15,16	1,33	5,75	23,13%



LIMITE LIQUIDO : 30,71%

LIM. PLASTICO : 22,51%

IND. DE PLASTI. : 8,21%

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez Galviz
Laboratorista

463

Tamiz (mm)	Granulometria 1 Pasa (%):
100	100,00
80	100,00
63	100,00
50	100,00
40	100,00
25	100,00
20	100,00
12,5	68,45
10	61,74
6,3	57,03
5	52,33
2	40,96
1,25	34,55
0,4	28,91
0,160	19,67
0,080	18,66

LL (%)	40,58
LP (%)	24,26
IP (%)	16,32
Humedad natural (%)	40,00
Densidad seca (gr/cm^3)	1.5
H/LL	0,99
H/LP	1,65

Colapsabilidad	No colapsable
	1,27

Marcador	Rombo

Indice de consistencia Ic (C.R.)=	0,036
Indice de liquidez IL=	0,964
Indice de compresión Cc=	0,275
Contracción lineal CL (%)=	7,662

Carrera 11 # 23 – 12 san Gil - Santander
Cel. 3134624919 - 3118954637
ingesuelosconstrucciones@gmail.com

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 2

MUESTRA: 2

PROFUNDIDAD : 4,20 - 7,80 m

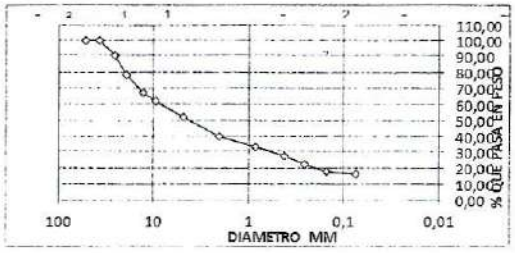
PESO TARA (gr)	9,1	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	685,4	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	611,7	
PESO AGUA (gr)	73,7	
PESO MUEST. SECA (gr)	602,6	
HUMEDAD (%)	12,23	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 602,6

PESO DESPUES DE LAVADO gr: 508,30

PORCENTAJE DE ERROR %: 0,10

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	90,2	71,60	11,88	39,81
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	100,00	20	41,1	39,40	6,54	33,27
1"	25,4	60,10	9,97	90,03	40	26,8	37,20	6,17	27,10
3/4"	19,3	71,70	11,90	78,13	60	3,5	28,50	4,73	22,37
1/2"	38,3	68,40	11,35	66,78	100	20,3	29,80	4,91	17,46
3/8"	22,8	31,60	5,24	61,53	200	4,4	7,60	1,24	16,21
No 4	118,8	59,30	9,84	51,69	PASA 200	2,4	2,60	0,48	
SUMA	*****	291,10	48,31		SUMA	*****	216,70	35,96	
					TOTAL		507,80		



GRAVAS= 48,31 %

ARENAS = 35,48 %

FINOS= 16,21 %

Grava arcillosa con arena GC

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez
Laboratorista

Carrera 11 # 23 – 12 san Gil - Santander
Cel. 3134624919 - 3118954637
ingesuelosconstrucciones@gmail.com

465

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 2

MUESTRA : 2

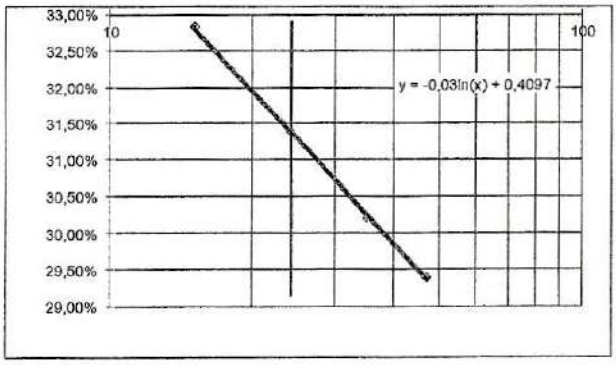
PROFUNDIDAD : 4.20 - 7.80 m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
C17	47	9,77	32,88	27,63	5,25	17,86	29,40%
C18	35	9,76	32,69	27,37	5,32	17,61	30,21%
C19	24	9,69	32,47	27,03	5,44	17,34	31,37%
C20	15	9,59	32,13	26,56	5,57	16,97	32,82%

LIMITE PLASTICO

C15		9,63	16,75	15,45	1,3	5,82	22,34%
C16		9,48	16,44	15,19	1,25	5,71	21,89%



LIMITE LIQUIDO : 31,31%

LIM. PLASTICO : 22,11%

IND. DE PLASTI. : 9,20%

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez Galviz
Laboratorista

Tamiz (mm)	Granulometria 1 Pasa (%):
100	100,00
80	100,00
63	100,00
50	100,00
40	100,00
25	100,00
20	100,00
12,5	66,78
10	61,53
6,3	56,61
5	51,69
2	39,81
1,25	33,27
0,4	27,10
0,160	17,46
0,080	16,21

LL (%)	31,31
LP (%)	22,11
IP (%)	9,20
Humedad natural (%)	40,00
Densidad seca (gr/cm^3)	1.5
H/LL	1,28
H/LP	1,81

Colapsabilidad	No colapsable
	1,43

Marcador	Rombo

Indice de consistencia Ic (C.R.)=	-0,945
Indice de liquidez I_L =	1,945
Indice de compresión Cc=	0,192
Contracción lineal CL (%)=	4,319

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 2

MUESTRA: 3

PROFUNDIDAD : 7,80 - 11,40 m

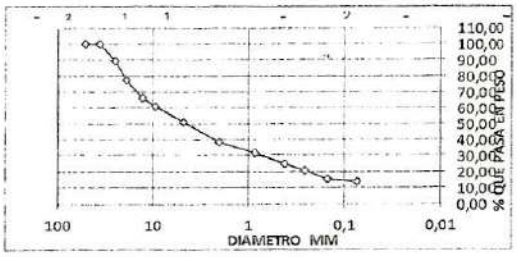
PESO TARA (gr)	9,5	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	690,1	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	616,5	
PESO AGUA (gr)	73,6	
PESO MUEST. SECA (gr)	607	
HUMEDAD (%)	12,13	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 607

PESO DESPUES DE LAVADO gr: 524,30

PORCENTAJE DE ERROR %: 0,10

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	90,2	75,40	12,42	38,58
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	100,00	20	41,1	41,30	6,80	31,78
1"	25,4	63,10	10,40	89,60	40	26,8	39,50	6,51	25,27
3/4"	13,3	73,10	12,04	77,56	60	3,5	29,40	4,84	20,43
1/2"	38,3	68,50	11,29	66,28	100	20,3	29,80	4,91	15,52
3/8"	22,8	32,60	5,37	60,91	200	4,4	8,50	1,40	14,12
No 4	118,8	60,10	9,90	51,00	PASA 200	2,4	2,50	0,41	
SUMA	*****	297,40	49,00		SUMA	*****	226,40	37,30	
					TOTAL		523,80		



GRAVAS= 49,00 %

ARENAS = 36,89 %

FINOS= 14,12 %

Grava arcillosa con arena GC

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez
Laboratorista

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 2

MUESTRA : 3

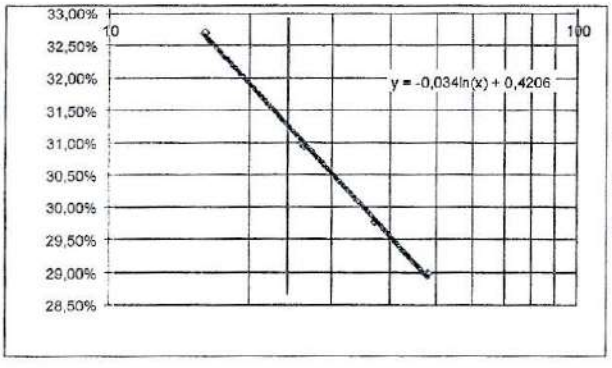
PROFUNDIDAD : 7,80 - 11,40 m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
C22	48	9,79	32,85	27,67	5,18	17,88	28,97%
C23	37	9,81	32,65	27,41	5,24	17,6	29,77%
C24	26	9,65	32,41	27,03	5,38	17,38	30,96%
C25	16	9,57	32,18	26,61	5,57	17,04	32,69%

LIMITE PLASTICO

C20		9,73	16,79	15,47	1,32	5,74	23,00%
C21		9,47	16,46	15,22	1,24	5,75	21,57%



LIMITE LIQUIDO : 31,12%

LIM. PLASTICO : 22,28%

IND. DE PLASTI. : 8,83%

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez Galviz
Laboratorista

469

Tamiz (mm)	Granulometría 1 Pasa (%):
100	100,00
80	100,00
63	100,00
50	100,00
40	100,00
25	100,00
20	100,00
12,5	66,28
10	60,91
6,3	55,96
5	51,00
2	38,58
1,25	31,78
0,4	25,27
0,160	15,52
0,080	14,12

LL (%)	31,12
LP (%)	22,28
IP (%)	8,84
Humedad natural (%)	40,00
Densidad seca (gr/cm^3)	1.5
H/LL	1,29
H/LP	1,80

Colapsabilidad	No colapsable
	1,44

Marcador	Rombo

Indice de consistencia Ic (C.R.)=	-1,005
Indice de liquidez I_L=	2,005
Indice de compresión Cc=	0,190
Contracción lineal CL (%)=	4,150

Carrera 11 # 23 – 12 san Gil - Santander
Cel. 3134624919 - 3118954637
ingesuelosconstrucciones@gmail.com

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 2

MUESTRA: 4

PROFUNDIDAD : 11,40 - 15,00 m

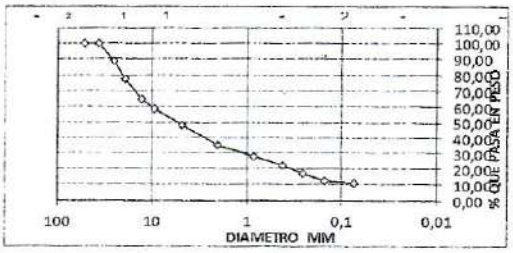
PESO TARA (gr)	9,3	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	687,3	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	610,3	
PESO AGUA (gr)	77	
PESO MUEST. SECA (gr)	601	
HUMEDAD (%)	12,81	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 601

PESO DESPUES DE LAVADO gr: 540,20

PORCENTAJE DE ERROR %: 0,09

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	90,2	77,10	12,83	35,46
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	100,00	20	41,1	43,20	7,19	28,27
1"	25,4	68,50	11,40	88,60	40	26,8	36,50	6,07	22,20
3/4"	19,3	67,40	11,21	77,39	60	3,5	31,60	5,26	16,94
1/2"	38,3	75,30	12,53	64,86	100	20,3	28,40	4,73	12,21
3/8"	22,8	35,40	5,89	58,97	200	4,4	8,60	1,43	10,78
No 4	118,8	64,20	10,68	48,29	PASA 200	2,4	3,50	0,58	
SUMA	*****	310,80	51,71		SUMA	*****	228,90	38,09	
					TOTAL		539,70		



GRAVAS= 51,71 %

ARENAS= 37,50 %

FINOS= 10,78 %

Grava mal graduada con arcilla con arena GP GC

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez
Laboratorista

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E-125-126

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 2

MUESTRA : 4

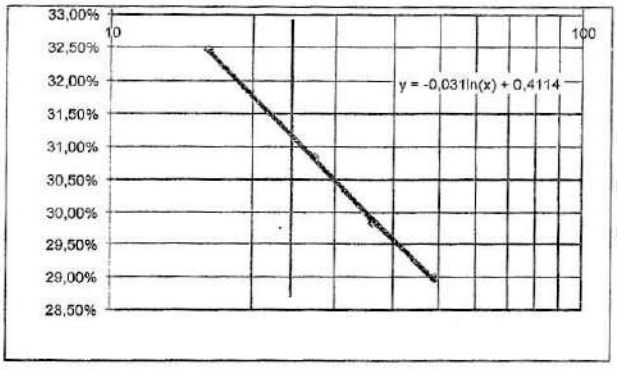
PROFUNDIDAD : 1140 - 15,00 m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
C22	49	9,83	32,84	27,67	5,17	17,84	28,98%
C23	36	9,88	32,64	27,41	5,23	17,53	29,83%
C24	27	9,66	32,45	27,08	5,37	17,42	30,83%
C25	16	9,51	32,16	26,61	5,55	17,1	32,46%

LIMITE PLASTICO

C20		9,78	16,84	15,49	1,35	5,71	23,64%
C21		9,67	16,47	15,25	1,22	5,58	21,86%



LIMITE LIQUIDO : 31,16%

LIM. PLASTICO : 22,75%

IND. DE PLASTI. : 8,41%

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez Galviz
Laboratorista

Tamiz (mm)	Granulometria Pasa (%)
100	100,00
80	100,00
63	100,00
50	100,00
40	100,00
25	100,00
20	100,00
12,5	64,66
10	58,97
6,3	53,63
5	48,29
2	35,46
1,25	28,27
0,4	22,20
0,160	12,21
0,080	10,78

LL (%)	31,16
LP (%)	22,75
IP (%)	8,41
Humedad natural (%)	40,00
Densidad seca (gr/cm^3)	1.5
H/LL	1,28
H/LP	1,76

Colapsabilidad	No colapsable
	1,44

Marcador	Rombo

Indice de consistencia Ic (C.R.)=	-1,051
Indice de liquidez I_L =	2,051
Indice de compresión Cc=	0,190
Contracción lineal CL (%)=	3,948

12.3. ANEXO RESULTADOS DE LABORATORIO SONDEO # 3

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E-123

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 3

MUESTRA: 1

PROFUNDIDAD : 0,60 - 4.20 m

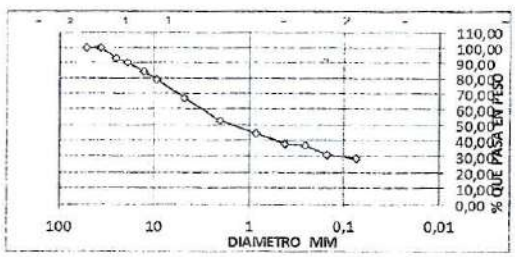
PESO TARA (gr)	8,9	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	674	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	589,9	
PESO AGUA (gr)	84,1	
PESO MUEST. SECA (gr)	581	
HUMEDAD (%)	14,48	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 581

PESO DESPUES DE LAVADO gr: 418,70

PORCENTAJE DE ERROR %: 0,12

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	90,2	83,20	14,32	52,68
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	100,00	20	41,1	46,50	8,00	44,68
1"	25,4	41,50	7,14	92,86	40	26,8	41,00	7,06	37,62
3/4"	13,3	15,30	2,63	90,22	60	3,5	4,20	0,72	36,90
1/2"	38,3	35,70	6,14	84,08	100	20,3	35,20	6,06	30,74
3/8"	22,6	30,90	5,32	78,76	200	4,4	10,40	1,79	28,95
No 4	118,8	68,90	11,86	66,90	PASA 200	2,4	5,40	0,93	
SUMA	*****	192,30	33,10		SUMA	*****	225,90	38,88	
					TOTAL		418,20		



GRAVAS= 33,10 %

ARENAS= 37,95 %

FINOS= 28,95 %

Arena arcillosa con grava SC

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez
Laboratorista

Carrera 11 # 23 – 12 san Gil - Santander
Cel. 3134624919 - 3118954637
ingesuelosconstrucciones@gmail.com

425

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021
PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA
LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

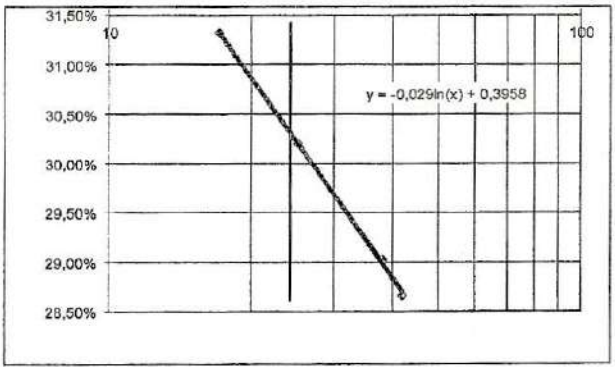
SONDEO : 3
MUESTRA : 1
PROFUNDIDAD : 0,60 - 4,20 m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA +SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA +SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
C15	42	9,67	32,88	27,71	5,17	18,04	28,66%
C16	38	9,91	32,76	27,62	5,14	17,71	29,02%
C17	25	9,72	32,44	27,17	5,27	17,45	30,20%
C18	17	9,59	32,02	26,67	5,35	17,08	31,32%

LIMITE PLASTICO

C13		9,63	16,97	15,62	1,35	5,99	22,54%
C14		9,62	16,4	15,16	1,24	5,54	22,38%



LIMITE LIQUIDO : 30,25%
LIM. PLASTICO : 22,46%
IND. DE PLASTI. : 7,79%

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez Galviz
Laboratorista

Carrera 11 # 23 – 12 san Gil - Santander
Cel. 3134624919 - 3118954637
ingesuelosconstrucciones@gmail.com

476

Tamiz (mm)	Granulometria 1 Pasa (%)
100	100,00
80	100,00
63	100,00
50	100,00
40	100,00
25	100,00
20	100,00
12,5	84,08
10	78,76
6,3	72,83
5	66,90
2	52,58
1,25	44,58
0,4	37,52
0,160	30,74
0,080	28,95

LL (%)	30,25
LP (%)	22,46
IP (%)	7,79
Humedad natural (%)	40,00
Densidad seca (gr/cm^3)	1.5
H/LL	1,32
H/LP	1,78

Colapsabilidad	No colapsable
	1,46

Marcador	Rombo

Indice de consistencia Ic (C.R.)=	-1,252
Indice de liquidez I_L=	2,252
Indice de compresión Cc=	0,182
Contracción lineal CL (%)=	3,657

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E-123

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 3

MUESTRA: 2

PROFUNDIDAD : 4.20 - 7,80 m

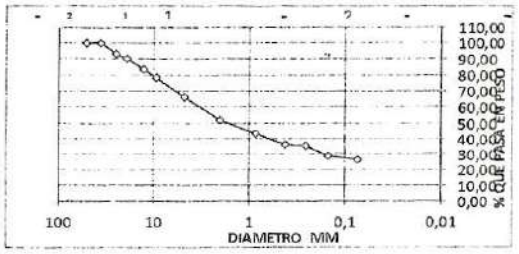
PESO TARA (gr)	8,1	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	664,2	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	593,5	
PESO AGUA (gr)	70,7	
PESO MUEST. SECA (gr)	585,4	
HUMEDAD (%)	12,08	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 585,4

PESO DESPUES DE LAVADO gr: 434,80

PORCENTAJE DE ERROR %: 0,11

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	90,2	84,50	14,43	51,67
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	100,00	20	41,1	47,30	8,08	43,59
1"	25,4	41,90	7,16	92,84	40	26,8	43,60	7,45	36,15
3/4"	13,3	16,40	2,80	90,04	60	3,5	5,30	0,91	35,24
1/2"	38,3	37,20	6,35	83,69	100	20,3	37,10	6,34	28,90
3/8"	22,8	31,30	5,35	78,34	200	4,4	12,40	2,12	26,79
No 4	118,8	71,60	12,23	66,11	PASA 200	2,4	5,70	0,97	
SUMA	*****	198,40	33,89		SUMA	*****	235,90	40,30	
					TOTAL		434,30		



GRAVAS= 33,89 %

ARENAS= 39,32 %

FINOS= 26,79 %

Arena arcillosa limosa con grava SC SM

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez
Laboratorista

478

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 3

MUESTRA : 2

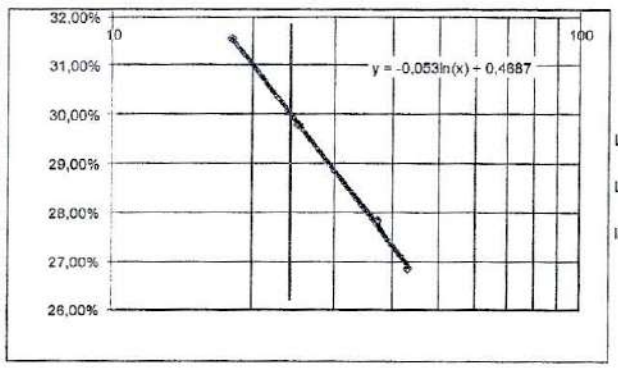
PROFUNDIDAD : 4.20 - 7,80 m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
C20	43	9,77	32,58	27,75	4,83	17,98	26,86%
C21	37	9,83	32,71	27,73	4,98	17,9	27,82%
C22	25	9,43	32,48	27,19	5,29	17,76	29,79%
C23	18	9,76	32,07	26,72	5,35	16,96	31,54%

LIMITE PLASTICO

C18		9,68	16,99	15,69	1,3	6,01	21,63%
C19		9,74	16,48	15,19	1,29	5,45	23,67%



LIMITE LIQUIDO : 29,61%

LIM. PLASTICO : 22,65%

IND. DE PLASTI. : 7,16%

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez Galviz
Laboratorista

479

Tamiz (mm)	Granulometria 1 Pasa (%):
100	100,00
80	100,00
63	100,00
50	100,00
40	100,00
25	100,00
20	100,00
12,5	83,69
10	78,34
6,3	72,22
5	66,11
2	51,67
1,25	43,59
0,4	36,15
0,160	28,90
0,080	26,79

LL (%)	29,81
LP (%)	22,65
IP (%)	7,16
Humedad natural (%)	40,00
Densidad seca (gr/cm^3)	1.5
H/LL	1,34
H/LP	1,77

Colapsabilidad	No colapsable
	1,46

Marcador	Rombo

Indice de consistencia Ic (C.R.)=	-1,423
Indice de liquidez IL=	2,423
Indice de compresión Cc=	0,178
Contracción lineal CL (%)=	3,362

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E- 123

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 3

MUESTRA: 3

PROFUNDIDAD : 7,80 - 11,40 m

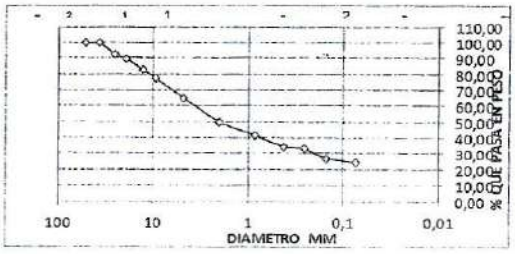
PESO TARA (gr)	8,6	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	675,3	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	601,2	
PESO AGUA (gr)	74,1	
PESO MUEST. SECA (gr)	592,6	
HUMEDAD (%)	12,50	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 592,6

PESO DESPUES DE LAVADO gr: 454,30

PORCENTAJE DE ERROR %: 0,11

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	90,2	87,60	14,77	49,92
1 1/2"	36,1	0,00	0,00	100,00	20	41,1	49,10	8,29	41,63
1"	25,4	43,70	7,37	92,63	40	26,8	43,60	7,36	34,27
3/4"	13,3	18,50	3,12	89,50	60	3,5	5,80	0,98	33,29
1/2"	38,3	39,40	6,65	82,86	100	20,3	39,10	6,60	26,70
3/8"	22,8	33,50	5,65	77,20	200	4,4	13,50	2,28	24,42
No 4	118,3	74,20	12,52	64,68	PASA 200	2,4	5,90	1,00	
SUMA	*****	209,30	35,32		SUMA	*****	244,50	41,26	
					TOTAL		453,80		



GRAVAS= 35,32 %

ARENAS = 40,26 %

FINOS= 24,42 %

Arena limosa con grava SM

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez
Laboratorista

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 3

MUESTRA : 3

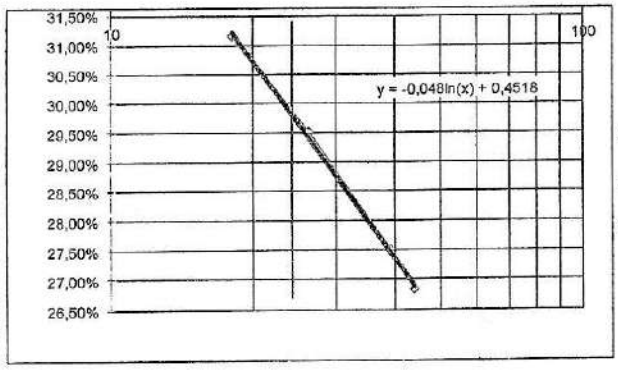
PROFUNDIDAD : 7,80 - 11,40 m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
C32	44	9,8	32,59	27,77	4,82	17,97	26,82%
C33	39	9,54	32,77	27,76	5,01	18,22	27,50%
C34	26	9,63	32,49	27,28	5,21	17,65	29,52%
C35	18	9,8	32,03	26,75	5,28	16,95	31,15%

LIMITE PLASTICO

C30		9,75	16,95	15,71	1,24	5,96	20,81%
C31		9,71	16,63	15,18	1,35	5,47	24,68%



LIMITE LIQUIDO : 29,73%

LIM. PLASTICO : 22,74%

IND. DE PLASTI. : 6,99%

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez Galviz
Laboratorista

Tamiz (mm)	Granulometria 1 Pasa (%)
100	100,00
80	100,00
63	100,00
50	100,00
40	100,00
25	100,00
20	100,00
12,5	82,86
10	77,20
6,3	70,94
5	64,66
2	49,92
1,25	41,63
0,4	34,27
0,160	26,70
0,080	24,42

LL (%)	29,73
LP (%)	22,74
IP (%)	6,99
Humedad natural (%)	40,00
Densidad seca (gr/cm^3)	1.5
H/LL	1,35
H/LP	1,76

Colapsabilidad	No colapsable
	1,47

Marcador	Rombo

Indice de consistencia Ic (C.R.)=	-1,469
Indice de liquidez I_L=	2,469
Indice de compresión Cc=	0,178
Contracción lineal CL (%)=	3,282

483

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E-123

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 3

MUESTRA: 4

PROFUNDIDAD : 11,40 - 15,00 m

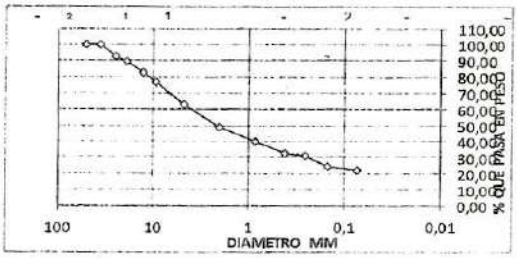
PESO TARA (gr)	7,9	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	681,6	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	604,3	
PESO AGUA (gr)	77,3	
PESO MUEST. SECA (gr)	596,4	
HUMEDAD (%)	12,96	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 596,4

PESO DESPUES DE LAVADO gr: 470,90

PORCENTAJE DE ERROR %: 0,11

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
****	mm	gr	%	%	****	mm	gr	%	%
2"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	90,2	89,10	14,94	48,64
1 1/2"	36,1	0,00	0,00	100,00	20	41,1	51,20	8,58	40,06
1"	25,4	44,70	7,49	92,51	40	26,8	45,30	7,60	32,46
3/4"	13,3	19,30	3,24	89,27	60	3,5	6,80	1,14	31,32
1/2"	38,3	40,50	6,79	82,48	100	20,3	41,20	6,91	24,41
3/8"	22,8	35,30	5,92	76,56	200	4,4	13,90	2,33	22,08
No 4	118,8	77,40	12,98	63,58	PASA 200	2,4	5,70	0,96	
SUMA	*****	217,20	36,42		SUMA	*****	253,20	42,45	
					TOTAL		470,40		



GRAVAS= 36,42 %

ARENAS= 41,50 %

FINOS= 22,08 %

Arena arcillosa con grava SC

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez
Laboratorista

Carrera 11 # 23 – 12 san Gil - Santander
Cel. 3134624919 - 3118954637
ingesuelosconstrucciones@gmail.com

INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
LIMITES DE ATTERBERG INV E- 125-126

FECHA : 20 DE MAYO DE 2021

PROYECTO : CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

LOCALIZACION: MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

SONDEO : 3

MUESTRA : 4

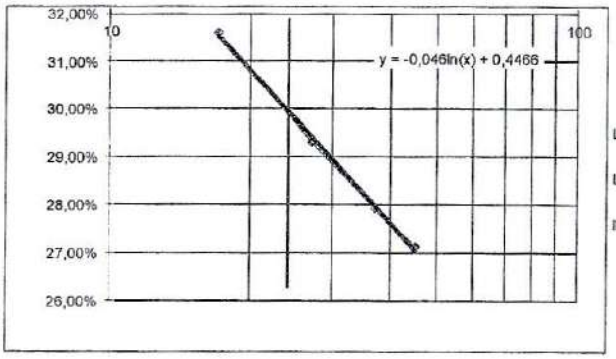
PROFUNDIDAD : 1140 - 15.00 m

LIMITE LIQUIDO

CAPSULA No	NUMERO DE GOLPES	PESO CAPSULA	PESO CAPSULA + SUELO HUMEDO	PESO CAPSULA + SUELO SECO	PESO DEL AGUA	PESO SUELO SECO	CONTENIDO DE AGUA
		gr	gr	gr	gr	gr	%
C22	45	9,85	32,63	27,77	4,86	17,92	27,12%
C23	37	9,57	32,84	27,76	5,08	18,19	27,93%
C24	27	9,71	32,43	27,28	5,15	17,57	29,31%
C25	17	9,89	32,08	26,75	5,33	16,86	31,61%

LIMITE PLASTICO

C20		9,87	16,87	15,78	1,09	5,91	18,44%
C21		9,76	16,53	15,19	1,34	5,43	24,68%



LIMITE LIQUIDO : 29,66%

LIM. PLASTICO : 21,56%

IND. DE PLASTI. : 8,10%

Ing. Edwin Antonio Ortiz Higuera
Geotecnista

Javier Andres Ramirez Galviz
Laboratorista

485

Tamiz (mm)	Granulometria 1 Pasa (%):
100	100,00
80	100,00
63	100,00
50	100,00
40	100,00
25	100,00
20	100,00
12,5	82,48
10	76,56
6,3	70,07
5	63,58
2	48,64
1,25	40,06
0,4	32,46
0,160	24,41
0,080	22,08

LL (%)	29,66
LP (%)	21,56
IP (%)	8,10
Humedad natural (%)	40,00
Densidad seca (gr/cm^3)	1.5
H/LL	1,35
H/LP	1,86

Colapsabilidad	No colapsable
	1,47

Marcador	Rombo

Indice de consistencia Ic (C.R.)=	-1,277
Indice de liquidez I_L=	2,277
Indice de compresión Cc=	0,177
Contracción lineal CL (%)=	3,803

12.4. PESO UNITARIO SONDEO # 1

487

Sondeo 1 Profundidad 0,60 - 4.20 m				
LATA	1	2	3	
PESO FRASCO+AGUA+SUELO	31,33	31,52	31,38	grs.
PESO FRASCO+AGUA	13,61	13,51	13,41	grs.
PESO SUELO SECO	12,47	12,57	15,70	grs.
PESO SUELO EN AGUA	19,99	19,93	19,93	grs.
VOLUMEN DEL SUELO	7,52	7,36	4,23	cm3
PESO ESPECIFICO	1,66	1,71	3,71	grs./cm3
PROMEDIO		2,36		**grs./cm3**

Peso unitario en seco Tm/m3 2,08 - 2,32 Grava Arcillosa Con Arena GC

Sondeo 1 Profundidad 4.20 - 7,80 m				
LATA	1	2	3	
PESO FRASCO+AGUA+SUELO	31,27	31,76	31,59	grs.
PESO FRASCO+AGUA	14,56	14,89	14,37	grs.
PESO SUELO SECO	13,60	13,93	16,20	grs.
PESO SUELO EN AGUA	21,15	21,99	21,69	grs.
VOLUMEN DEL SUELO	7,55	8,06	5,49	cm3
PESO ESPECIFICO	1,80	1,73	2,95	grs./cm3
PROMEDIO		2,16		**grs./cm3**

Peso unitario en seco Tm/m3 2,08 - 2,32 Grava Arcillosa Con Arena GC

Sondeo 1 Profundidad 7,80 - 11,40 m				
LATA	1	2	3	
PESO FRASCO+AGUA+SUELO	31,47	31,58	31,59	grs.
PESO FRASCO+AGUA	14,56	14,89	14,37	grs.
PESO SUELO SECO	13,60	13,90	13,70	grs.
PESO SUELO EN AGUA	21,15	21,99	21,69	grs.
VOLUMEN DEL SUELO	7,55	8,09	7,99	cm3
PESO ESPECIFICO	1,80	1,72	1,71	grs./cm3
PROMEDIO		1,74		**grs./cm3**

Peso unitario en seco Tm/m3 1,60 - 2,16 Arena arcillosa con Grava SC

Sondeo 1 Profundidad 11,40 - 15,00 m				
LATA	1	2	3	
PESO FRASCO+AGUA+SUELO	31,47	31,42	33,50	grs.
PESO FRASCO+AGUA	14,56	14,89	15,32	grs.
PESO SUELO SECO	13,60	13,90	15,95	grs.
PESO SUELO EN AGUA	21,15	21,99	21,69	grs.
VOLUMEN DEL SUELO	7,55	8,09	5,74	cm3
PESO ESPECIFICO	1,80	1,72	2,78	grs./cm3
PROMEDIO		2,10		**grs./cm3**

Peso unitario en seco Tm/m3 2,08 - 2,32 Grava Arcillosa Con Arena GC

12.5. PESO UNITARIO SONDEO # 2

Sondeo 2 Profundidad 0,60 - 4.20 m				
LATA	1	2	3	
PESO FRASCO+AGUA+SUELO	31,47	31,56	31,67	grs.
PESO FRASCO+AGUA	14,56	14,89	15,12	grs.
PESO SUELO SECO	13,60	13,90	16,43	grs.
PESO SUELO EN AGUA	21,15	21,99	21,93	grs.
VOLUMEN DEL SUELO	7,55	8,09	5,50	cm3
PESO ESPECIFICO	1,80	1,72	2,99	grs./cm3
PROMEDIO		2,17		**grs./cm3**

Peso unitario en seco Tm/m3 2,08 - 2,32 Grava Arcillosa Con Arena GC

Sondeo 2 Profundidad 4.20 - 7,80 m				
LATA	1	2	3	
PESO FRASCO+AGUA+SUELO	31,47	31,56	31,59	grs.
PESO FRASCO+AGUA	14,56	14,89	15,16	grs.
PESO SUELO SECO	13,60	13,90	16,75	grs.
PESO SUELO EN AGUA	21,15	21,99	22,50	grs.
VOLUMEN DEL SUELO	7,55	8,09	5,75	cm3
PESO ESPECIFICO	1,80	1,72	2,91	grs./cm3
PROMEDIO		2,14		**grs./cm3**

Peso unitario en seco Tm/m3 2,08 - 2,32 Grava Arcillosa Con Arena GC

Sondeo 2 Profundidad 7,80 - 11,40 m				
LATA	1	2	3	
PESO FRASCO+AGUA+SUELO	31,47	31,56	31,59	grs.
PESO FRASCO+AGUA	14,56	14,89	14,37	grs.
PESO SUELO SECO	13,60	15,30	16,00	grs.
PESO SUELO EN AGUA	21,15	21,99	21,69	grs.
VOLUMEN DEL SUELO	7,55	6,69	5,69	cm3
PESO ESPECIFICO	1,80	2,29	2,81	grs./cm3
PROMEDIO		2,30		**grs./cm3**

Peso unitario en seco Tm/m3 2,08 - 2,32 Grava Arcillosa Con Arena GC

Sondeo 2 Profundidad 11,40 - 15,00 m				
LATA	1	2	3	
PESO FRASCO+AGUA+SUELO	31,47	31,56	31,59	grs.
PESO FRASCO+AGUA	14,56	14,89	14,37	grs.
PESO SUELO SECO	13,60	13,90	13,90	grs.
PESO SUELO EN AGUA	21,15	21,99	21,69	grs.
VOLUMEN DEL SUELO	7,55	8,09	7,79	cm3
PESO ESPECIFICO	1,80	1,72	1,78	grs./cm3
PROMEDIO		1,77		**grs./cm3**

Peso unitario en seco Tm/m3 1,76 - 2,24 Grava Mal Graduada Con Arcilla Con Arena GP

490

12.6. PESO UNITARIO SONDEO # 3

491

Sondeo 3 Profundidad 0,60 - 4.20 m				
LATA	1	2	3	
PESO FRASCO+AGUA+SUELO	31,47	31,56	31,59	grs.
PESO FRASCO+AGUA	14,56	14,89	14,37	grs.
PESO SUELO SECO	13,60	13,90	13,70	grs.
PESO SUELO EN AGUA	21,15	21,99	21,69	grs.
VOLUMEN DEL SUELO	7,55	8,09	7,99	cm3
PESO ESPECIFICO	1,80	1,72	1,71	grs./cm3
PROMEDIO		1,74		**grs./cm3**

Peso unitario en seco Tm/m3 1,60 -.2,16 Arena arcillosa con Grava SC

Sondeo 3 Profundidad 4.20 - 7,80 m				
LATA	1	2	3	
PESO FRASCO+AGUA+SUELO	31,47	31,56	31,59	grs.
PESO FRASCO+AGUA	14,56	14,89	14,37	grs.
PESO SUELO SECO	13,60	13,90	14,50	grs.
PESO SUELO EN AGUA	21,15	21,99	21,69	grs.
VOLUMEN DEL SUELO	7,55	8,09	7,19	cm3
PESO ESPECIFICO	1,80	1,72	2,02	grs./cm3
PROMEDIO		1,85		**grs./cm3**

Peso unitario en seco Tm/m3 1,60 - 2,16 Arena Arcillosa Limosa Con Grava SC - SM

Sondeo 3 Profundidad 7,80 - 11,40 m				
LATA	1	2	3	
PESO FRASCO+AGUA+SUELO	31,47	31,56	31,59	grs.
PESO FRASCO+AGUA	14,56	14,89	14,37	grs.
PESO SUELO SECO	13,60	13,90	13,60	grs.
PESO SUELO EN AGUA	21,15	21,99	21,69	grs.
VOLUMEN DEL SUELO	7,55	8,09	8,09	cm3
PESO ESPECIFICO	1,80	1,72	1,68	grs./cm3
PROMEDIO		1,73		**grs./cm3**

Peso unitario en seco Tm/m3 1,60 - 2,08 Arena Limosa Con Grava SM

Sondeo 3 Profundidad 11,40 - 15,00 m				
LATA	1	2	3	
PESO FRASCO+AGUA+SUELO	31,47	31,56	31,59	grs.
PESO FRASCO+AGUA	14,53	14,85	14,43	grs.
PESO SUELO SECO	13,60	13,90	13,75	grs.
PESO SUELO EN AGUA	21,15	21,99	21,69	grs.
VOLUMEN DEL SUELO	7,55	8,09	7,94	cm3
PESO ESPECIFICO	1,80	1,72	1,73	grs./cm3
PROMEDIO		1,75		**grs./cm3**

Peso unitario en seco Tm/m3 1,60 -.2,16 Arena arcillosa con Grava SC

HIDRAULI-
CO_PUENTE_ALBANIA

493

Mayo de 2021

MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD

Por este medio, yo **LAURA ANDREA GUTIERREZ MOLANO**, **Ingeniera Ambiental especialista en recursos hídricos**, con matrícula profesional **15238-348332BYC**, presento la elaboración de los estudios **HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACION** del proyecto **CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO EN LA VEREDA CANOAS SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA** , los cuales han sido elaborados teniendo en cuenta los requerimientos de INVIAS (Manual de drenaje de INVIAS) y procedimientos técnicos de la resolución 0330 de 2017. Declaro que me hago responsable por perjuicios que a causa de ellos puedan deducirse, excepto cuando la construcción de la presente obra sea utilizada para actividades que no concuerden con lo expuesto en el estudio anexo debidamente firmado, o que cambien los archivos insumo suministrados por la consultoria.

Atentamente,

LAURA ANDREA GUTIERREZ M.
Ingeniera Ambiental
M.P. 15238-348332 BYC

LAURA ANDREA GUTIÉRREZ MOLANO
Ingeniera Ambiental
Esp. En recursos hídricos
C.c.: 1.057.597.349
M.P.: 15238-348332 BYC
Cel.: 310 273 11 5

494



Universidad de Boyacá

Laura Andrea Gutiérrez Molano

Ingeniera Ambiental

DIPLOMA

Diciembre

12973

USO EXCLUSIVO
SOPORTE DE DOCUMENTOS
CONTRUCCIÓN DE BOX CULVER
UBICADO SOBRE LA QUEBRADA CANUTILLO,
SECTOR EL TOLDO EN EL
MUNICIPIO DE PLABANIA SANTANDER



UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia

Vigilada Mineducación

Personería Jurídica: Resolución del Ministerio de Colombia No. 2271 de julio de 1970

Acreditada Institucionalmente mediante [illegible] otorgada por el Ministerio de Educación Nacional

CONSIDERANDO QUE:

LAURA ANDREA GUTIÉRREZ MOLANO

C.C. 1057597349 SOGAMOSO

APROBÓ LOS ESTUDIOS DE POSGRADO PROGRAMADOS POR LA UNIVERSIDAD Y CUMPLIÓ CON LOS REQUISITOS EXIGIDOS POR LA LEY Y LOS REGLAMENTOS, LE CONFIERE EL TÍTULO DE

ESPECIALISTA EN
RECURSOS HÍDRICOS

EN TESTIMONIO DE LO EXPUESTO SE EXPIDE EL PRESENTE DIPLOMA QUE ASÍ LO ACREDITA.

BOGOTÁ D.C., SEPTIEMBRE 24 DE 2020

RECTOR

SECRETARIO GENERAL

ANOTADO AL LIBRO 4 FOLIO No. 11 26PC DEL 24 DE SEPTIEMBRE DE 2020

DECANO

24815

USO EXCLUSIVO
SOPORTE DOCUMENTOS
CONTRUCCIÓN DE BOX CULVER
UBICADO SOBRE LA QUEBRADA CANUTILLO,
SECTOR EL TOLDO EN EL
MUNICIPIO DE LEBRIJA-SANTANDER

484

496



USO EXCLUSIVO
SOPORTE DOCUMENTOS
CONSTRUCCIÓN BOX COLVER
UBICADO SOBRE LA QUEBRADA CANUTILLO,
SECTOR EL TOLDO EN EL
MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

497

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2021-785348

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que LAURA ANDREA GUTIERREZ MOLANO, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1057597349, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA AMBIENTAL con MATRICULA PROFESIONAL 15238-348332 desde el 30 de Diciembre de 2016, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 1707.

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 dos (02) días del mes de Junio del año dos mil veintiuno (2021).

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.

498

CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO EN LA VEREDA CANOAS SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA

ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO Y SOCAVACIÓN

Elaborado por:



LAURA ANDREA GUTIERREZ MOLANO
Ingeniera Ambiental
Esp. En recursos Hídricos
15238-348332BYC



MARIA CAMILA RODRIGUEZ PIRABAN
Secretaria de Planeación
Revisó

Mayo de 2021

CONTENIDO

Pág.

1. GENERALIDADES 7

1.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO 7

2. OBJETIVOS Y ALCANCES 8

3. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS 9

4. ESTUDIO HIDROLÓGICO 12

4.1. CUENCA 12

4.1.1. Área de la cuenca 12

4.1.2. Pendiente de la cuenca 13

4.1.3. Red de drenaje: 14

4.2. ANÁLISIS DE LLUVIAS 17

4.2.1. Precipitación media multianual 18

4.2.1.1. Completamiento de datos con python 18

4.3. DISTRIBUCIÓN DE LLUVIA POR MEDIO DE POLÍGONOS DE THIESSEN E ISOYETAS 21

4.4. PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS 22

4.4.1. Análisis estadístico 24

4.4.1.1. Gumbel 24

4.4.1.2. Gamma de 2 parámetros 26

4.4.1.3. Distribución normal: 28

4.4.1.4. Lognormal de 2 parámetros: 29

4.4.1.5. Resultados análisis estadístico 30

4.5. ESTIMACIÓN DE INTENSIDAD 32

4.5.1. Intensidades maximas mm/24 hr para un Tr de 5 años 33
4.5.2. Intensidades maximas mm/24 hr para un Tr de 10 años 36
4.5.3. Intensidades maximas mm/24 hr para un Tr de 25 años 40
4.5.4. Intensidades maximas mm/24 hr para un Tr de 50 años 43
4.6. CURVAS IDF PARA LA CUENCA 47
4.7. HIETOGRAMAS DE DISEÑO 48
4.8. ANÁLISIS DE CAUDALES 50
4.8.1. Modelación hidrológica – estimación de caudales máximos 52
4.8.1.1. Método Clark hidrograma unitario 52
4.8.2. Método racional - caudal de diseño 54
5. ESTUDIO HIDRÁULICO 56
5.1.1. Coeficiente de resistencia hidráulica 59
5.1.2. Condiciones de frontera 60
5.1.3. Caudal total modelación hidráulica 60
5.1.4. Resultados modelación hidráulica 61
5.1.5. Llanura de inundación 65
5.2. EVALUACIÓN POR SOCAVACIÓN 66
5.2.1. Socavación general 66
5.2.2. Socavación local 68
5.2.3. Resultados de la socavación 70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 74

501

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Localización 7
Figura 2 Localización de estaciones del IDEAM 10
Figura 3 Información plancha IGAC 11
Figura 4 Topografía detalle del proyecto 11
Figura 5 Cuenca – Área de estudio 13
Figura 6 Cuenca – Orden de drenaje 14
Figura 7. Precipitación media mensual multianual (mm) 18
Figura 8. Precipitación mensual mm – Datos crudos IDEAM 19
Figura 9. Correlación entre estaciones - IDEAM 20
Figura 10. Ajuste de datos 21
Figura 11. Isoyetas y Polígonos de Thiessen 21
Figura 12. Precipitación máxima en 24 Horas (mm) – Albania [23125060] 22
Figura 13 Modelo estadístico Gumbel 25
Figura 14 Modelo estadístico Gamma 27
Figura 15 Modelo estadístico Normal 29
Figura 16 Modelo estadístico LogNormal 30
Figura 17 Curvas IDF de la cuenca 47
Figura 18 Condiciones de Frontera 52
Figura 19 Resultados de modelación HEC-HMS – Pr = 5años – Caudales máximos 52
Figura 20. Curvas de nivel – Modelo de inundación 58
Figura 21. Secciones transversales 59
Figura 22. Perfil Hidráulico quebrada de estudio 61
Figura 23 Perfil – Secciones transversales 63

Figura 24 – Huellas de Inundación 65

Figura 25. Resultados de laboratorio - Suelos 70

Figura 26 Calculo de socavación– HEC-RAS 71

Figura 27 Reporte cálculo de socavación– HEC-RAS 72

S03

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Datos estaciones hidroclimatológicas 10

Tabla 2 Orden de corriente y coeficiente de bifurcación 14

Tabla 3 Registro de precipitación mensual en 24 HRS 23

Tabla 4 Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov para Gumbel 24

Tabla 5 Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov para Gamma de 2 parámetros 26

Tabla 6 Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov para la distribución normal 28

Tabla 7: Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov para la distribución LogNormal 29

Tabla 8 Precipitación, probabilidades de no excedencia y tiempo de retorno 31

Tabla 9 Parámetros de ajuste de la regresión (valores para Colombia) 33

Tabla 10 Intensidades vs tiempo 47

Tabla 11 Hietogramas 48

Tabla 12 Caudales máximos – Método Clark Hidrograma Unitario 54

Tabla 13 Caudales máximos - Método Racional 55

Tabla 14 Coeficiente de resistencia hidráulica – Método de Cowan 60

Tabla 15 Caudal modelación hidráulica 61

Tabla 16 Resultados hidráulicos 62

SC4

1. GENERALIDADES

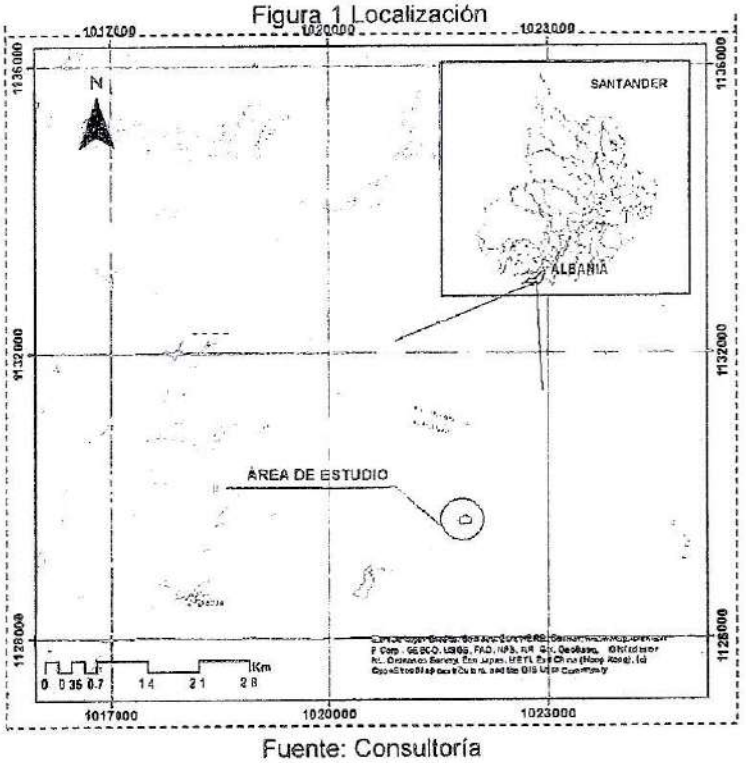
1.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

MUNICIPIO: Albania

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE PUENTE VEHICULAR UBICADO EN LA VEREDA CANOAS SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA.

En la figura 1 se observa la ubicación donde se realizará el estudio hidrológico, hidráulico y socavación del puente vehicular ubicado sobre la vereda Canoas sector la Selva ubicado sobre la quebrada la Boba en el municipio de Albania – Santander.

Figura 1 Localización



Fuente: Consultoría

505

2. OBJETIVOS Y ALCANCES

Dentro del desarrollo de los estudios hidrológicos e hidráulicos y socavación para la construcción del puente vehicular sobre la quebrada Boba en la vereda Canoas municipio de Albania departamento de Santander

se pretende alcanzar entre otros los siguientes objetivos:

- Realizar el estudio hidrológico a partir de las estaciones pluviométricas y/o climatológicas cercanas al área de estudio.
- Conocer el comportamiento pluviométrico y climatológico.
- Calcular intensidades de lluvia a diferentes periodos de retorno como insumo principal para el estudio hidráulico.
- Desarrollar el estudio hidráulico, definiendo los niveles de agua a partir de áreas aferentes delimitadas en el área de estudio.
- Calcular socavación en el puente propuesto por la consultoría.

3. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LOS ESTUDIOS

El procedimiento para la realización de los estudios de hidrología, hidráulico y socavación contempla los siguientes parámetros:

- Realizar una visita técnica al área de estudio, con el fin de delimitar la zona de interés y evaluar de manera visual la situación actual, y con base en ésta, verificar la proyectada con los cambios realizados en levantamiento topográfico.
- Realizar el análisis de la información hidrometeorológica y cartográfica recopilada de la zona de estudio para determinar las variables involucradas dentro del estudio hidrológico.
- Determinar la cuenca y/o áreas aferentes que requieran el análisis de caudal con sus respectivas características como área, pendiente y cobertura vegetal entre otras.
- Determinar caudales máximos para periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años a través de la construcción de un modelo lluvia caudal o proyección de caudales según fuese el registro histórico disponible.
- Recopilar la información de planos proyectados con la modificación de curvas de nivel en el área de interés, para el análisis hidráulico y niveles máximos de inundación.
- Determinar los parámetros hidráulicos con base en la geometría obtenida de la topografía, trabajo de oficina, registros y observaciones de campo.
- A partir de los datos de los caudales, se determinarán las estructuras a implementar en áreas estratégicas, de la mano con el periodo de diseño el recomendado por el manual de drenaje vial.
- Analizar socavación para la construcción del puente vehicular.
- Plantear las conclusiones y recomendaciones a considerar

INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLOGICA

La actividad de recopilación y análisis de la información existente y básica se orientó particularmente en los aspectos de cartografía, e información hidrometeorológica de estaciones activas del IDEAM. A partir de cartografía IGAC y la suministrada por el municipio se obtuvieron las planchas a escala 1:125.000, siendo el principal insumo para el procesamiento SIG y el análisis climatológico; se obtuvieron los registros de lluvias de las estaciones operadas por el IDEAM ubicadas en las cuencas hidrográficas involucradas en el estudio.

507

En la siguiente tabla se relacionan las estaciones e información utilizada para el desarrollo del presente capitulo. El Anexo 1. Datos estaciones IDEAM, se presenta los datos originales del IDEAM.

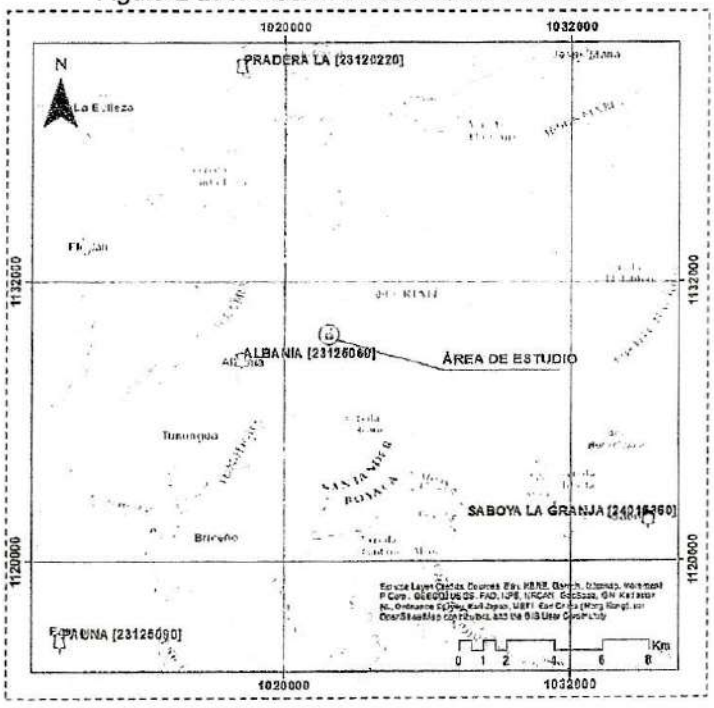
Tabla 1 Datos estaciones hidroclimatológicas

ENTIDAD	CODIGO	NOMBRE	TIPO	MUNICIPIO	REGISTRO DE DATOS
IDEAM	23125090	PAUNA	ME	PAUNA	1995 - 2020
IDEAM	24015360	SABOYÁ LA GRANJA	CO	SABOYÁ	1995 - 2020
IDEAM	23125060	ALBANIA	CO	ALBANIA (SANTANDER)	1995 - 2020
IDEAM	23120220	LA PRADERA	PL	JESÚS MARÍA	1995 - 2020

Fuente: IDEAM, procesado por el autor

Las estaciones nombradas en la tabla anterior se ilustran en la siguiente figura.

Figura 2 Localización de estaciones del IDEAM

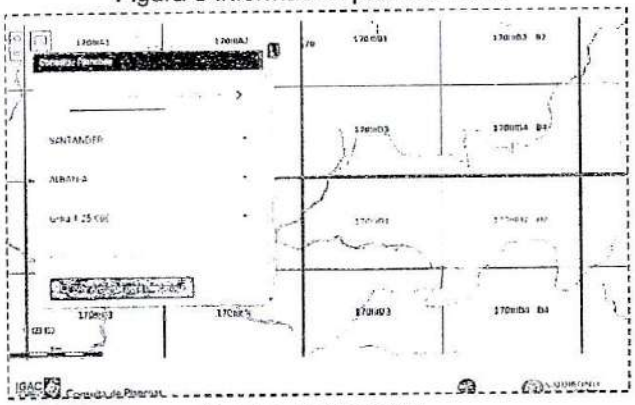


Fuente: Base IDEAM, procesada por el autor

- **INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA**

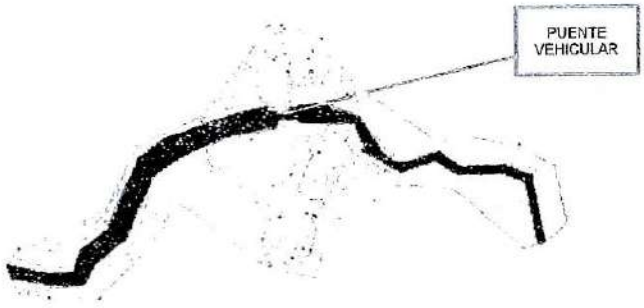
Se adelantó una investigación directa sobre cartas del IGAC que contienen la configuración y características topográficas de la cuenca del rio a analizar. La plancha IGAC consultada corresponde a la carta IGAC en escala 1:25.000 y la topografía detallada levantada por la consultoría del proyecto, lo anterior siendo de datos abiertos para el departamento de Santander e insumos del proyecto.

Figura 3 Información plancha IGAC



Fuente: Portal IGAC

Figura 4 Topografía detalle del proyecto



Fuente: Consultoría

4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

A partir de la necesidad de conocer el comportamiento hidrológico e hidráulico para todos aquellos proyectos de infraestructura se hace necesario conocer un análisis detallado del área de interés teniendo en cuenta todos los requerimientos dados por las normas, manuales y metodologías avaladas en Colombia.

Uno de los principales manuales para la aplicación de esto es el manual de drenaje de invias, también conocido como manual para hidrología, hidráulico con aplicación en el diseño y construcción de obras típicas para el drenaje y subdrenaje de carreteras o proyectos de protección marginal.

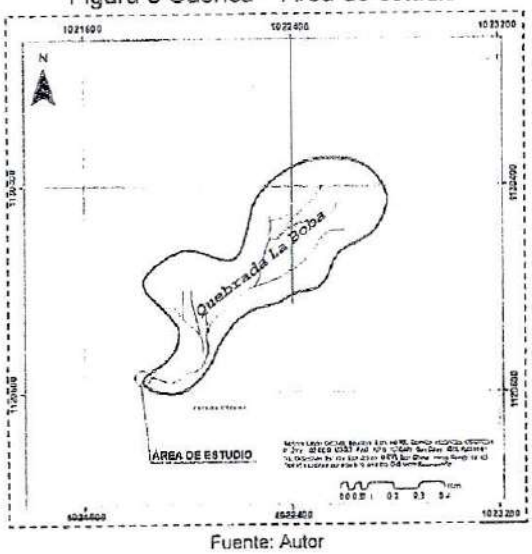
Este documento recopila todos los requerimientos para la elaboración de estudios de esta índole. Esta metodología es aplicable para todos aquellos estudios que requieran un estudio detallado de hidrología, como en la aplicación de estructuras para el manejo de escorrentía, entre otras.

4.1. CUENCA

4.1.1. Área de la cuenca

El área total de la cuenca es delimitada por el parteaguas o en proyección horizontal definida por capas y cumpliendo con la delimitación de las cuencas y cartografía IGAC como se muestra en la siguiente ilustración. El área total es de 0.3577Km^2. De acuerdo a el área correspondiente a esta cuenca se determina por literatura que es una cuenca muy pequeña.

Figura 5 Cuenca – Área de estudio



Fuente: Autor

4.1.2. Pendiente de la cuenca

Existen diferentes metodologías para evaluar la pendiente de una cuenca, esto dependiendo de la información que se tenga o del posterior uso que se le quiera dar al resultado. Para el presente estudio se obtiene la pendiente por medio de datos presentados por el software HEC RAS ya que esta entrega datos precisos de las alturas y perfiles hallados por medio del levantamiento topográfico. La ecuación utilizada es:

$$P = \frac{\Delta H}{L}$$

$$P = \frac{2535m - 2189m}{1161.67\,m}$$

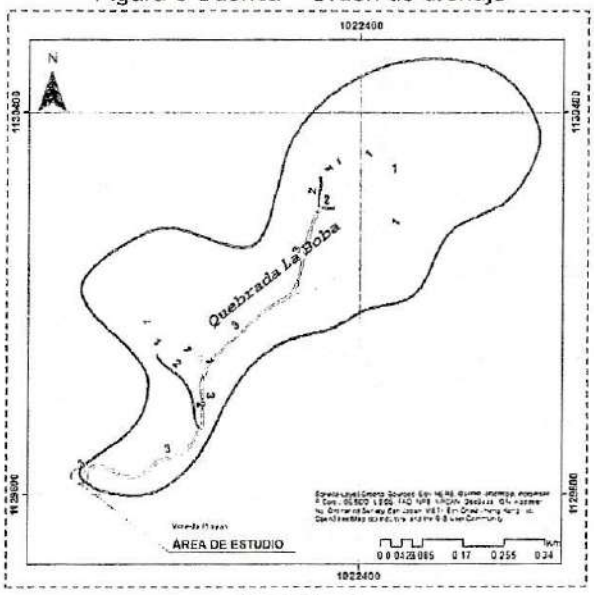
$$P = 0.2978 = 29.78\,\%$$

De acuerdo a la caracterización de relieve, se considera que la zona de estudio cuenta con una pendiente en el rango del 29.78% considerado como un tipo de terreno con pendiente alta.

511

4.1.3. Red de drenaje:

Figura 6 Cuenca – Orden de drenaje



Fuente: Autor

- **ORDEN DE LAS CORRIENTES Y COEFICIENTE DE BIFURCACIÓN:** Es la proporción que existe entre el número de corrientes la cantidad de órdenes de la cuenca y el número de corrientes de orden inferior y en la mayoría de las cuencas suelen ser constante. El coeficiente que corresponde para la cuenca de estudio es:

Tabla 2 Orden de corriente y coeficiente de bifurcación

ORDENES DE LAS CORRIENTES			
1° Orden	9	Rb = 3 / 2	1.5
2° Orden	4	Rb=4/5	0.8
3° Orden	5		
TOTAL	18		

Rb = 1.15

Fuente: Autor

Este coeficiente indica la forma de la cuenca, por lo que se considera que de acuerdo al resultado es una cuenca alta, además demuestra que es una cuenca

alargada con una alternancia de afloramientos contrastantes en sus características litológicas y cuantiosa caída de rocas.

- **DENSIDAD DE LA CORRIENTE:** La densidad de corriente es una característica muy particular y precisa que permite conocer una información más real al comportamiento o características especiales de las cuencas. La ecuación a utilizar es:

$$D_S = \frac{N_s}{A}$$

$$D_S = Densidad\ de\ corriente$$
$$N_s = Número\ de\ corrientes\ de\ la\ cuenca$$
$$A = Área\ de\ la\ cuenca$$

$$D_S = \frac{9 + 4 + 5}{0.3577\ \mathrm{Km2}}$$

$$D_S = 50.3215\ {Corrientes}/{Km^2}$$

La densidad de corriente de 50.3215 corrientes / km2, indica que se trata de una cuenca medianamente drenada y que cuenta con un régimen pluvial de poco valor o resistencia del material litológico de gran magnitud.

- **FACTOR DE FORMA:** Es uno de los parámetros que explica la elongación de una cuenca. Se expresa como la relación entre el área de la cuenca y la longitud de la misma. El parámetro está definido por la siguiente expresión:

$$F_f = \frac{A}{L^2}$$

$$F_f = Factor\ de\ forma$$
$$L = Longitud\ de\ la\ cuenca$$
$$A = Área\ de\ la\ cuenca$$

$$F_f = 0.2651$$

Si la forma de la cuenca es aproximadamente circular, entonces el valor de F_f se acercará a uno. Mientras que, las cuencas más alargadas, tendrán un F_f menor. En las cuencas alargadas, las descargas son de menor volumen debido a que el cauce de agua principal es más largo que los cauces secundarios y los tiempos de concentración para eventos de precipitación son distintos. De acuerdo a los resultados, la cuenca de estudio es una cuenca con tendencia alargada.

- **DENSIDAD DE DRENAJE**

Este parámetro indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua irregulares y regulares de la cuenca y la superficie total de la misma. De otra manera, expresa la capacidad de desalojar un volumen de agua dado (López Cadenas de Llano, 1998).

Este parámetro es muy representativo respecto a la topografía de la cuenca en los estudios. Valores mínimos de esta relación están asociados a regiones con materiales de suelo poco erosionables, baja cubierta de vegetación y pendientes planas. Mientras que, valores altos refieren a que las precipitaciones intervienen rápidamente sobre las descargas de los ríos. Generalmente, estas regiones tienen suelos impermeables y pendientes fuertes. Se expresa con la siguiente ecuación:

$$Dd = \frac{Li}{A}$$

$$Dd = Densidad\ de\ drenaje$$
$$Li = Largo\ total\ de\ los\ cursos\ de\ agua\ en\ Km$$
$$A = Área\ de\ la\ cuenca$$

$$Dd = \frac{2.7028\ km}{0.3577\ km2}$$

$$\mathrm{Dd} = 7.5561\ \mathrm{km/km2}$$

Según la clasificación de valores referenciales, la cuenca de estudio presenta una densidad de drenaje alta.

- **TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (TC)**

Es el tiempo transcurrido entre el final del hietograma de excesos y el final del escurrimiento directo, siendo ésta la definición que aparece reseñada en la literatura

con mayor frecuencia. Sin embargo, otros autores reportan el Tc como el tiempo comprendido entre el centroide del hietograma de excesos y el punto de inflexión sobre la curva de recesión del hidrograma de escurrimiento directo.

Además, se puede definir como el tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial.

Existen una serie de fórmulas que permiten el cálculo de este tiempo desarrolladas por diversos autores. Algunas de las fórmulas que se emplean para el cálculo de este tiempo son las siguientes: Método de Rowe, Método de Kirpich, Método de SCS, entre otros.

El cálculo para las metodologías aplicadas en la zona de estudio es:

A) Método de Rowe

$$Tc = \left(\frac{0.87\ L^{3}}{D} \right)^{0.385} = 0.12 \text{ HRS}$$

B) Método de Kirpich

$$Tc = 0.0003245 \left(\frac{L^{0.77}}{S^{1/2}} \right) = 0.12 \text{ HRS}$$

C) Método del SCS

$$Tc = \frac{1.15\ L}{3085\ D^{0.38}} = 0.12 \text{ HRS}$$

			min
Tc seleccionado =	0.12	HRS	7.061
	Lag time		4.237

El tiempo de concentración es 0.12 hrs o 7.061 min desde el inicio de la cuenca hasta la zona de estudio, clasificado como tiempo de concentración medio a nivel general, pero es necesario que esto se analice a detalle en diferentes tramos ya que es una cuenca de altas pendientes.

4.2. ANÁLISIS DE LLUVIAS

515

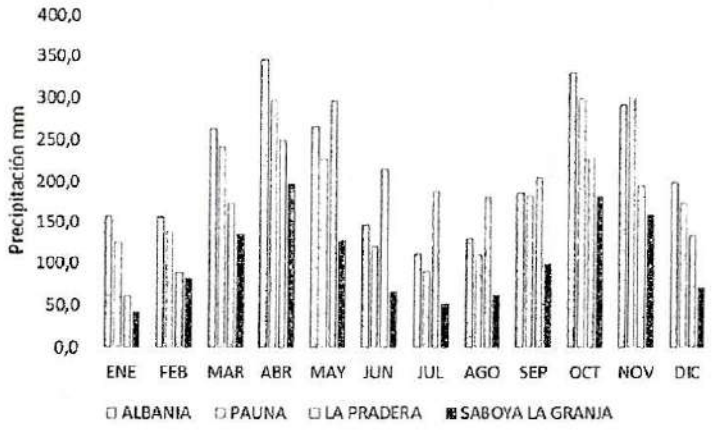
Para el análisis de lluvia se toma como referencia las estaciones nombradas en la tabla 1 con información hidroclimatológica, dado que estas cuentan con registros históricos de precipitación y son las más cercanas al área de estudio.

4.2.1. Precipitación media multianual

Analizando las estaciones más cercanas al área de estudio, En la siguiente figura se presentan los valores medios mensuales de precipitación registrados en la estación Albania, Pauna, La pradera y Saboyá la Granja La distribución temporal a lo largo del año presenta un régimen bimodal, con temporadas de lluvias fuertes entre les meses de abril y octubre y con los dos meses más secos de julio y agosto.

En la siguiente figura se ilustra la precipitación mensual multianual de las estaciones más cercanas al área de estudio, ya que estas cuentan con registros históricos de precipitación.

Figura 7. Precipitación media mensual multianual (mm)



Fuente: IDEAM, procesado por el autor

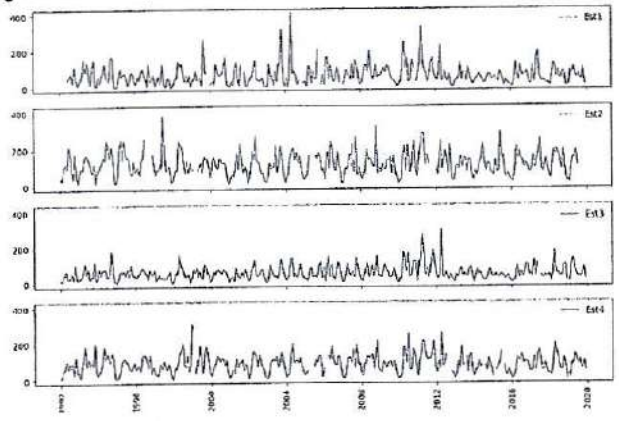
4.2.1.1. Completamiento de datos con python

El análisis anterior se realizó teniendo en cuenta los datos crudos suministrados por el IDEAM. Para el ajuste y correlación de datos con el fin de realizar completamiento de datos y así disminuir el error en aquellos meses que posiblemente ocurrió un error en los datos tomados por la estación, se realizó una regresión de red neural de configuración multilayer perceptron, método que se usa con el fin de formar

múltiples capas para resolver problemas que no son linealmente separables, y que puede estar total o parcialmente conectado. Lo anterior se programó en el lenguaje Python.

En la siguiente figura se ilustra los datos crudos, usados para hacer el completamiento de datos. Las estaciones graficadas corresponden a las más cercanas al área de estudio.

Figura 8. Precipitación mensual mm – Datos crudos IDEAM



Fuente: IDEAM y Atom, procesado por el autor

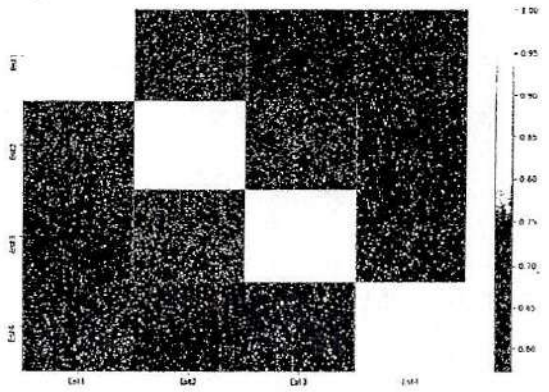
La relación anterior se identifica de la siguiente así:

- Est1: Pauna
- Est2: Saboya la Granja
- Est3: La pradera
- Est4: Albania

La siguiente figura ilustra la correlación presente entre cada una de las estaciones.

517

Figura 9. Correlación entre estaciones - IDEAM



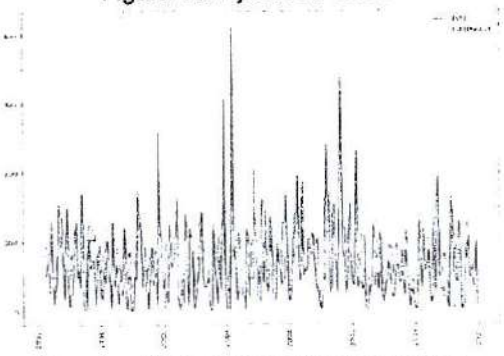
Fuente: Atom, procesado por el autor

La figura anterior indica que la Est2 está más correlacionada con la Est4 que con la Est1 Y Est3. La Est3 está más correlacionada con la Est1 y Est4 que con la Est2. Finalmente, la Est4 está más correlacionada con la Est2 y luego con la Est3. Lo anterior indica que la estación menos correlacionada con la Est2.

Si no estuvieran correlacionados los datos no convendrían que algunas estaciones estuvieran en la red neural; entonces, para este caso de estudio, el r está por encima de valores a 0.7 y presentando predominancia en valores de r cercanos y por encima de 0.75. Por lo anterior las cuatro estaciones cumplen con los ajustes para estudiarse en la red neural.

Finalmente, el método permitió así mismo conocer un ajuste de datos entre cada una de las estaciones, con el fin de ver y corregir datos atípicos, como se ilustra en la siguiente figura:

Figura 10. Ajuste de datos

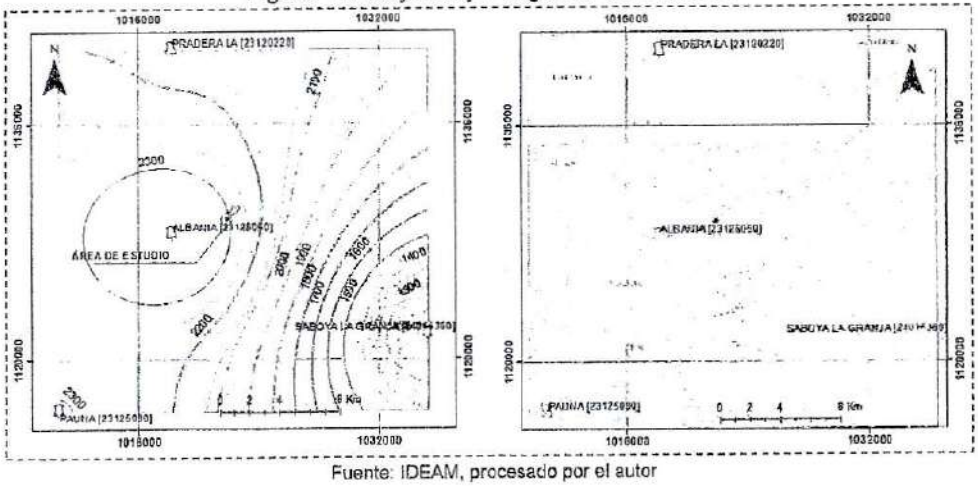


Fuente: Atom, procesado por el autor

4.3. DISTRIBUCIÓN DE LLUVIA POR MEDIO DE POLÍGONOS DE THIESSEN E ISOYETAS

A partir de registros históricos de la base de datos del IDEAM y el completamiento de datos, se relacionan las estaciones más cercanas al sitio de análisis, esto como referencia para la interpolación de precipitación (Isoyetas) y la construcción de polígonos de Thiessen. En la siguiente figura se ilustra el comportamiento de la precipitación media multianual en el polígono de estudio.

Figura 11. Isoyetas y Polígonos de Thiessen



Fuente: IDEAM, procesado por el autor

S19

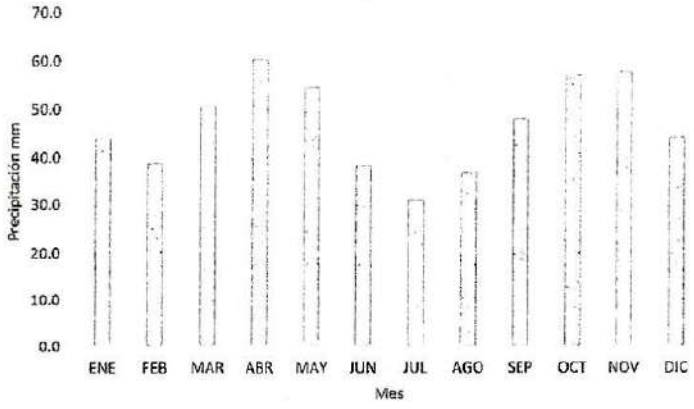
De acuerdo a los resultados ilustrados en la figura anterior la estación correspondiente al área de estudio es Albania [23125060], cumpliendo con las dos interpolaciones, ya que en el cálculo de isoyetas la precipitación que corresponde al área de estudio es de 88.42 mm/año y la estación Albaina registra una precipitación promedio cercana a esta.

4.4. PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS

La precipitación máxima en 24 horas mensual en la estación Albania [23125060] en promedio es de 47 mm y varía entre un mínimo de 31.1 mm en el mes de julio y un máximo de 60.5 mm en el mes de abril.

En promedio, los periodos de menores valores se presentan en los meses de febrero, junio, julio y agosto, mientras las épocas de mayores valores ocurren durante los meses de abril, octubre y noviembre, lo anterior se observa en la siguiente figura:

Figura 12. Precipitación máxima en 24 Horas (mm) – Albania [23125060]



Fuente: IDEAM, procesado por el autor

Los registros de precipitaciones máximas en 24 hrs se obtuvieron del banco de datos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Los datos de la estación, tienen una longitud de registro de 26 años comprendidos entre 1995 a 2020. Las demás estaciones utilizadas en polígonos de Thiessen, aunque cuentan con un buen registro histórico, están muy alejadas a la zona estudio.

Finamente se tomó la estación Albania, como insumo principal para el estudio hidráulico. Los registros se observan en la siguiente tabla:

Tabla 3 Registro de precipitación mensual en 24 HRS

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS

SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL

PRECIPITACIÓN MAXIMA 24 HORAS mm

NOMBRE ALBANIA [23125060]

ID PARAMETRO PRECIPITACION

FECHA DE PROCESO: 2021/05/20

LATITUD 5.7583 N LONGITUD -73.9133 W ALTITUD 1690

FECHA-INSTALACION 15/03/1974

TIPO EST CLIMÁTICA ORDINARIA ELEVACION 1690 m.s.n.m

DEPTO SANTANDER MUNICIPIO ALBANIA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	13,2	25,2	34,2	80,0	72,0	36,0	62,0	47,0	47,9	67,8	57,0	37,0
1996	18,3											
1997	84,0	35,0	25,0	133,0	50,9	100,2	3,0	12,3	70,1	61,0	60,7	40,0
1998	40,0	70,4	50,0	80,7	80,5	26,0	40,5	40,5	70,0	55,0	81,0	53,0
1999	47,0	103,0	34,2	30,6	30,9	70,0	30,0	30,7	46,2	59,0	28,0	60,0
2000	39,0	42,0	44,1	36,0	35,3	50,4	23,0	26,8	29,2	43,0	57,0	37,0
2001	41,0	48,0	51,0	30,0	124,2	20,2	21,0	18,2	34,6		42,0	29,0
2002	45,2	30,0	58,0	37,4	44,0	16,3				56,4	25,0	80,7
2003	40,0	40,0	47,0	80,2	39,0	80,2	32,0	29,0	27,2	48,7	50,0	54,0
2004	56,0	19,2	43,2	56,0	67,0	92,0	50,0	34,2	42,0	42,4		
2005								26,0	58,0	54,6	106,0	34,0
2006	50,0		70,0	58,0	96,2	40,0	9,8	49,5	49,7	64,5	43,0	50,8
2007	53,9	18,7	35,4	62,8	60,5	26,7	29,6		22,1	62,3	124,0	39,4
2008	76,5	30,8	60,6	46,0	63,1	28,2	26,8	49,9	44,1	84,3	62,2	65,2
2009	64,5	28,2	59,8	52,0	57,1	39,3	16,9	30,6	36,4	31,5	45,0	35,1
2010	7,1	36,8	56,4	98,2	47,0	28,0	26,0	50,2	44,0	44,0	71,0	53,0
2011	29,0	41,9	52,7	93,0	53,5	14,2	73,2	77,0	26,0	35,0	100,2	53,0
2012	57,2	14,2	84,9	42,4	27,2	20,0	12,0	25,0	52,0	83,0	22,4	30,0
2013	24,3	60,3	57,0	49,0	71,0	22,0	90,5	55,4	39,0	66,0	48,3	58,0
2014	24,4	35,2	78,0	21,4	40,0	27,5	46,8	16,5	34,4	77,4	42,8	46,3
2015	28,1	40,0	43,2	89,5	23,4	30,8	15,5	27,0	35,6	39,2	51,0	24,2
2016	7,1	19,8	56,9	72,0	37,0	20,0	26,8	30,0	55,0	48,0	78,5	49,2
2017	81,4	19,7	41,6	48,6	68,2	33,4	9,0	64,4	58,2	68,2	49,2	30,2
2018	53,2	51,2	74,4	65,6	55,8	67,8	15,1	62,6	68,5	86,8	40,2	43,9
2019	45,3	33,3	35,9	66,4	39,5	19,4	21,9	13,3	43,9	53,9	47,9	22,4
2020	75,9	54,2	22,9	44,1	32,5	17,5	34,3	34,8	120,2	45,6	60,5	39,5

Fuente: IDEAM

S21

4.4.1. Análisis estadístico

Con el registro de precipitaciones mensual en 24 HRS, datos proporcionados por el IDEAM, se realizó un análisis estadístico empleando los modelos probabilísticos Gumbel, Gamma de 2 parámetros, Normal, Lognormal de 2 parámetros, con hidroesta.

Con el fin de estimar los valores de precipitación esperada para varios periodos de retorno, es necesario verificar el ajuste de los datos de la serie de precipitaciones máximas a una distribución de probabilidades conocida. A continuación, se revisa su ajuste de distribución mediante el ajuste de Smirnov Kolmogorov utilizando el programa "Hidroesta".

4.4.1.1. Gumbel

Tabla 4 Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov para Gumbel

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	18,0	0,0370	0,0000	0,0000	0,0370
2	57,0	0,0741	0,0476	0,0474	0,0265
3	64,0	0,1111	0,1246	0,1243	0,0135
4	66,0	0,1481	0,1544	0,1540	0,0063
5	78,0	0,1852	0,3775	0,3773	0,1923
6	78,0	0,2222	0,3775	0,3773	0,1553
7	80,0	0,2593	0,4173	0,4171	0,1580
8	80,0	0,2963	0,4173	0,4171	0,1210
9	80,0	0,3333	0,4173	0,4171	0,0840
10	81,0	0,3704	0,4370	0,4369	0,0667
11	81,0	0,4074	0,4370	0,4369	0,0296
12	84,0	0,4444	0,4949	0,4948	0,0504
13	84,0	0,4815	0,4949	0,4948	0,0134
14	86,0	0,5185	0,5320	0,5320	0,0135
15	89,0	0,5556	0,5849	0,5849	0,0294
16	90,0	0,5926	0,6017	0,6018	0,0091
17	92,0	0,6296	0,6340	0,6341	0,0044
18	96,0	0,6667	0,6930	0,6931	0,0263
19	98,0	0,7037	0,7196	0,7197	0,0159
20	100,0	0,7407	0,7444	0,7445	0,0036
21	103,0	0,7778	0,7781	0,7783	0,0003
22	106,0	0,8148	0,8080	0,8082	0,0068
23	120,0	0,8519	0,9051	0,9053	0,0532
24	124,0	0,8889	0,9229	0,9230	0,0340
25	124,0	0,9259	0,9229	0,9230	0,0031
26	133,0	0,9630	0,9519	0,9521	0,0110

Fuente: HIDROESTA

Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel. El ajuste con momentos ordinarios es:

Como el delta teórico 0.1923, es menor que el delta tabular 0.2667. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

- **Parámetros de la distribución Gumbel:**

Con momentos ordinarios:

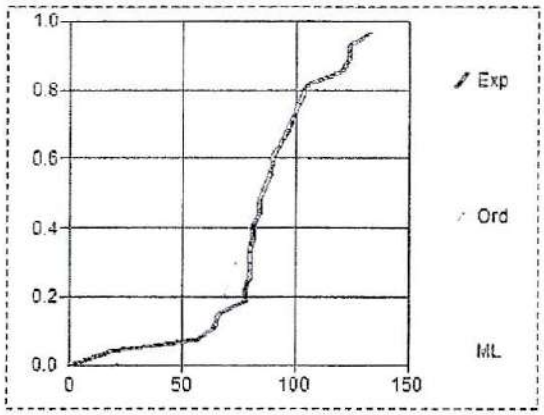
Parámetro de posición (μ)= 77.5168
Parámetro de escala (alfa)= 18.4282

Con momentos lineales:

Parámetro de posición (μl)= 77.528
Parámetro de escala (alfal) = 18.4088

La siguiente figura representa el modelo estadístico Gumbel

Figura 13 Modelo estadístico Gumbel



Fuente: HIDROESTA

4.4.1.2. Gamma de 2 parámetros

Tabla 5 Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov para Gamma de 2 parámetros

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	G(Y) Mom Lineal	Delta
1	18.0	0.0370	0.0001	0.0004	0.0370
2	57.0	0.0741	0.1204	0.1578	0.0464
3	64.0	0.1111	0.1976	0.2357	0.0865
4	66.0	0.1481	0.2228	0.2601	0.0747
5	78.0	0.1852	0.3931	0.4164	0.2079
6	78.0	0.2222	0.3931	0.4164	0.1709
7	80.0	0.2593	0.4229	0.4429	0.1636
8	80.0	0.2963	0.4229	0.4429	0.1266
9	80.0	0.3333	0.4229	0.4429	0.0896
10	81.0	0.3704	0.4378	0.4561	0.0674
11	81.0	0.4074	0.4378	0.4561	0.0304
12	84.0	0.4444	0.4822	0.4952	0.0377
13	84.0	0.4815	0.4822	0.4952	0.0007
14	86.0	0.5185	0.5113	0.5209	0.0072
15	89.0	0.5556	0.5541	0.5684	0.0015
16	90.0	0.5926	0.5680	0.5706	0.0246
17	92.0	0.6296	0.5953	0.5946	0.0343
18	96.0	0.6667	0.6473	0.6404	0.0194
19	98.0	0.7037	0.6718	0.6622	0.0319
20	100.0	0.7407	0.6953	0.6832	0.0454
21	103.0	0.7778	0.7286	0.7130	0.0492
22	105.0	0.8148	0.7593	0.7410	0.0555
23	120.0	0.8519	0.8705	0.8460	0.0186
24	124.0	0.8889	0.8932	0.8688	0.0043
25	124.0	0.9259	0.8932	0.8688	0.0327
26	133.0	0.9630	0.9325	0.9101	0.0305

Fuente: Hidroesta

Ajuste de una serie de datos a la distribución Gamma. El ajuste con momentos ordinarios es: Como el delta teórico 0.2079, es menor que el delta tabular 0.2667. Los datos se ajustan a la distribución Gamma de 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Los 2 parámetros de la distribución Gamma:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de forma (gamma)= 9.949

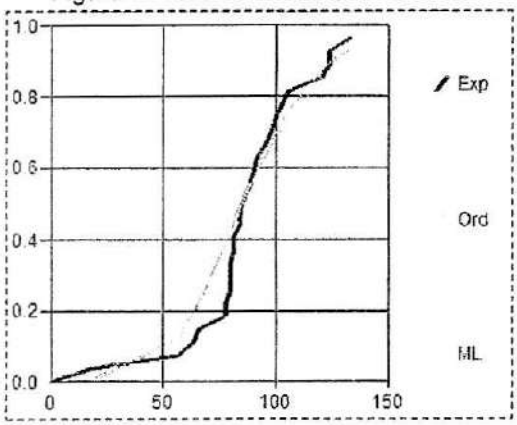
Parámetro de escala (beta)= 8.8606

Con momentos lineales:

Parámetro de forma (gammal)= 7.009
Parámetro de escala (betal)= 11.4472

La siguiente figura representa el modelo estadístico Gamma de dos parámetros:

Figura 14 Modelo estadístico Gamma



Fuente: HIDROESTA

525

4.4.1.3. Distribución normal:

Tabla 6 Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov para la distribución normal

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	18.0	0.0370	0.0015	0.0010	0.0355
2	57.0	0.0741	0.0937	0.0842	0.0197
3	64.0	0.1111	0.1534	0.1428	0.0423
4	66.0	0.1481	0.1743	0.1637	0.0261
5	78.0	0.1852	0.3337	0.3267	0.1486
6	78.0	0.2222	0.3337	0.3267	0.1115
7	80.0	0.2593	0.3651	0.3592	0.1058
8	80.0	0.2963	0.3651	0.3592	0.0688
9	80.0	0.3333	0.3651	0.3592	0.0317
10	81.0	0.3704	0.3811	0.3759	0.0107
11	81.0	0.4074	0.3811	0.3759	0.0263
12	84.0	0.4444	0.4302	0.4271	0.0142
13	84.0	0.4815	0.4302	0.4271	0.0512
14	86.0	0.5185	0.4637	0.4621	0.0548
15	89.0	0.5556	0.6143	0.6149	0.0413
16	90.0	0.5926	0.6311	0.6325	0.0615
17	92.0	0.6296	0.5646	0.5675	0.0650
18	96.0	0.6667	0.6300	0.6357	0.0366
19	98.0	0.7037	0.6615	0.6683	0.0422
20	100.0	0.7407	0.6919	0.6998	0.0489
21	103.0	0.7778	0.7350	0.7442	0.0427
22	106.0	0.8148	0.7749	0.7850	0.0399
23	120.0	0.8519	0.9111	0.9204	0.0592
24	124.0	0.8889	0.9363	0.9436	0.0464
25	124.0	0.9259	0.9363	0.9436	0.0094
26	133.0	0.9630	0.9711	0.9763	0.0082

Fuente: Hidroesta

Como el delta teórico 0.1486, es menor que el delta tabular 0.2667. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución normal:

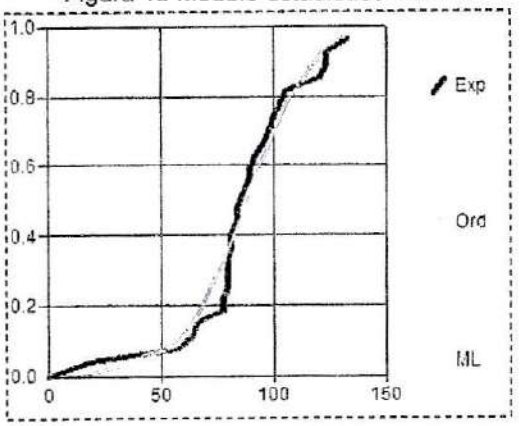
Con momentos ordinarios:

Parámetro de localización (Xm)= 88.1538
Parámetro de escala (S)= 23.635

Con momentos lineales:
Media lineal (Xl)= 88.1538
Desviación estándar lineal (Sl)= 22.6165

La siguiente figura representa el modelo estadístico normal

Figura 15 Modelo estadístico Normal



Fuente: HIDROESTA

4.4.1.4. Lognormal de 2 parámetros:

Tabla 7: Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov para la distribución LogNormal

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	18.0	0.0370	0.0000	0.0000	0.0370
2	57.0	0.0741	0.1619	0.1015	0.0778
3	64.0	0.1111	0.2361	0.1868	0.1250
4	66.0	0.1481	0.2621	0.2153	0.1140
5	78.0	0.1852	0.4245	0.4068	0.2393
6	78.0	0.2222	0.4245	0.4068	0.2023
7	80.0	0.2593	0.4511	0.4396	0.1919
8	80.0	0.2963	0.4511	0.4396	0.1548
9	80.0	0.3333	0.4511	0.4396	0.1178
10	81.0	0.3704	0.4643	0.4558	0.0939
11	81.0	0.4074	0.4643	0.4558	0.0569
12	84.0	0.4444	0.5030	0.5037	0.0586
13	84.0	0.4815	0.5030	0.5037	0.0215
14	86.0	0.5185	0.5281	0.5347	0.0096
15	89.0	0.5556	0.5644	0.5795	0.0088
16	90.0	0.5926	0.5761	0.5939	0.0165
17	92.0	0.6296	0.5989	0.6218	0.0307
18	96.0	0.6667	0.6422	0.6740	0.0245
19	98.0	0.7037	0.6625	0.6982	0.0412
20	100.0	0.7407	0.6820	0.7210	0.0587
21	103.0	0.7778	0.7096	0.7529	0.0681
22	106.0	0.8148	0.7353	0.7819	0.0795
23	120.0	0.8519	0.8316	0.8827	0.0203
24	124.0	0.8889	0.8527	0.9027	0.0362
25	124.0	0.9259	0.8527	0.9027	0.0732
26	133.0	0.9630	0.8916	0.9369	0.0713

Fuente: Hidroesta

527

Como el delta teórico 0.2393, es menor que el delta tabular 0.2667. Los datos se ajustan a la distribución logNormal 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

- **Parámetros de la distribución logNormal:**

Con momentos ordinarios:

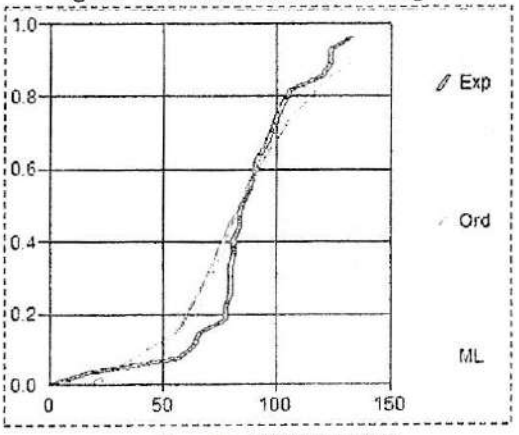
Parámetro de escala (μy)= 4.428
Parámetro de forma (Sy)= 0.3743

Con momentos lineales:

Parámetro de escala (μyl)= 4.428
Parámetro de forma (Syl)= 0.3024

La siguiente figura representa el modelo estadístico LogNormal:

Figura 16 Modelo estadístico LogNormal



Fuente: HIDROESTA

4.4.1.5. Resultados análisis estadístico

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las precipitaciones máximas y probabilidades proporcionados por el software, el cual nos indica las precipitaciones con las probabilidades de no excedencia:

Tabla 8 Precipitación, probabilidades de no excedencia y tiempo de retorno

	Tr	P Máx total en 24 HRS (mm/mes)	P (de no excedencia) %
Gumbel	2.33	88.18	56.9
Gamma de 2 parámetros		90.20	
Normal		92.36	
LogNormal de 2 parámetros		89.54	
Gumbel	5	105.16	79.8
Gamma de 2 parámetros		110.41	
Normal		108.04	
LogNormal de 2 parámetros		114.77	
Gumbel	10	118.99	89.9
Gamma de 2 parámetros		125.32	
Normal		118.45	
LogNormal de 2 parámetros		135.33	
Gumbel	20	132.25	94.9
Gamma de 2 parámetros		138.57	
Normal		127.04	
LogNormal de 2 parámetros		155.05	
Gumbel	50	149.42	97.9
Gamma de 2 parámetros		154.51	
Normal		136.70	
LogNormal de 2 parámetros		180.70	
Gumbel	100	162.29	98.9
Gamma de 2 parámetros		165.74	
Normal		143.15	
LogNormal de 2 parámetros		200.11	

Fuente: Autor

De acuerdo al resumen de probabilidad de no excedencia presentados en la tabla anterior la función que mejor se ajusta al registro de datos de precipitaciones máximas mensuales es la función Gumbel.

4.5. ESTIMACIÓN DE INTENSIDAD

El manual de drenaje del INVIAS propone el método simplificado para determinar las curvas IDF mediante la metodología de Díaz Granados, dado que se encuentran varias metodologías para el cálculo de curvas y teniendo en cuenta la información de registro pluviométricos de las estaciones, en el estudio se empleó la metodología de Gustavo Silva para cuando no existen registros pluviográficos utilizando series de lluvias máximas diaria, esta metodología se complementa con la metodología de (Bell 1961).

El método simplificado de cálculo de las curvas intensidad – duración – frecuencia propuesta por el Instituto Nacional de Vías (2009), ésta se debe llevar a cabo siempre y cuando no se disponga de datos históricos de precipitación de corta duración (datos pluviográficos). Para Colombia se propone la ecuación

$$i = \frac{aT^b M^d}{\left(\frac{d}{60}\right)^c}$$

Donde:

i: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).
T: Periodo de retorno, en años.
M: Promedio multianual de la precipitación máxima anual en 24 horas.
d: Duración de la lluvia de diseño, en minutos (min).
a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión.

La intensidad es la tasa de lluvia en milímetros por intervalo de tiempo para una cuenca, la cual se selecciona con base en la duración de la lluvia de diseño. El INVIAS (2009), plantea que esta lluvia tiene una duración igual al tiempo de concentración (Tc) de la cuenca o del área de drenaje, si Tc es menor a 15 minutos entonces la duración de la lluvia de diseño será igual a 15 minutos.

Para las constantes:

Tabla 9 Parámetros de ajuste de la regresión (valores para Colombia)

Región	a	b	c	d
Andina	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquia	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente: Instituto Nacional de Vías, 2009.

4.5.1. Intensidades maximas mm/24 hr para un Tr de 5 años

- **Intensidad maxima para un tiempo de 10 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{10}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 147.685\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 20 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{20}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 95.431\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 30 min:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{30}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 73.918\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 40 min:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{40}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 61.665\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 50 minutos:**

531

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{50}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 53.578\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 60 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{60}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 47.764\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 70 min:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{70}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 43.344\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 80 min:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{80}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 39.846\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 90 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{90}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 36.997\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 100 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{100}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 34.621\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 110 min:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{110}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 32.603\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 120 min:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{120}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 30.864\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 130 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{130}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 29.346\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 140 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{140}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 28.008\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 150 min:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{150}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 26.816\ mm/h$$

533

- **Intensidad maxima para un tiempo de 160 min:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{160}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 25.748\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 170 min:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{170}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 16.557\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 180 min:**

$$i = \frac{5.53 * 5^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{180}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 23.906\, mm/h$$

4.5.2. Intensidades maximas mm/24 hr para un Tr de 10 años

- **Intensidad maxima para un tiempo de 10 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{10}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 166.154\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 20 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{20}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 107.365\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 30 min:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{30}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 83.162\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 40 min:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{40}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 69.377\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 50 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{50}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 60.278\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 60 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{60}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 53.737\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 70 min:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{70}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 48.764\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 80 min:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{80}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 44.830\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 90 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{90}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 41.624\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 100 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{100}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 38.950\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 110 min:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{110}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 36.680\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 120 min:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{120}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 34.724\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 130 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{130}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 33.016\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 140 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{140}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 31.510\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 150 min:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{150}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 30.170\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 160 min:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{160}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 28.968\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 170 min:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{170}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 27.882\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 180 min:**

$$i = \frac{5.53 * 10^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{180}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 26.896\ mm/h$$

537

4.5.3. Intensidades maximas mm/24 hr para un Tr de 25 años

- **Intensidad maxima para un tiempo de 10 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{10}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 194.161\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 20 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{20}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 125.462\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 30 min:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{30}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 97.180\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 40 min:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{40}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 81.071\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 50 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{50}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 70.439\, mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 60 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{60}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 62.795\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 70 min:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{70}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 56.984\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 80 min:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{80}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 52.386\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 90 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{90}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 48.639\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 100 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{100}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 45.516\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 110 min:**

539

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{110}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 42.863\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 120 min:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{120}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 40.577\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 130 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{130}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 38.581\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 140 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{140}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 36.821\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 150 min:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{150}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 35.255\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 160 min:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{160}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 33.851\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 170 min:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{170}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 32.582\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 180 min:**

$$i = \frac{5.53 * 25^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{180}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 31.430\ mm/h$$

4.5.4. Intensidades maximas mm/24 hr para un Tr de 50 años

- **Intensidad maxima para un tiempo de 10 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{10}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 218.442\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 20 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{20}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 141.152\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 30 min:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{30}{60}\right)^{0.63}}$$

541

$$i = 109.333\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 40 min:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{40}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 91.209\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 50 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{50}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 79.247\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 60 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{60}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 70.648\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 70 min:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{70}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 64.110\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 80 min:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{80}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 58.937\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 90 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{90}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 54.722\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 100 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{100}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 51.208\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 110 min:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{110}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 48.224\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 120 min:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{120}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 45.651\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 130 minutos:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{130}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 43.406\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 140 minutos:**

543

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{140}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 41.426\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 150 min:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{150}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 39.664\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 160 min:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{160}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 38.084\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 170 min:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{170}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 36.657\ mm/h$$

- **Intensidad maxima para un tiempo de 180 min:**

$$i = \frac{5.53 * 50^{0.17} 88.42^{0.42}}{\left(\frac{180}{60}\right)^{0.63}}$$

$$i = 35.360\ mm/h$$

4.6. CURVAS IDF PARA LA CUENCA

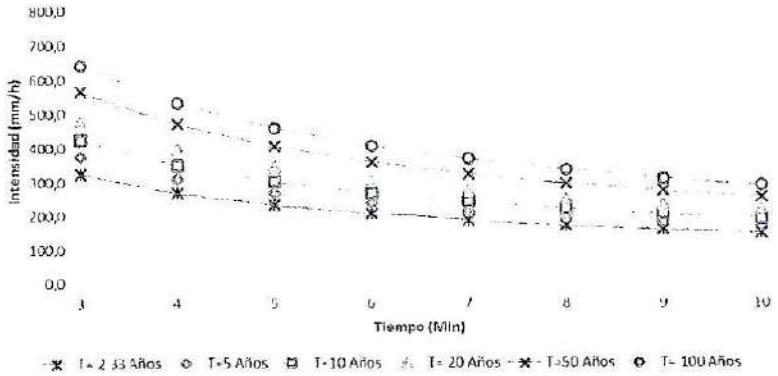
Con las intensidades halladas para diferentes periodos de retorno y diferentes tiempos, como se muestra en la tabla, se construyen las curvas IDF

Tabla 10 Intensidades vs tiempo

TIEMPO (Min)	TIEMPO DE RETORNO					
	2,33	5	10	20	50	100
1	673,70	772,96	875,68	992,04	1169,93	1325,39
2	426,37	489,19	554,20	627,84	740,42	838,81
3	326,26	374,33	424,08	480,43	566,58	641,87
4	269,84	309,60	350,74	397,35	468,60	530,87
5	232,89	267,20	302,71	342,93	404,43	458,17
6	206,49	236,91	268,39	304,05	358,57	406,22
7	186,51	213,99	242,43	274,64	323,89	366,93
8	170,78	195,94	221,98	251,47	296,66	335,97
9	158,00	181,28	205,37	232,66	274,38	310,85
10	147,39	169,11	191,58	217,04	255,95	289,96

Fuente: Autor

Figura 17 Curvas IDF de la cuenca



Fuente: Autor

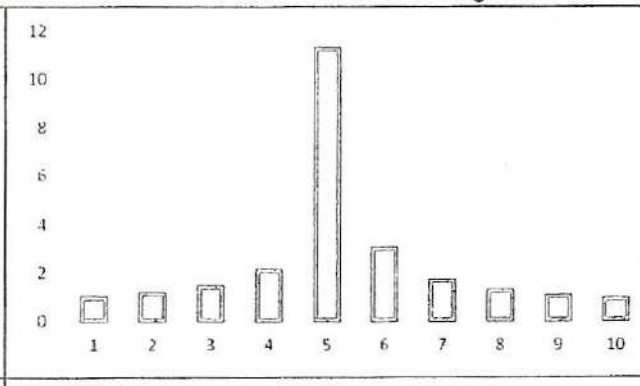
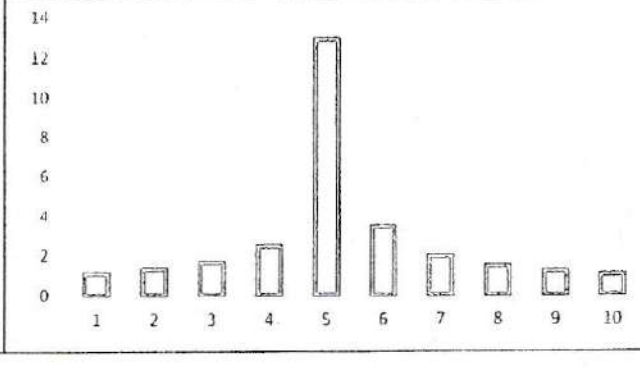
548

4.7. HIETOGRAMAS DE DISEÑO

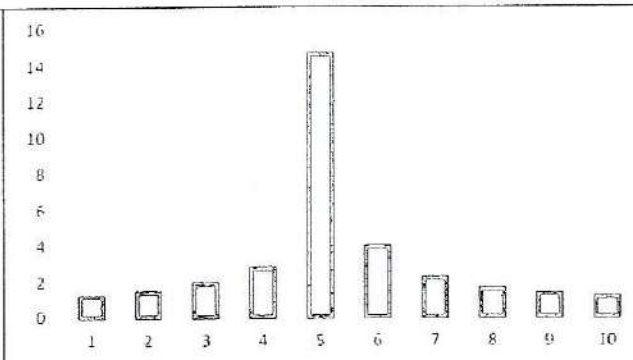
La metodología se realizó teniendo en cuenta la construcción del hietograma de manera individual en cada periodo de retorno (2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años) a partir de las curvas intensidad – duración y frecuencia, analizando el comportamiento de precipitación con incrementos cada 6 minutos en cada periodo de retorno, para cada uno de estos, teniendo en cuenta al tiempo de concentración de la cuenca de estudio.

El cálculo tanto de hietogramas como hidrogramas, se realizó a partir del análisis de escorrentía superficial. Los hietogramas calculados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11 Hietogramas

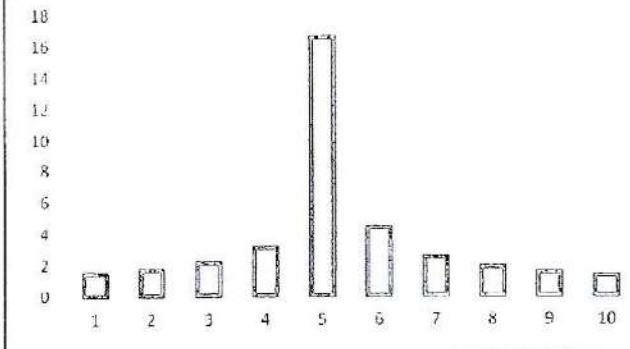
Periodo de retorno 2.33 años		Tiempo	P (mm)
		1	0,930
		2	1,111
		3	1,418
		4	2,101
		5	11,228
		6	2,984
		7	1,676
		8	1,241
		9	1,011
		10	0,864
Periodo de retorno 5 años		Tiempo	P (mm)
		1	1,067
		2	1,275
		3	1,627
		4	2,410
		5	12,883
		6	3,424
		7	1,923
		8	1,424
		9	1,160
		10	0,992

Periodo de retorno 10 años



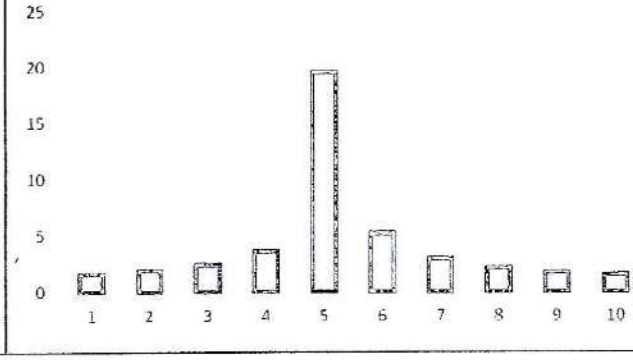
Tiempo	P (mm)
1	1,209
2	1,444
3	1,843
4	2,731
5	14,595
6	3,879
7	2,179
8	1,613
9	1,314
10	1,124

Periodo de retorno 20 años



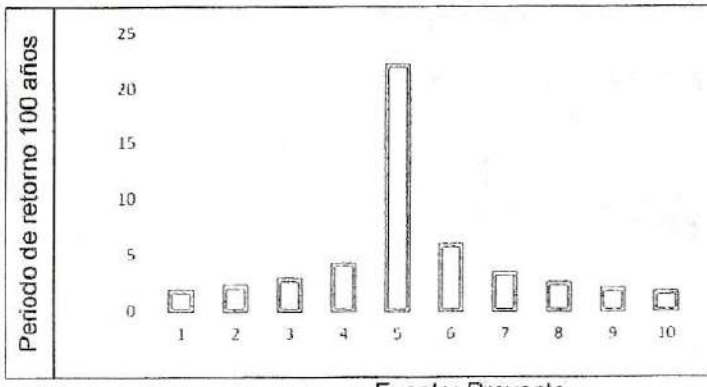
Tiempo	P (mm)
1	1,370
2	1,636
3	2,088
4	3,093
5	16,534
6	4,394
7	2,468
8	1,828
9	1,488
10	1,273

Periodo de retorno 50 años



Tiempo	P (mm)
1	1,616
2	1,929
3	2,462
4	3,648
5	19,499
6	5,182
7	2,911
8	2,166
9	1,755
10	1,501

S47



Tiempo	P (mm)
1	1,830
2	2,186
3	2,790
4	4,133
5	22,090
6	5,871
7	3,298
8	2,442
9	1,988
10	1,701

Fuente: Proyecto

Para el análisis de caudales, se alimentó el área de drenaje a partir de información cartográfica oficial, y el hietograma en cada periodo de retorno (resultante de datos de precipitación y curvas IDF de la estación aplicable al área aferente), y condiciones de control.

4.8. ANÁLISIS DE CAUDALES

Según (Estrada Sifontes & Pacheco Moya, 2012) la modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso, alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias (Sifontes, E., y Moya, P. (2012). Aplicación Del Esquema Hidrometeorológico para HEC-HMS.

Son varios los modelos hidrológicos que existen, siendo el Sistema de Modelación Hidrológico del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. (HEC-HMS por sus siglas en inglés) el aplicado en la presente investigación, ya que es un programa computacional gratuito y de amplia utilización internacional en el estudio de avenidas, el cual provee una variedad de

opciones para simular procesos de precipitación - escurrimiento y tránsito de caudales (Feldman 2000). Este modelo utiliza métodos de precipitación-escorrentía para estimar los hidrogramas de escorrentía directa generados por las precipitaciones en una cuenca o región durante un período especificado. Es un programa muy flexible que permite al usuario la selección de diferentes métodos para el cálculo de pérdidas, hidrogramas, flujo base y propagación en cauces. Posibilita realizar simulaciones de los procesos hidrológicos a nivel de eventos o en forma continua.

Para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, el HEC-HMS utiliza los siguientes componentes: modelo de la cuenca, modelo meteorológico, especificaciones de control y datos de entrada. Una simulación calcula la transformación de lluvia a caudal en el modelo de la cuenca, dada la entrada del modelo meteorológico. Las especificaciones de control definen el período de tiempo durante el cual se realizará la simulación y el intervalo de tiempo a utilizar. Los componentes de los datos de entrada, tales como las series temporales, tablas y datos por celdas, son requeridos como parámetros o condiciones de contorno tanto en el modelo de la cuenca como en el meteorológico (Nanía 2007). Para definir la estructura de una cuenca, el programa considera los siguientes elementos hidrológicos: Subcuenca (subbasin), Tramo de tránsito (routing reach), Unión (junction), Embalse (reservoir), Fuente (source), Sumidero (sink) y Derivación (diversion).

Para el desarrollo de análisis de caudales en función de lluvia – escorrentía en el área de estudio es necesario el cálculo de precipitaciones e intensidades en tiempos específicos, esto con el fin de llevar a cabo la construcción de hietogramas requeridos por el modelo meteorológico de HEC-HMS.

La metodología se realizó teniendo en cuenta la construcción del hietograma de manera individual en cada periodo de retorno (2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años) a partir de las curvas intensidad – duración y frecuencia, analizando el comportamiento de precipitación con incrementos cada 6 minutos en cada periodo de retorno, obteniendo por medio del Software HEC-HMS hidrogramas unitarios para cada uno de estos y caudales por escorrentía.

549

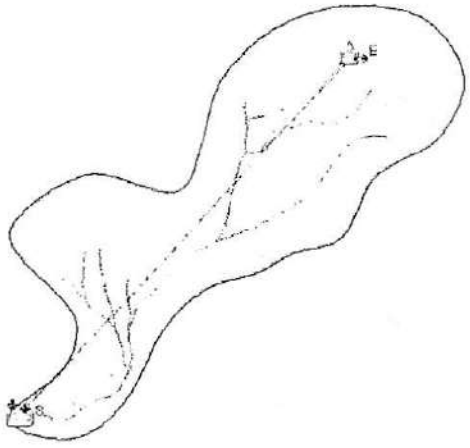
4.8.1. Modelación hidrológica – estimación de caudales máximos

4.8.1.1. Método Clark hidrograma unitario

Para el análisis de caudales, se alimentó el modelo HEC-HMS con el área de drenaje, drenajes intermitentes (la red fue trazada teniendo en cuenta la imagen aérea y el modelo digital de elevación, ya que la información cartográfica oficial no cuenta con escalas tan detalladas como lo requiere el proyecto), el hietograma en cada periodo de retorno (resultante de datos de precipitación y curvas IDF de la estación aplicable al área aferente), y condiciones de control.

Las condiciones de frontera se muestran en la siguiente figura, ubicándose entradas, salidas y red de drenaje intermitente en el polígono de estudio.

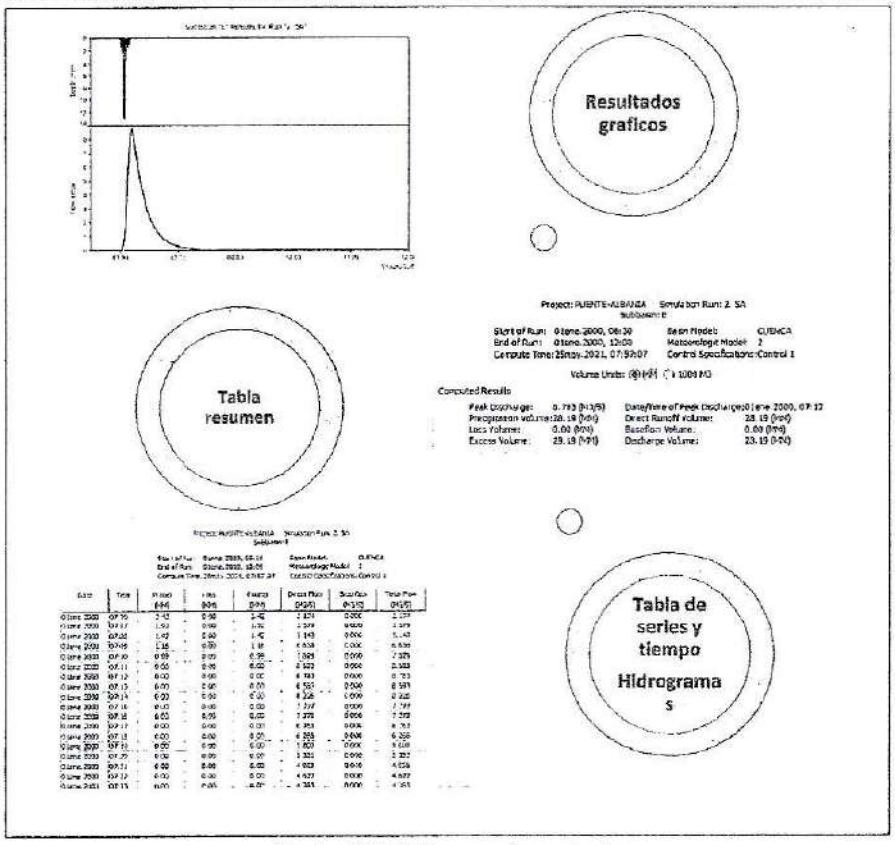
Figura 18 Condiciones de Frontera



Fuente: HEC-HMS, procesado por el autor

Las condiciones de frontera permitieron llevar a cabo el análisis de escorrentía superficial con intervalos de tiempos específicos, adaptando así los hietogramas al modelo. Los resultados para un periodo de retorno de 5 años se evidencian en la siguiente figura, presenta la precipitación total en la zona en color azul (resultados gráficos), con un tiempo de modelación de ocho horas.

Figura 19 Resultados de modelación HEC-HMS – Pr = 5años – Caudales máximos



Fuente: HEC-HMS, procesado por el autor

El método usado en la modelación es el método de transformación de Clark hidrograma unitario, ya que este permite conocer el caudal máximo sin presentar perdidas en la cuenca. Los criterios usados son:

- Tiempo de concentración HR: 0.118
- Coeficiente de transformación HR: 0.219

Finalmente, en cada una de las modelaciones hidrológicas se obtuvieron los hidrogramas unitarios y a su vez el caudal pico para cada una de estas, siendo esto usado para la modelación hidráulica al área de estudio, realizada está con el

551

software HEC-RAS. En la siguiente tabla se muestran los resultados finales en términos de caudal de escorrentía para los periodos de retorno propuestos.

Tabla 12 Caudales máximos – Método Clark Hidrograma Unitario

Periodo de Retorno 2.33 años		Periodo de Retorno 5 años		Periodo de Retorno 10 años	
07:05	0.970	07:05	1.113	07:05	1.261
07:06	1.895	07:06	2.174	07:06	2.463
07:07	3.120	07:07	3.579	07:07	4.055
07:08	4.487	07:08	5.148	07:08	5.832
07:09	5.786	07:09	6.638	07:09	7.521
07:10	6.824	07:10	7.829	07:10	8.870
07:11	7.480	07:11	8.583	07:11	9.724
07:12	7.455	07:12	8.763	07:12	9.952
07:13	7.481	07:13	8.583	07:13	9.724
07:14	7.170	07:14	8.226	07:14	9.320
07:15	6.778	07:15	7.777	07:15	8.811
07:16	6.343	07:16	7.278	07:16	8.245
07:17	5.894	07:17	6.763	07:17	7.662
Periodo de Retorno 20 años		**Periodo de Retorno 50 años**		**Periodo de Retorno 100 años**	
07:05	1.428	07:05	1.684	07:05	1.908
07:06	2.791	07:06	3.291	07:06	3.729
07:07	4.594	07:07	5.417	07:07	6.138
07:08	6.607	07:08	7.792	07:08	8.827
07:09	8.520	07:09	10.047	07:09	11.383
07:10	10.048	07:10	11.850	07:10	13.425
07:11	11.015	07:11	12.990	07:11	14.717
07:12	11.272	07:12	13.293	07:12	15.066
07:13	11.016	07:13	12.991	07:13	14.718
07:14	10.558	07:14	12.451	07:14	14.106
07:15	9.981	07:15	11.771	07:15	13.336
07:16	9.340	07:16	11.015	07:16	12.479
07:17	8.679	07:17	10.236	07:17	11.596

Fuente: HEC-HMS, procesado por el autor

4.8.2. Método racional - caudal de diseño

El método racional parte de la definición del coeficiente de escorrentía C, el cual se puede definir como la relación entre el volumen de escorrentía superficial y el volumen de precipitación total dando un valor adimensional.

En este método, se considera que sí la lluvia cayese a rata constante sobre una superficie impermeable, la escorrentía llegaría a tomar una intensidad igual a la de

la lluvia. El tiempo necesario para llegar a este equilibrio es el tiempo de concentración Tc, y para pequeñas áreas impermeables se puede considerar que se la lluvia persiste con un ritmo uniforme durante un periodo como mínimo igual al tiempo de concentración, la escorrentía máxima será igual a la intensidad de la lluvia.

Según INVIAS el método racional, existe discrepancia entre los diferentes autores sobre el rango de aplicabilidad del método en relación con el área de drenaje de las hoyas. Valores entre 0.65 y 12.5 km2 han sido citados en la literatura técnica. En este Manual se deberá adoptar un área de drenaje máxima igual a 2.5 km2 para el uso de este método.

El método tiene aplicación en el diseño de drenaje superficial, especialmente en carreteras en superficies pequeñas, en el presente estudio se aplicará a cuencas con áreas menores a 1,0 km2, además se usa en el diseño de obras.

$$Q = c * i * A$$

Dónde:

Q Caudal pico de escorrentía (m^3 /s)
C Coeficiente de escorrentía
i Intensidad uniforme repartida sobre el área de la cuenca (mm/h)
A Área de la cuenca en estudio (km^2)

Los resultados de caudales por el método racional se observan en la siguiente tabla:

Tabla 13 Caudales máximos - Método Racional

PUENTE							
Tc (min)	Tr (Años)	I	I (mm/s)	i (m/s)	A (m2)	c	Q (m3/s)
7.0610	2.33	185.446	0.052	5.15127E-05	357715.26	0.56	10.319
7.0610	5	212.769	0.059	5.91024E-05	357715.26	0.56	11.839
7.0610	10	241.042	0.067	6.69561E-05	357715.26	0.56	13.413
7.0610	20	273.073	0.076	7.58535E-05	357715.26	0.56	15.195
7.0610	50	322.038	0.089	8.94551E-05	357715.26	0.56	17.920
7.0610	100	364.832	0.101	0.000101342	357715.26	0.56	20.301

Fuente: Autor

553

5. ESTUDIO HIDRÁULICO

El alcance del estudio hidráulico consiste en evaluar la capacidad hidráulica de los cauces, utilizando los caudales definidos en el estudio hidrológico, con esto, se determina la capacidad máxima natural del mismo, establecer los sectores de desborde y obtener niveles máximos que presentará en la corriente estero en el evento de crecientes.

Una vez terminado los trabajos de topografía se realizó la modelación hidráulica por medio del software HEC – RAS el cual modela flujos permanentes y no permanentes. El Modelo Matemático HEC-RAS fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, denominado "Water Surface Profiles"; el modelo calcula los perfiles superficiales del agua para las condiciones de un flujo permanente y gradualmente variado en canales naturales o artificiales.

Este procedimiento está basado en solucionar la ecuación unidimensional de energía con las pérdidas por fricción evaluadas por medio de la ecuación de Manning.

Con el programa HEC-RAS los perfiles del agua se determinan de una sección a otra, resolviendo la ecuación de energía utilizando un procedimiento denominado como método estándar por pasos. La ecuación de energía utilizada es la siguiente:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Siendo:

WS_1 WS_2:	Niveles del agua en las secciones transversales 1 y 2.
V_1, V_2:	Velocidades medias del flujo de las secciones 1 y 2.
α_1, α_2:	Coeficientes de corrección a la velocidad.
g	Aceleración de la fuerza de gravedad.
h_e	Pérdidas de energía.

Las pérdidas de energía entre dos secciones se componen de pérdidas por fricción y pérdidas por contracción o expansión. Este valor se determina de la siguiente manera:

$$h_e = L * S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Siendo:

L: Longitud entre secciones.
S_f: Pendiente de fricción entre dos secciones
C : Coeficiente de pérdidas por expansión o contracción.

Para cada sección se aplica la fórmula de Robert Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Siendo:

Q: Caudal de diseño
A: Área de la sección transversal
R: Radio hidráulico
S: Pendiente longitudinal del cauce
n: Coeficiente de rugosidad de Manning

El área de topografía del proyecto elaboró un modelo digital del terreno (MDT) en los que se incluyó los puntos topobatimétricos del canal. En el producto de topografía se observa un alineamiento sobre el canal con un abscisado que inicia de aguas arriba a aguas abajo y las respectivas secciones transversales, sin embargo, estas secciones son elaboradas para representar las condiciones topográficas encontradas a partir de las secciones transversales levantadas en campo de acuerdo con las indicaciones de topografía.

De los trabajos topográficos se tomó el MDT y se generó un archivo de trabajo para exportar un archivo. geo compatible con HEC-RAS. En el modelo digital del terreno se genera un nuevo alineamiento por el eje dinámico del cauce (Thalweg) y un abscisado que inicia de aguas abajo a aguas arriba.

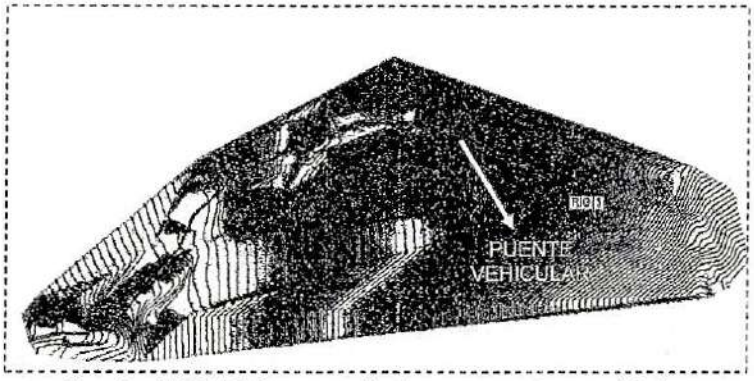
Del nuevo alineamiento se generan entonces secciones transversales reales a la línea de corriente del flujo por lo que se representara de manera real las condiciones hidráulicas del cauce.

555

Del archivo. geo se define información de la geometría del cauce requerida para el modelo hidráulico como lo son las secciones transversales del cauce, distancia entre secciones y definición de los puntos de las bancas del cauce. En el modelo se incluyeron secciones transversales precisas como lo son secciones justo aguas arriba y aguas abajo de la localización del área de estudio, el cual fue implantado posteriormente en el modelo.

En la siguiente figura se observa las curvas de nivel, siendo la base e insumo para la delimitación del área de inundación en la ronda hídrica del área de estudio.

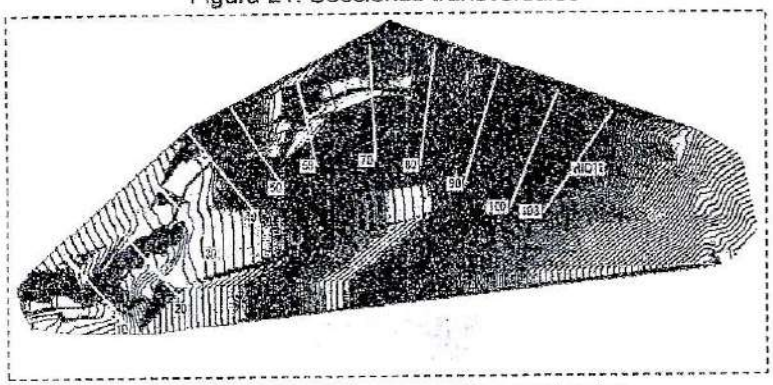
Figura 20. Curvas de nivel – Modelo de inundación



Fuente: HEC-RAS y consultoría, procesado por el Autor

En la siguiente figura se observan las secciones transversales distribuidas en el área de estudio a la altura del puente vehicular propuesto.

Figura 21. Secciones transversales



Fuente: HEC-RAS, procesado por el autor

Las secciones transversales vistas en la figura anterior se encuentran en diferentes intervalos ya que estas se trazaron teniendo en cuenta la geometría del cauce.

5.1.1. Coeficiente de resistencia hidráulica

La definición del coeficiente de resistencia hidráulica **n**, como primera aproximación se realizó mediante la fórmula de Cowan, que se expresa de la siguiente forma:

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

Siendo:

n_0 = Valor básico de n para un canal recto, liso, uniforme
n_1 = Valor correctivo pro efectos de irregularidades superficiales
n_2 = Valor correctivo por efecto de variaciones de tamaño y forma de la sección
n_3 = Valor correctivo por obstrucciones.
n_4 = Valor correctivo por vegetación y condiciones de escurrimiento.
m = Factor correctivo por presencia de meandros.

En el siguiente Cuadro se presenta los valores obtenidos de acuerdo con los valores recomendados en la siguiente tabla del libro de Ven Te Chow:

557

Tabla 14 Coeficiente de resistencia hidráulica – Método de Cowan

Variable	Margen Izquierda	Cauce Central	Margen Derecha
D_{50} (mm)	0.075	0.075	0.075
D_{75} (mm)	2.000	2.000	2.000
D_{90} (mm)	12.50	12.50	12.50
n_0			
Ec. Garde & Raju	0.010	0.010	0.010
Ec. Strickler	0.009	0.009	0.009
Ec. Meyer-Peter-Muller	0.018	0.018	0.018
Ec. Bray	0.011	0.011	0.011
Ec. Lane y Carlson	0.017	0.017	0.017
n_0 promedio	0.013	0.013	0.013
n_1	0.010	0.005	0.010
n_2	0.015	0.010	0.015
n_3	0.020	0.020	0.020
n_4	0.025	0.010	0.025
m_5	1.000	1.000	1.000
n	0.083	0.058	0.083

Fuente: Ven Te Chow

5.1.2. Condiciones de frontera

Como requerimiento de la modelación, se debe determinar las condiciones de frontera del modelo; para este caso la condición de frontera se trata del control hidráulico del flujo que se encuentra aguas arriba, por tratarse de un flujo subcrítico, es decir que el valor del número de Froude es menor a 1, sin embargo, se adoptó tanto aguas arriba y aguas abajo para revisar la condición subcrítica y supercrítica. Para el rio de estudio se adoptó la pendiente normal de la lámina de agua como condición de frontera equivalente a 0,04 m/m. Este valor fue iterado partiendo inicialmente de la pendiente topográfica del lecho y revisada con los resultados del perfil hidráulico obtenido.

5.1.3. Caudal total modelación hidráulica

En la siguiente tabla se muestra el caudal total proyectado para diferentes periodos de retorno tomando los caudales proyectados en el método de Clark Hidrograma unitario y el método racional, siendo estos correlacionados, y tomando los valores máximos, por lo tanto, el método de mejor ajuste y máximos caudales, es el racional,

teniendo en cuenta el área aferente como selección y más óptimo para el análisis hidráulico.

Tabla 15 Caudal modelación hidráulica

Tr= Años	Q Max. (m3/s)
2.33	10.319
5	11.839
10	13.413
20	15.195
50	17.920
100	20.301

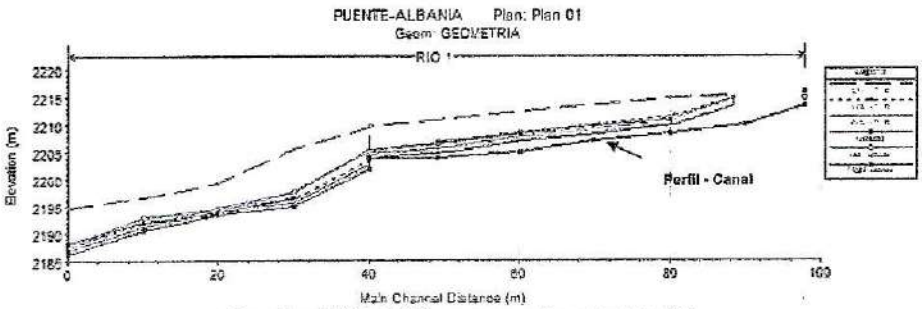
Fuente: Autor

5.1.4. Resultados modelación hidráulica

Las características morfométricas y topográficas del canal, permiten caracterizarlo como un colector principal de aguas lluvias, cuya pendiente de fondo y formación de laderas poco profundas permiten no tener una buena capacidad hidráulica con altas probabilidades de desborde aun para un caudal cuya probabilidad de ocurrencia sea de 2.33 en 100 años. Cabe resaltar que el caudal de estudio para nuevas propuestas de canalización de aguas es proyectado y analizado para periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

En la siguiente figura se observa el perfil hidráulico para canal de estudio, donde se ilustra de manera gráfica los resultados obtenidos y explicados en los párrafos anteriores.

Figura 22. Perfil Hidráulico quebrada de estudio



Fuente: HEC-RAS, procesado por el autor

559

En la figura anterior se observan los niveles obtenidos del modelo hidráulico construido, para una caudal correspondiente a un periodo de retorno de 100 años en la quebrada de estudio y los resultados de huellas de inundación se ilustran a continuación.

Los resultados que arroja la simulación hidráulica permiten conocer varios parámetros hidráulicos para el diseño de obras hidráulicas en el cauce según el objeto del proyecto. Entre los resultados obtenidos más importantes para diferentes periodos retorno son: el perfil del flujo, altura de la lámina de agua, velocidad del flujo, número de Froude, y la pendiente entre secciones. Algunos resultados hidráulicos se muestran en la siguiente tabla, y el detalle por secciones transversales se encuentran en el Anexo 2. Secciones transversales.

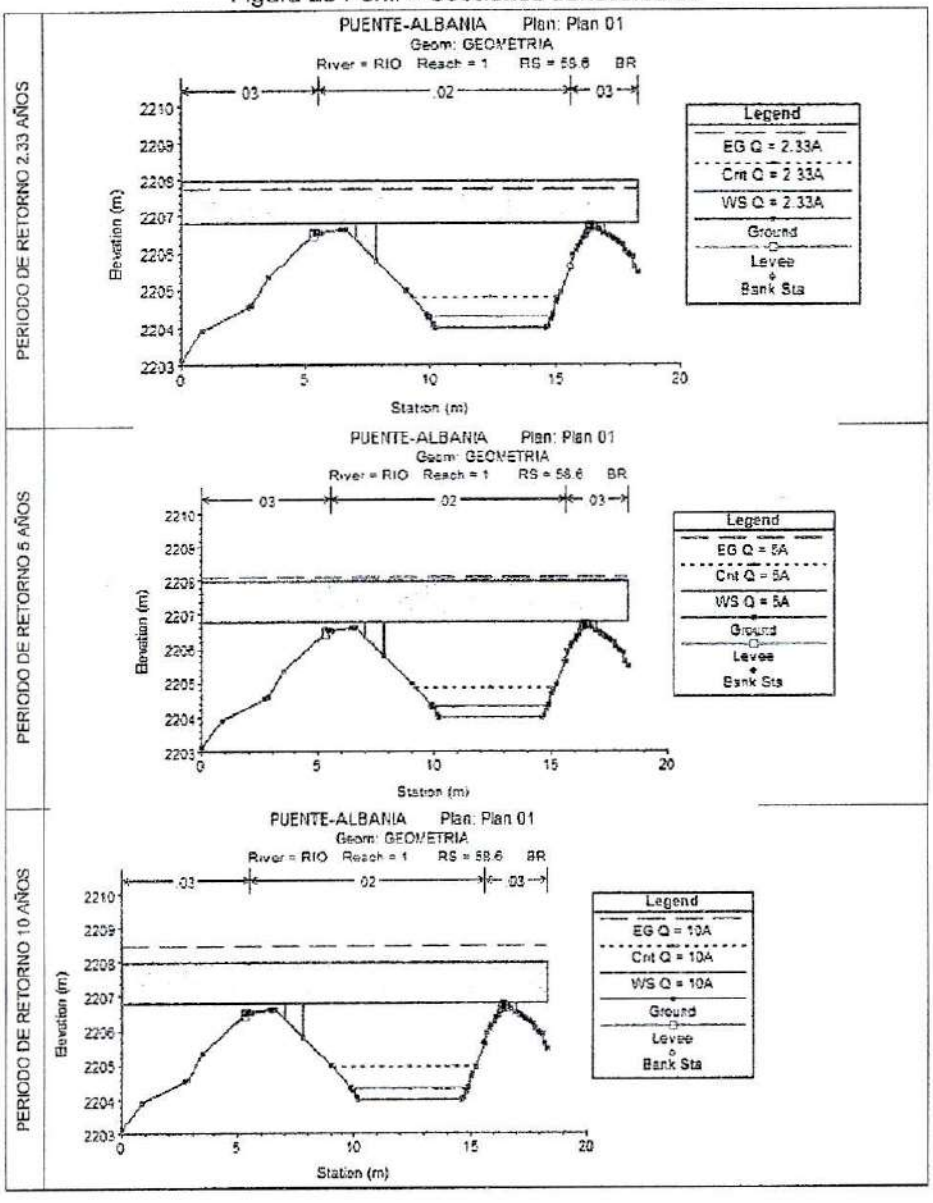
Tabla 16 Resultados hidráulicos

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1	108	Q = 100A	20.30	2213.52	2214.63	2214.78	2215.19	0.010007	3.37	6.24	10.96	1.39
1	100	Q = 100A	20.30	2210.05	2210.96	2211.63	2214.71	0.077268	8.58	2.37	4.22	3.66
1	90	Q = 100A	20.30	2208.51	2209.27	2209.97	2213.61	0.146175	9.23	2.20	6.10	4.91
1	80	Q = 100A	20.30	2207.00	2207.77	2208.54	2212.27	0.118059	9.39	2.16	4.55	4.35
1	70	Q = 100A	20.30	2205.00	2205.76	2206.76	2211.10	0.105259	10.23	1.98	3.03	4.04
1	59	Q = 100A	20.30	2204.00	2204.42	2205.20	2209.67	0.162185	10.15	2.00	5.18	5.22
1	58.6		Bridge									
1	50	Q = 100A	20.30	2201.94	2202.61	2203.54	2209.51	0.352969	13.72	1.85	3.79	7.64
1	40	Q = 100A	20.30	2195.07	2195.44	2196.33	2205.53	0.448553	14.07	1.44	4.88	8.26
1	30	Q = 100A	20.30	2193.54	2193.94	2194.44	2199.26	0.523847	10.84	2.02	10.63	6.50
1	20	Q = 100A	20.30	2190.46	2191.13	2191.96	2196.66	0.154113	10.42	1.95	4.54	5.08
1	10	Q = 100A	20.30	2186.35	2186.93	2187.76	2194.72	0.243904	12.50	1.70	4.92	6.47

Fuente: HEC-RAS

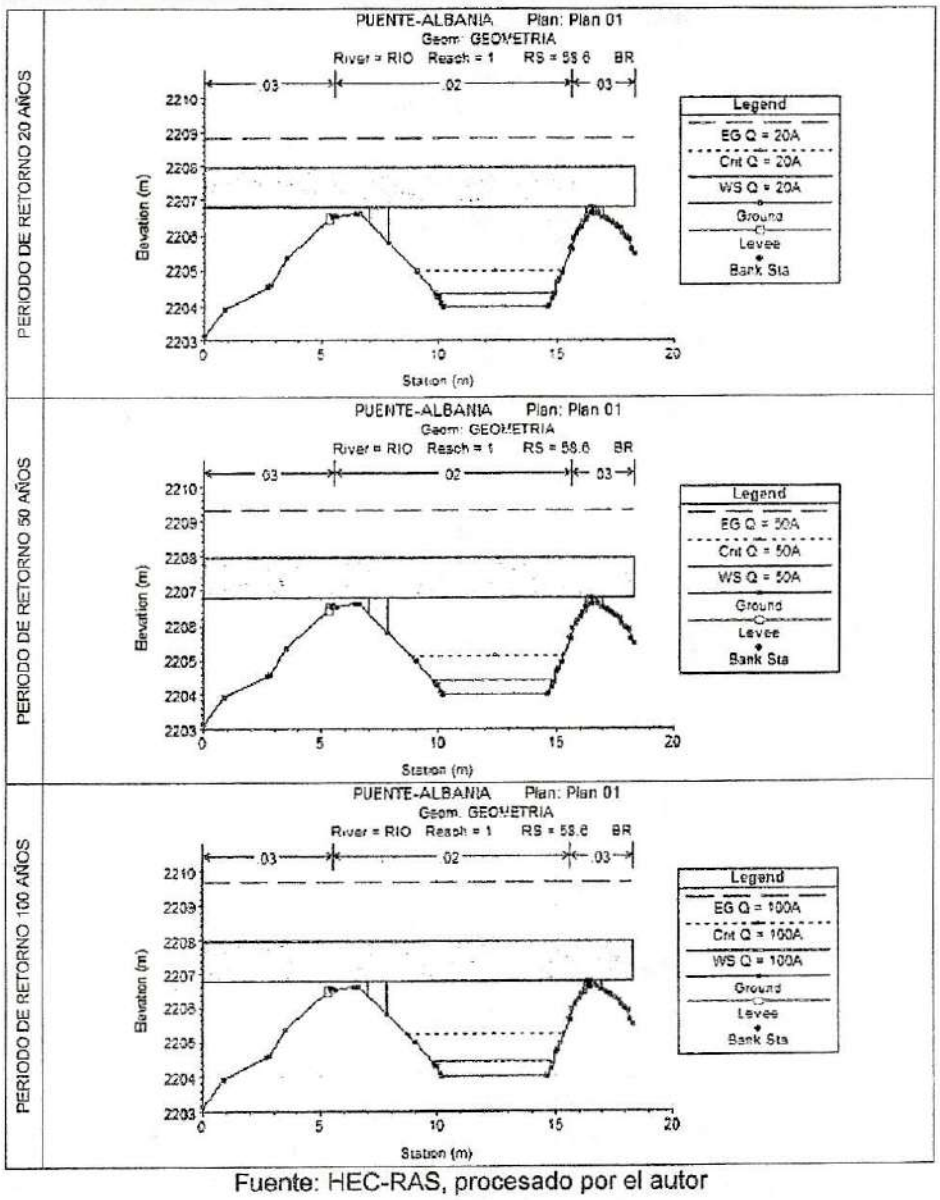
Para determinar la variación del flujo y niveles de agua en función de los periodos de retorno, se definieron secciones transversales a la línea del flujo principal (las secciones no cuentan con el mismo espaciamiento dado al análisis detallado de la topobatimetría, sin embargo, están distribuidas según la línea central del cauce. En la siguiente tabla se muestran secciones trasversales en diferentes periodos de retorno, ya que todas las secciones a transversales en cada periodo de retorno se encuentran dalladas en el Anexo 2.

Figura 23 Perfil – Secciones transversales



LAURA ANDREA GUTIERREZ MOLANO
Ingeniera Ambiental - Esp. En recursos Hídricos
Cel: 3102731152 – email: laura.gutierrezmolano15@gmail.com ww.inclugeo.com

SG 1

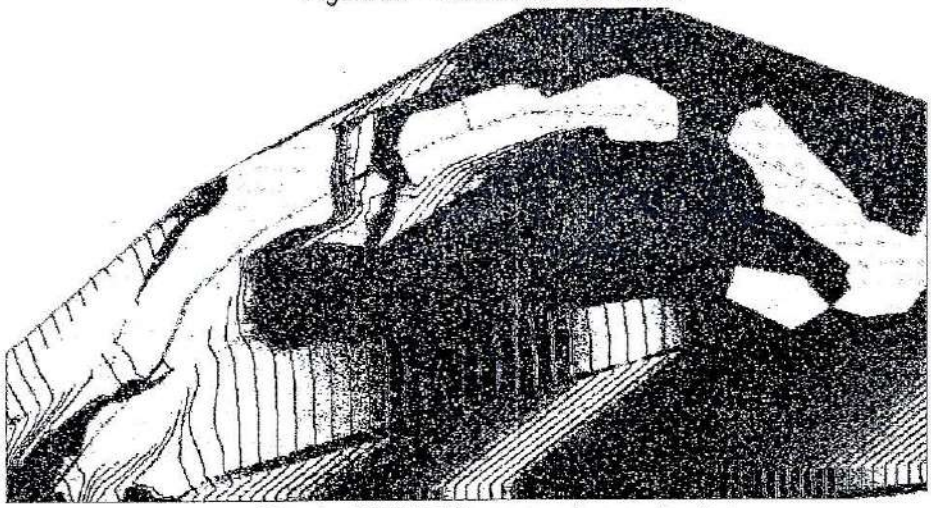


Fuente: HEC-RAS, procesado por el autor

5.1.5. Llanura de inundación

Partiendo del concepto huella de inundación o llanura de inundación, aunque en su mayoría aplica para aquellas áreas adyacentes a cauces definidos ya sean ríos o quebradas, para este caso en particular se propone la línea de flujo a partir del análisis de pendientes siguiendo las reglas de las v, con el fin de analizar aquellas áreas inundables por escorrentía superficial. El objetivo principal del estudio es conocer las áreas inundables a partir de láminas de agua poco profundas hasta las más representativas, calculadas a partir de escorrentía superficial; sin embargo; es necesario conocer el comportamiento hidrológico subsuperficial y superficial, para así llegar a delimitar la llanura de inundación con un aporte de caudal total, considerando todas las entradas y salidas de este. Los resultados de huellas de inundación se observan en la siguiente figura.

Figura 24 – Huellas de Inundación



Fuente: HEC-RAS, procesado por el autor

Las huellas de inundación mostradas en la figura anterior son calculadas a partir de datos de caudales obtenidos de la evaluación caudales máximos en diferentes periodos de retorno y dada por la escorrentía superficial del área de estudio; dado a las condiciones topográficas de la consultoría.

5.2. EVALUACIÓN POR SOCAVACIÓN

La socavación consiste en la profundización del nivel del fondo del cauce de una corriente causada por el aumento del nivel de agua en las avenidas, modificaciones en la morfología del cauce o por la construcción de estructuras en el cauce. En este capítulo se presentan los procedimientos y resultados del cálculo de socavación aplicando las metodologías de análisis pertinentes para definir las profundidades de los diferentes tipos de socavación que apliquen específicamente al proyecto.

5.2.1. Socavación general

La erosión general o socavación general consiste en el descenso generalizado del fondo del canal como consecuencia de una mayor capacidad de la corriente para arrastrar y transportar el material del fondo durante el paso de una avenida y de la diferencia entre la capacidad de transporte que se tiene entre dos secciones consecutivas al pasar una avenida. La socavación en el tramo, definido por esas secciones, ocurrirá siempre que el volumen de sedimento transportando en la sección de aguas abajo, en un tiempo dado sea mayor que el que entre al tramo por la sección aguas arriba en el mismo periodo.

Para la estimación de la socavación general se empleó la metodología de Lischtvan - Lebediev, descrita en el documento "Socavación en Cauces Naturales" de J.A. Maza A.
La estimación de la magnitud de socavación contempla los siguientes aspectos:

- Determinación del caudal del cauce correspondiente, a un evento máximo probable para un periodo de retorno de 100 años.
- Modelación de la corriente en el sitio de estudio, con la definición de secciones transversales de acuerdo con la magnitud del cauce. La geometría de cada modelo hidráulico se obtiene con el software Civil 3D y sobre la batimetría realizada. A partir de esta modelación hidráulica, se obtiene el valor de la altura de la lámina de agua para el caudal calculado.
- Se realiza una caracterización de los suelos del lecho del canal y márgenes donde se localizarán las obras de protección marginal, la descripción de los estudios de suelos y la estratigrafía encontrada se presenta más adelante.

A continuación, se presenta las ecuaciones para la metodología Lischtvan - Lebediev, tanto para suelos granulares como para suelos cohesivos:

- Suelos Granulares:

$$H_s = \left(\frac{\alpha . {H_0}^{5/3}}{0.68\beta \cdot {d_m}^{0.28}} \right)^{\frac{1}{1+x}}$$

- Suelos Cohesivos:

$$H_s = \left(\frac{\alpha . {H_0}^{5/3}}{0.6 \cdot \beta {\gamma_d}^{1.18}} \right)^{\frac{1}{1+x}}$$

Dónde:

H_s: Profundidad del flujo después de ocurrida la socavación. En metros.

H_0: Profundidad inicial existente en una línea vertical predeterminada de la sección medida desde el nivel del agua cuando pasa la creciente, hasta el nivel del cauce antes del proceso de socavación. En metros.

d_m: Diámetro medio de las partículas del material granular, en mm. El valor proviene de la curva granulométrica hallada para cada cauce.

γ_d: Peso volumétrico seco del material cohesivo, en T/m3.

β: Coeficiente de paso, que depende de la frecuencia con que se repite la avenida que se estudia, obtenido de la tabla I del libro "Socavación en Cauces Naturales" de J.A. Maza A.

α: Coeficiente con valor:

$$\alpha = \frac{Q_d}{\mu . B_e . {H_m}^{5/3}}$$

Q_d: Caudal de diseño correspondiente a un periodo de retorno de 100 años en m3/seg.

B_e: Ancho efectivo de la superficie libre del cauce, en m. Es el ancho total del cauce menos los obstáculos. En metros.

μ: Coeficiente de contracción, obtenido de la tabla III del libro "Socavación en Cauces Naturales" de J.A. Maza A.

A: Área de la sección hidráulica en el momento que inicia el evento de diseño. En metros cuadrados

H_m: Tirante medio o profundidad media entre la superficie del agua al pasar el caudal de diseño y el perfil del fondo original.

$$H_m = \frac{A}{B_e}$$

SGS

La sección transversal del lugar de estudio será dividida en líneas verticales de longitud igual al tirante de diseño H_s para las cuales se calcula el valor de socavación (esta labor es realizada por el modelo hidráulico al asignar puntos en el fondo con cota conocida). Al unir las profundidades se obtiene el perfil de socavación para el periodo de retorno de 100 años.

Considerando que la metodología de Lischtvan – Lebediev para el cálculo de socavación general incluye dentro de su metodología el cálculo de socavación por contracción, no resulta necesario calcular la socavación por contracción por metodologías adicionales y tener posteriormente que sumarse a los valores de socavación obtenidos a la socavación general y local.

5.2.2. Socavación local

La socavación local que ocurre por la presencia de éstos en la sección hidráulica del río (planicie de inundación y cauce principal) y al presentarse la creciente de diseño se contrae la corriente y, por lo tanto, obstruyen el flujo, generando a su alrededor turbulencias que conducen a la formación de una fosa de socavación producida por un vórtice horizontal en el extremo aguas arriba, y desplazándose la fosa hacia aguas abajo causada por un vórtice vertical. Los métodos que se proponen para la estimación de la profundidad de socavación son los de Froehlich, HIRE.

Froehlich, a partir de los resultados de 170 mediciones de socavación en canales de laboratorio en condiciones de lecho móvil, obtuvo la siguiente ecuación mediante análisis de regresión.

$$\frac{Y_s}{Y_a} = 2.27\ K_1\ K_2 \left(\frac{L'}{Y_a}\right)^{0.43} F_r^{0.61} + 1$$

Donde:

Ys: Profundidad de socavación, en metros (m).

Ya: Profundidad media del flujo en la planicie de inundación en la sección de aproximación, en metros (m).

K1: Factor de corrección por la forma del estribo.

K2: Factor de corrección por el ángulo de t que (θ) del flujo con el talud del estribo.

K2 = (θ/90°)0.13

θ =90 cuando los estribos son perpendiculares al flujo.

θ < 90 si el terraplén se orienta aguas abajo.

θ > 90 si el terraplén se orienta aguas arriba.

L': Longitud efectiva del estribo y del terraplén que obstruye el paso de la corriente, en metros (m).
Fr1: Número de Froude de la planicie de inundación en la sección de aproximación.

$$F_r = V_e/(gY_a)^{1/2}$$

Ve: Velocidad media en el flujo de aproximación, en metros por segundo (m/s).
V e =Q e A e
Qe: Caudal obstruido por el estribo y el terraplén en la sección de aproximación, en metros cúbicos por segundo (m^3/s).
Ae: Área de flujo de la sección de aproximación obstruido por el estribo y terraplén, en metros cuadrados (m^2).

Este método llamado HIRE, fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros Militares de los Estados Unidos, a partir de datos de campo de socavación en espigones construidos en el Río Mississippi, y se puede usar para calcular la socavación.

La ecuación HIRE se aplica cuando la relación entre la longitud proyectada del estribo y la profundidad de flujo es mayor de 25 (L/Y1 > 25). La ecuación es la siguiente:

$$\frac{Y_s}{Y_1} = 1\ F_r^{0.33}\frac{K_1}{0.55}\ K_2$$

Donde:
Ys: Profundidad de socavación, en metros (m).
Y1: Profundidad del flujo en la pata del estribo, ya sea en la planicie de inundación o en el canal principal, en metros (m).
Fr: Número de Froude calculado con base en la velocidad y la profundidad adyacente y aguas arriba del estribo.
K1: Factor de corrección por la forma del estribo
K2: Factor de corrección por el ángulo de ataque (θ) del flujo con el talud del estribo.

El uso de este método se recomienda tanto para condiciones de lecho móvil (live-bed) como para agua clara (clear-water).

- **Estudio de suelos**

567

En el sondeo No. 2 localizado hacia la parte noreste del puente, sobre sobre niveles de rellenos y suelo residual. En este sondeo se identificó un horizonte Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla (GC) de color café claro con un porcentaje de finos del 18.66% para los primeros 4.20 metros de profundidad. La capacidad de soporte del suelo mejoro en los 5.100 metros de profundidad. La profundidad de exploración alcanzó los 15.00 metros.

Figura 25. Resultados de laboratorio - Suelos

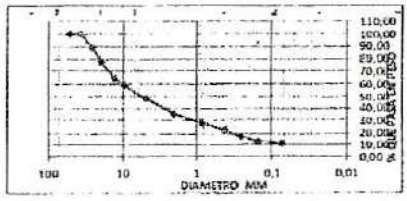
INGE SUELOS&CONSTRUCCIONES SAS
LABORATORIO CARACTERIZACION MATERIALES DE CONSTRUCCION
ENSAYO DE GRANULOMETRIA INV E-123

FECHA	20 DE MAYO DE 2021	SONDEO	2
PROYECTO	CONSTRUCCION DE PUENTE VEHICULAR UBICADO SOBRE LA VEREDA CANOAS SECTOR LA SELVA UBICADO SOBRE LA QUEBRADA LA BOBA	MUESTRA	4
LOCALIZACION	MUNICIPIO DE ALBANIA SANTANDER	PROFUNDIDAD	11,40 - 15.00 m

TARA (gr)	9,3	
TARA+MUESTRA HUMEDA (gr)	687,3	
TARA+MUESTRA SECA (gr)	610,3	
PESO AGUA (gr)	77	
PESO MUESTRA SECA (gr)	601	
HUMEDAD (%)	12,81	

PESO INICIAL DE LA MUESTRA gr: 601
PESO DESPUES DE LAVADO: 540,20
PORCENTAJE QUE PASA No 200 %: 0,09

MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA	MALLA No	ABERTURA	PESO SUELO RETENIDO	PORCIENTO RETENIDO PARCIAL	% QUE PASA LA MALLA
---	mm	gr	%	%	---	mm	gr	%	%
3"	50,8	0,00	0,00	100,00	10	50,2	77,10	12,83	35,46
1 1/2"	38,1	0,00	0,00	100,00	20	41,1	43,20	7,19	28,27
1"	25,4	66,50	11,45	88,55	40	25,9	36,50	6,07	22,20
3/4"	19,3	67,20	11,21	77,35	60	3,5	31,60	5,26	16,94
1/2"	38,3	76,30	12,53	64,86	100	20,3	26,40	4,73	12,21
3/8"	22,6	35,00	5,89	58,97	200	4,4	6,50	1,43	10,76
NO 4	116,5	64,20	10,69	48,29	PASA200	2,4	3,50	0,58	
SUMA	*****	310,90	51,71		SUMA	*****	226,90	38,59	
					TOTAL		536,70		



GRAVAS 51,71 %
ARENAS 37,50 %
FINOS 10,78 %

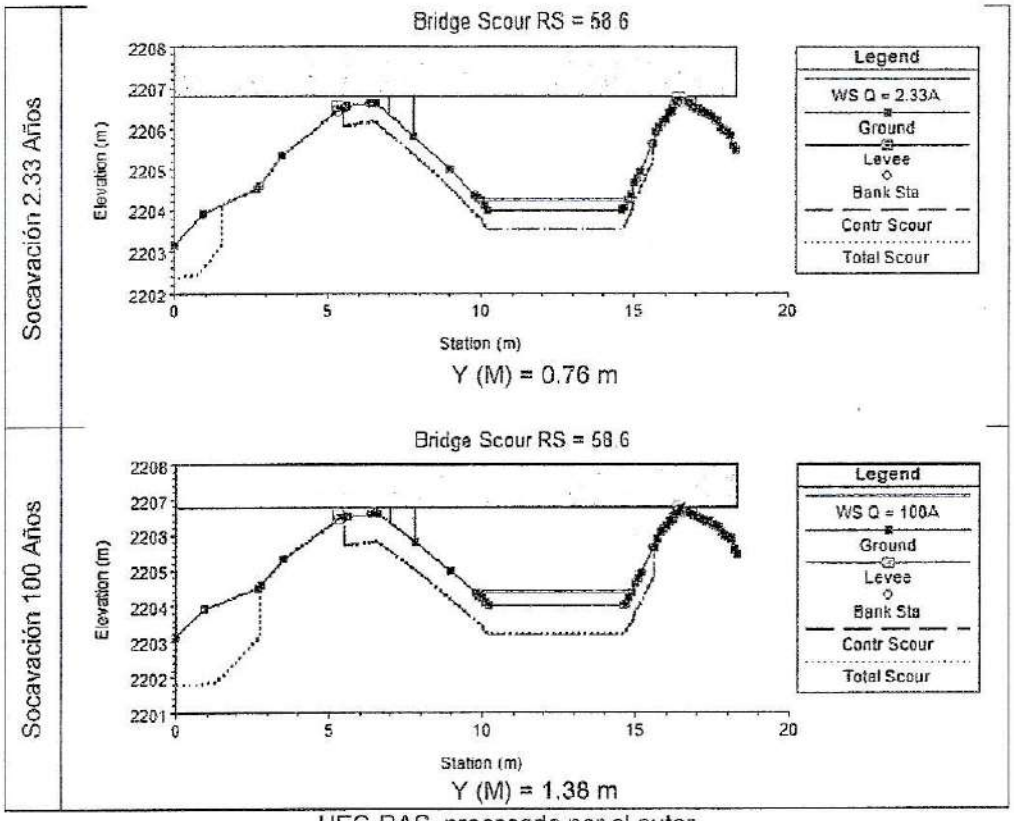
Fuente: Consultoría

De acuerdo con los ensayos de laboratorio se establece un valor de D50 103.42 mm como referente e insumo principal para el análisis de Socavación.

5.2.3. Resultados de la socavación

El cálculo de socavación se realizó teniendo en cuenta la localización propuesta para el puente vehicular y la topografía levantada por la consultoría, así como también el análisis de suelos realizados por este. Los resultados de socavación en la modelación ilustrados en la siguiente figura se verificaron teniendo en cuenta la dirección de flujo y velocidades presentes en puntos críticos del lecho de estudio.

Figura 26 Calculo de socavación– HEC-RAS



HEC-RAS, procesado por el autor

S69

Figura 27 Reporte cálculo de socavación– HEC-RAS

Reporte Socavación 2.33 Años

Contraction Scour				
		Left	Channel	Right
Input Data				
	Average Depth (m):	0.17	0.45	
	Approach Velocity (m/s):	0.96	2.82	
	Br Average Depth (m):		0.26	
	BR Opening Flow (m3/s):		10.32	
	BR Top WD (m):		4.39	
	Grain Size D50 (mm):	103.42	103.42	103.42
	Approach Flow (m3/s):	0.11	10.21	
	Approach Top WD (m):	0.66	7.96	
	K1 Coefficient:	0.590	0.590	
Results				
	Scour Depth Ys (m):		0.44	
	Critical Velocity (m/s):			
	Equation:		Clear	

Abutment Scour			
		Left	Right
Input Data			
	Station at Toe (m):	0.00	18.30
	Toe Sta at appr (m):	0.00	18.70
	Abutment Length (m):	0.66	0.00
	Depth at Toe (m):	1.12	-1.20
	K1 Shape Coef:	1.00 - Verbical abutment	
	Degree of Skew (degrees):	90.00	90.00
	K2 Skew Coef:	1.00	1.00
	Projected Length L' (m):	0.66	0.00
	Avg Depth Obstructed Ya (m):	0.17	
	Flow Obstructed Qe (m3/s):	0.11	
	Area Obstructed Ae (m2):	0.11	
Results			
	Scour Depth Ys (m):	0.76	
	Qe/Ae = Ve:	1.00	
	Froude #:	0.77	
	Equation:	Froehlich	Default

Combined Scour Depths		
	Left abutment scour + contraction scour (m):	0.76

Reporte Socavación 100 Años

Contraction Scour				
		Left	Channel	Right
Input Data				
	Average Depth (m):	0.30	0.60	
	Approach Velocity (m/s):	1.39	3.37	
	Br Average Depth (m):		0.39	
	BR Opening Flow (m3/s):		20.30	
	BR Top WD (m):		5.18	
	Grain Size D50 (mm):	103.42	103.42	103.42
	Approach Flow (m3/s):	0.49	19.81	
	Approach Top WD (m):	1.16	9.80	
	K1 Coefficient:	0.590	0.590	
Results				
	Scour Depth Ys (m):		0.81	
	Critical Velocity (m/s):			
	Equation:		Clear	

Abutment Scour			
		Left	Right
Input Data			
	Station at Toe (m):	0.00	18.30
	Toe Sta at appr (m):	0.00	18.70
	Abutment Length (m):	1.16	0.00
	Depth at Toe (m):	1.27	-1.05
	K1 Shape Coef:	1.00 - Vertical abutment	
	Degree of Skew (degrees):	90.00	90.00
	K2 Skew Coef:	1.00	1.00
	Projected Length L' (m):	1.16	0.00
	Avg Depth Obstructed Ya (m):	0.30	
	Flow Obstructed Qe (m3/s):	0.49	
	Area Obstructed Ae (m2):	0.35	
Results			
	Scour Depth Ys (m):	1.38	
	Qe/Ae = Ve:	1.40	
	Froude #:	0.82	
	Equation:	Froehlich	Default

Combined Scour Depths		
	Left abutment scour + contraction scour (m):	1.38

Fuente: HEC-RAS, procesado por el autor

Los resultados obtenidos de socavación para cada uno de los periodos de retorno son (Ver Anexo 3):

A la luz de los resultados obtenidos por medio de la modelación hidráulica y socavación para el puente vehicular propuesto, se toma como referencia la socavación de 2.33 años y 100 años como periodo de retorno, pues según ensayos de laboratorio, teniendo en cuenta que el modelo HEC-RAS no contempla en la modelación el perfil de suelo, sino la granulometría del D50, por ello fue necesario calibrar los resultados con los ensayos de suelos.

Finalmente se espera que la altura de la lámina de agua a un periodo de retorno de 100 años la socavación total es 1.38 m por ende, es necesario contemplar un galibo

de como mínimo 2.5 metros por encima del N.A.M.E de la altura de lámina de agua, según la recomendación del manual de drenaje de INVIAS, teniendo en cuenta las características y el tipo de suelo de la quebrada.

571

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan las principales conclusiones y recomendaciones que resultaron en el desarrollo de los estudios de hidrología, hidráulica y socavación.

- Los registros de precipitaciones máximas en 24 hrs se obtuvieron del banco de datos del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) de la estación Albania [23125060], cumpliendo con las dos interpolaciones, ya que en el cálculo de isoyetas la precipitación que corresponde al área de estudio es de 88.42 mm/año y la estación Albania registra una precipitación promedio cercana a esta. Aunque la estación Casa Amarilla también cumple con interpolación e hidrológicamente homogénea al comportamiento de la cuenca, se toma los datos de la estación más cercana, siendo esta la estación Albania.
- Con el fin de estimar los valores de precipitación esperada para varios periodos de retorno, se verifico con el ajuste de los datos de la serie de precipitaciones máximas a una distribución de probabilidades conocida, el ajuste de distribución se realizó mediante el ajuste de Smirnov Kolmogorov utilizando el programa "Hidroesta". De acuerdo con los resultados de las distribuciones usadas, la función que mejor se ajusta al registro de datos de precipitaciones máximas mensuales es la función Gumbel con probabilidad de no excedencia de periodo de retorno de 5 años =80 %, 10 años =90 %, 20 años = 95% y 50 años = 98%.
- Se usó el método de hietogramas por medio del modelo HEC-HMS, para la estimación de caudales máximos con el método de Clark hidrograma unitario, ya que tiene aplicación en el diseño de drenaje superficial, para áreas mayores a 1,0 km2, además este método es uno de los usados en el diseño de obras hidráulicas puntuales y estudios de inundación.
- Partiendo de la topografía original, se recomienda que se lleve a cabo una reconformación del cauce, sin dejar de lado que esta se debe realizar de manera gradual, con el fin de evitar el aumento drástico de pendientes, y/o la desestabilización del material existente en la quebrada, con el fin de retirar las estructuras existentes e implementar las nuevas de acuerdo a los diseños propuestos por el consultor.
- A partir del cálculo de caudales y la modelación hidráulica, a la altura de la sección 59 (según modelo hidráulico), se cuenta con la capacidad hidráulica; sin embargo, esta quebrada cuenta con aportes considerables de material que ha sido desprendido de la zona media y alta de la cuenca, por ello es necesario tomar el galibo mínimo de 2.5 metros para este tipo de cauces,

partiendo de la altura de la lámina de agua a un periodo de retorno de 100 años.

- La socavación es calculada en la sección propuesta para la implantación del puente, es de 1.38 m, aproximadamente. Este valor fue calculado a partir del análisis en las secciones transversales, por medio de HEC-RAS y el estudio de suelos, pues es importante tener en cuenta que el modelo HEC-RAS no contempla en la modelación el perfil de suelo, sino la granulometría del D50, por ello fue necesario la calibración de la modelación con los resultados de ensayos de suelos.
- Se recomienda que el proyecto sea ejecutado durante los meses en los cuales las condiciones hidroclimatológicas son más favorables, es decir en el periodo comprendido entre los meses de enero, febrero, julio y agosto

Atentamente

DOCUMENTO VÁLIDO - LAURA A. GUTIERREZ M. - ESPECIALISTA EN RECURSOS HÍDRICOS

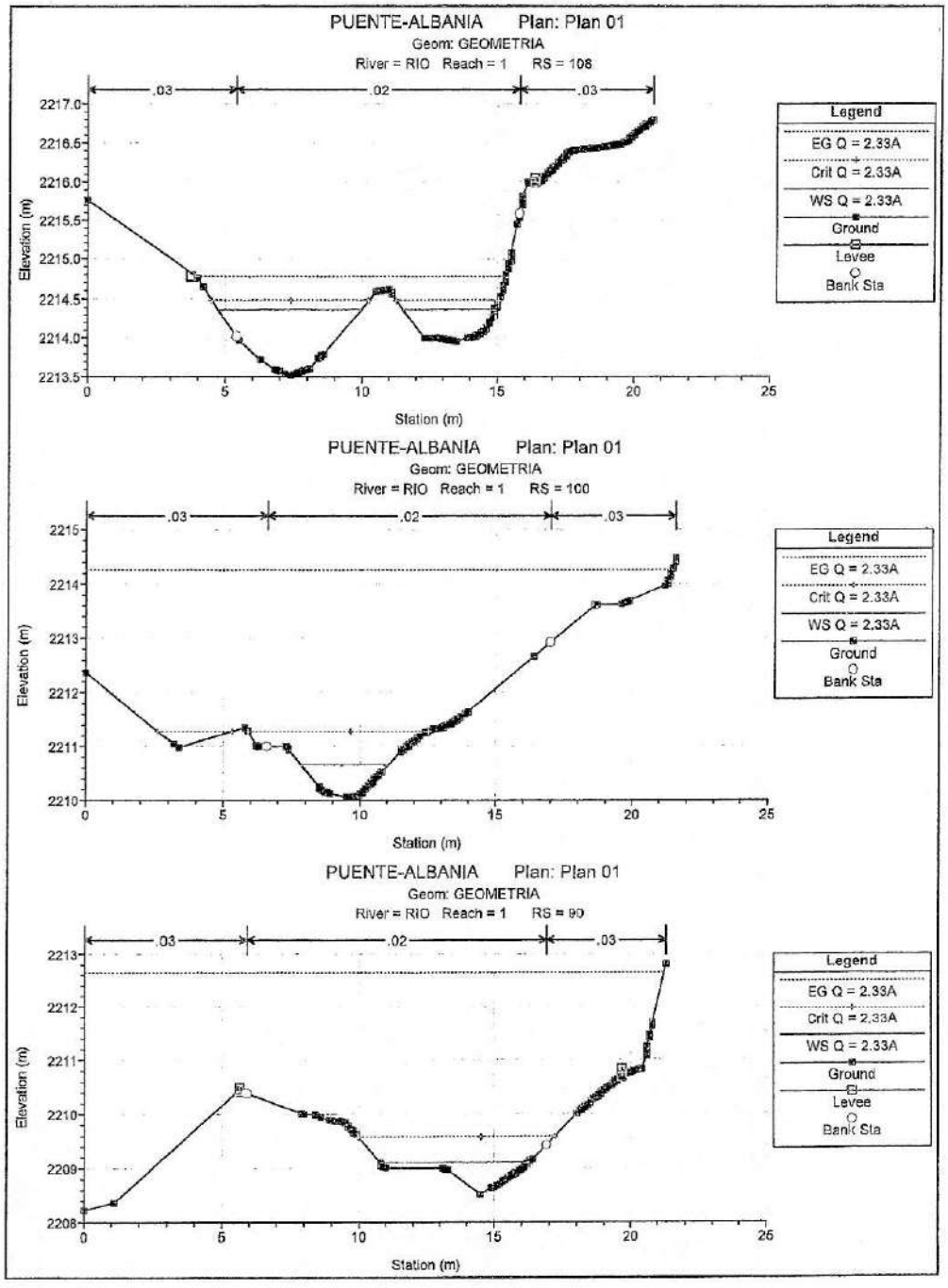
LAURA ANDREA GUTIERREZ M.
Ingeniera Ambiental
15238-348332 BYC

LAURA ANDREA GUTIÉRREZ MOLANO
Ingeniera Ambiental
Esp. En recursos hidricos
C.c.: 1.057.597.349
M.P.: 15238-348332 BYC
Cel.: 310 273 11 5

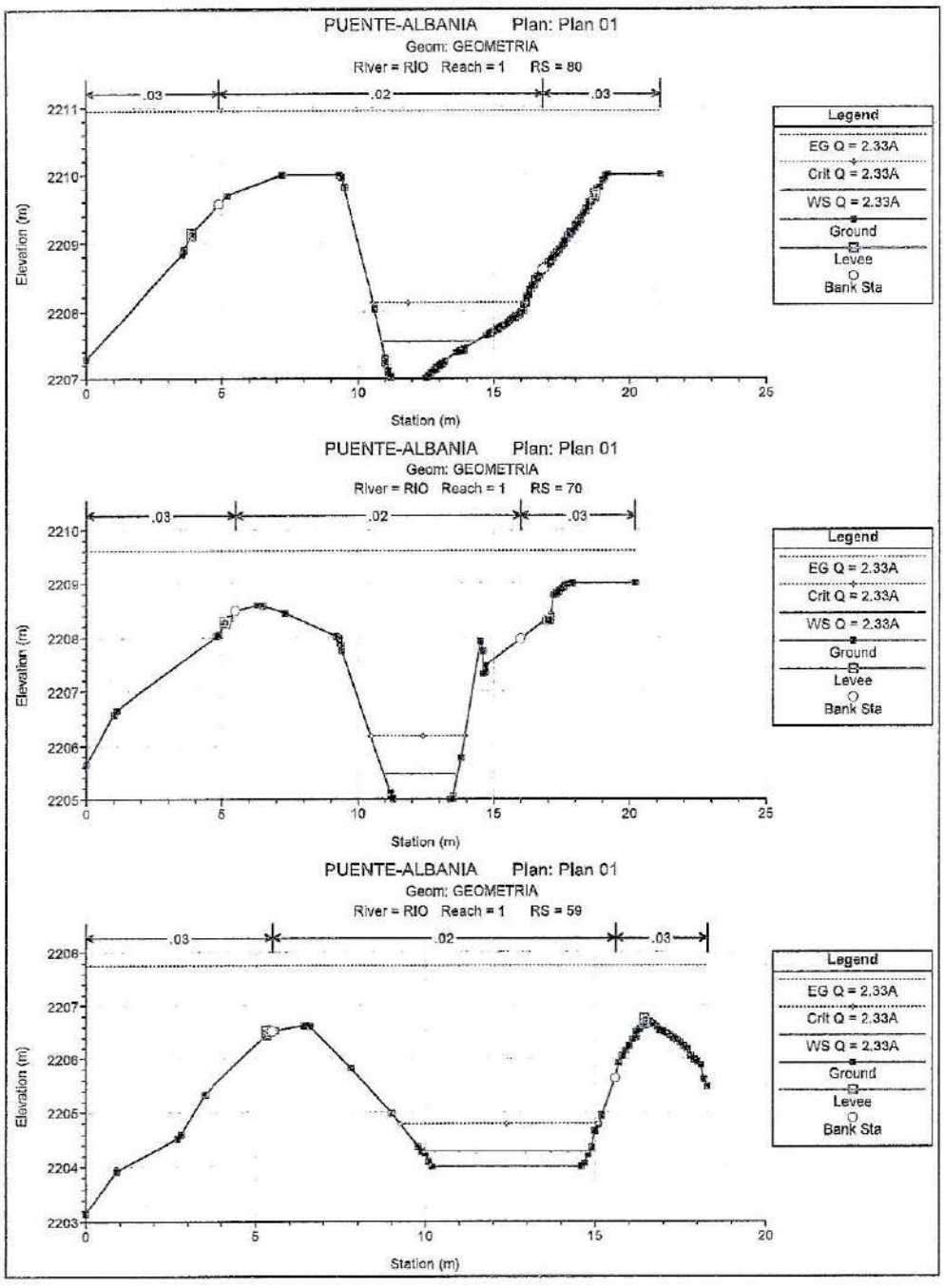
ANEXOS

ANEXO 2. SECCIONES TRANSVERSALES

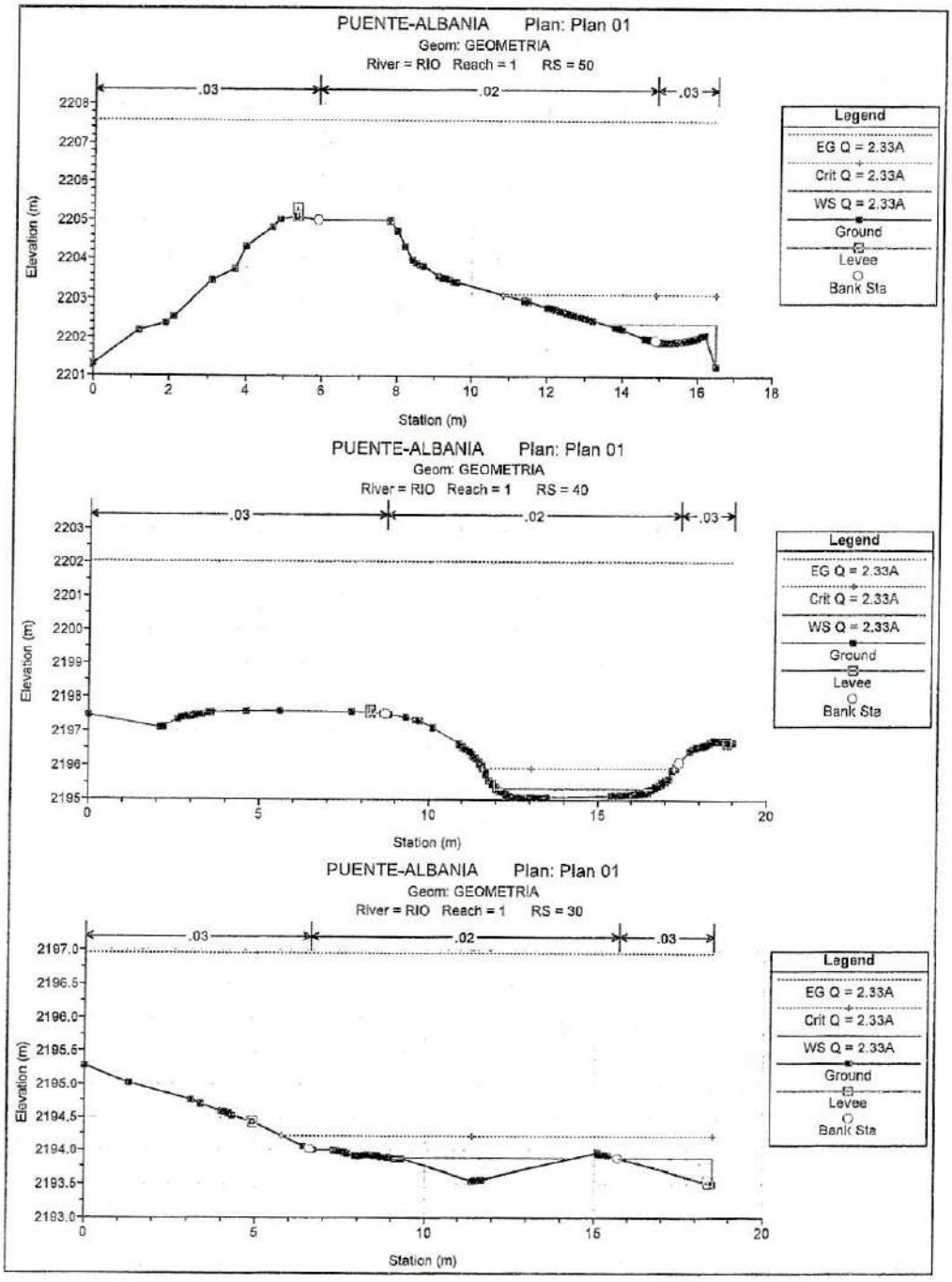
575

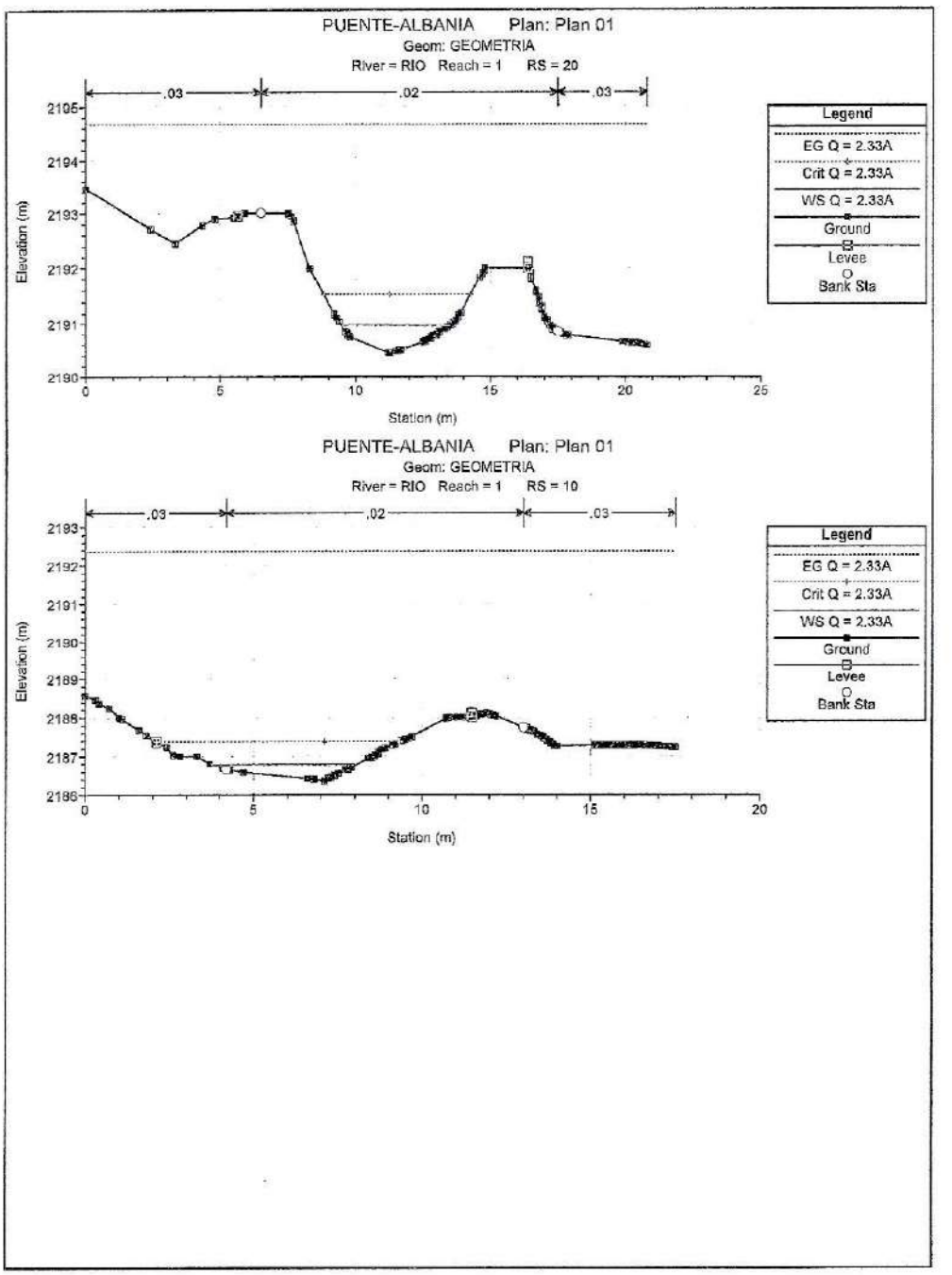

PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 108
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 2.33A
Crit Q = 2.33A
WS Q = 2.33A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 100
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 2.33A
Crit Q = 2.33A
WS Q = 2.33A
Ground
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 90
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 2.33A
Crit Q = 2.33A
WS Q = 2.33A
Ground
Levee
Bank Sta

576

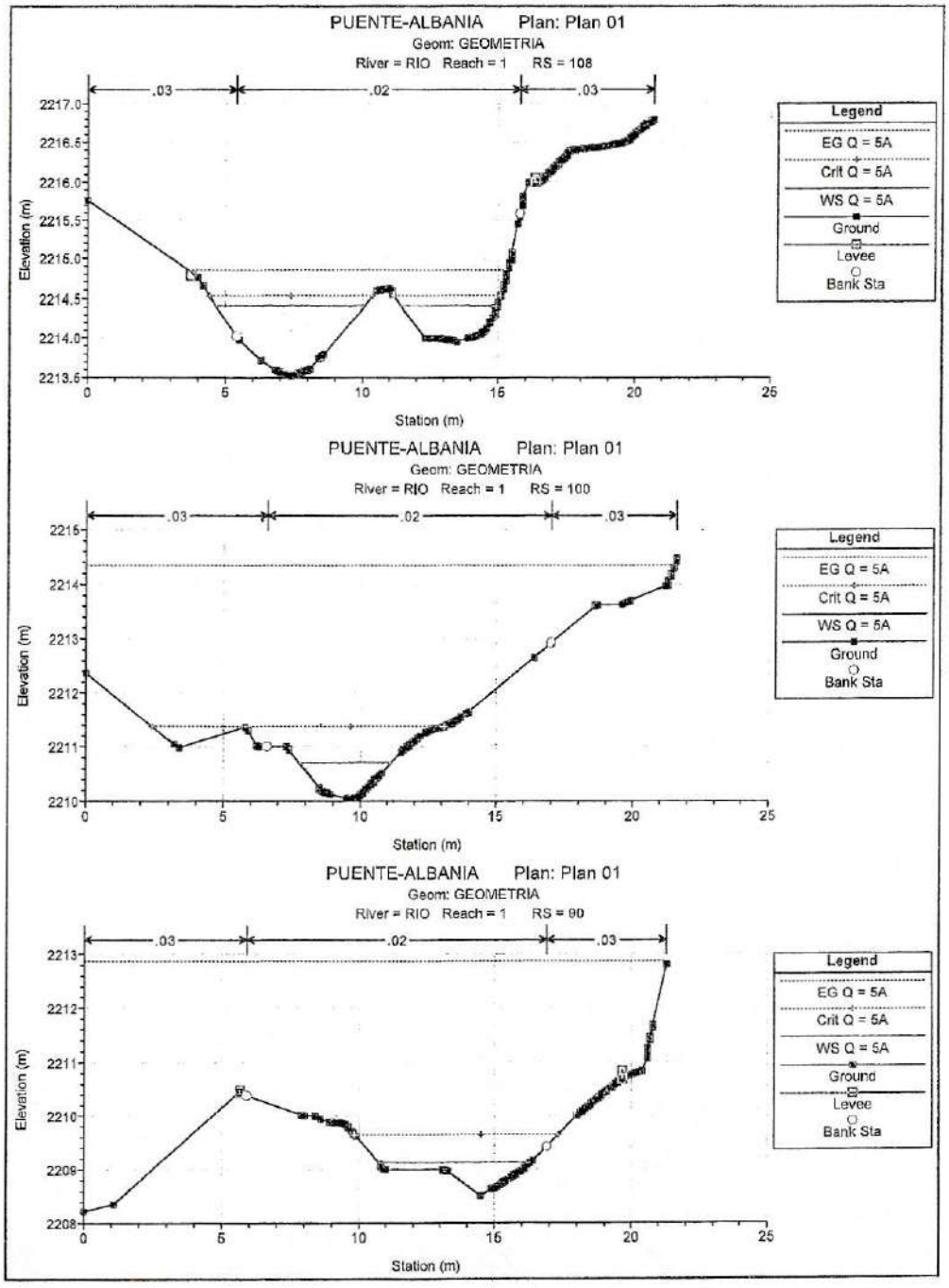

PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 80
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 2.33A
Crit Q = 2.33A
WS Q = 2.33A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 70
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 2.33A
Crit Q = 2.33A
WS Q = 2.33A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 59
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 2.33A
Crit Q = 2.33A
WS Q = 2.33A
Ground
Levee
Bank Sta

577


PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 50
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 2.33A
Crit Q = 2.33A
WS Q = 2.33A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 40
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 2.33A
Crit Q = 2.33A
WS Q = 2.33A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 30
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 2.33A
Crit Q = 2.33A
WS Q = 2.33A
Ground
Levee
Bank Sta

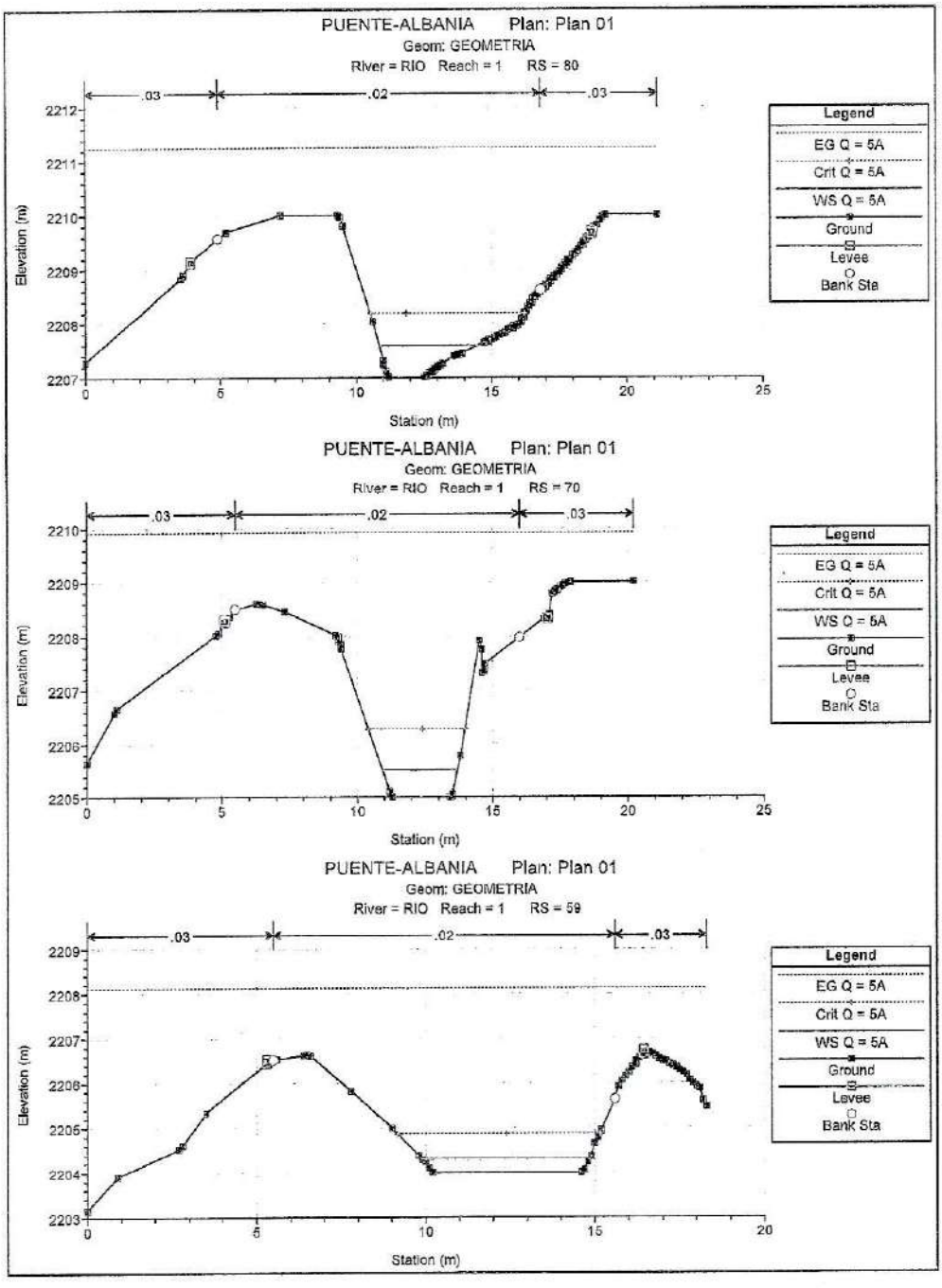

PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 20
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 2.33A
Crit Q = 2.33A
WS Q = 2.33A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 10
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 2.33A
Crit Q = 2.33A
WS Q = 2.33A
Ground
Levee
Bank Sta

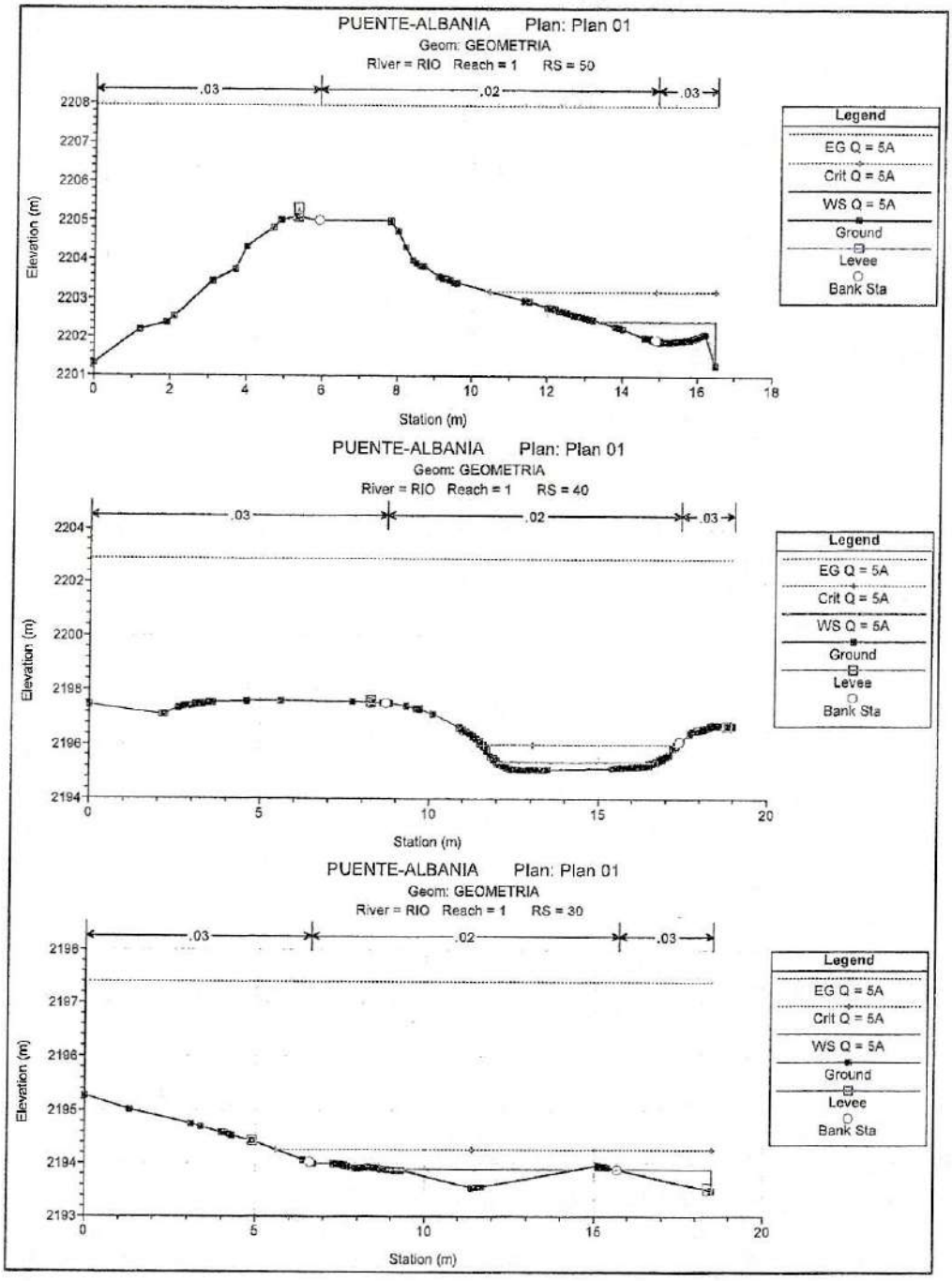
579

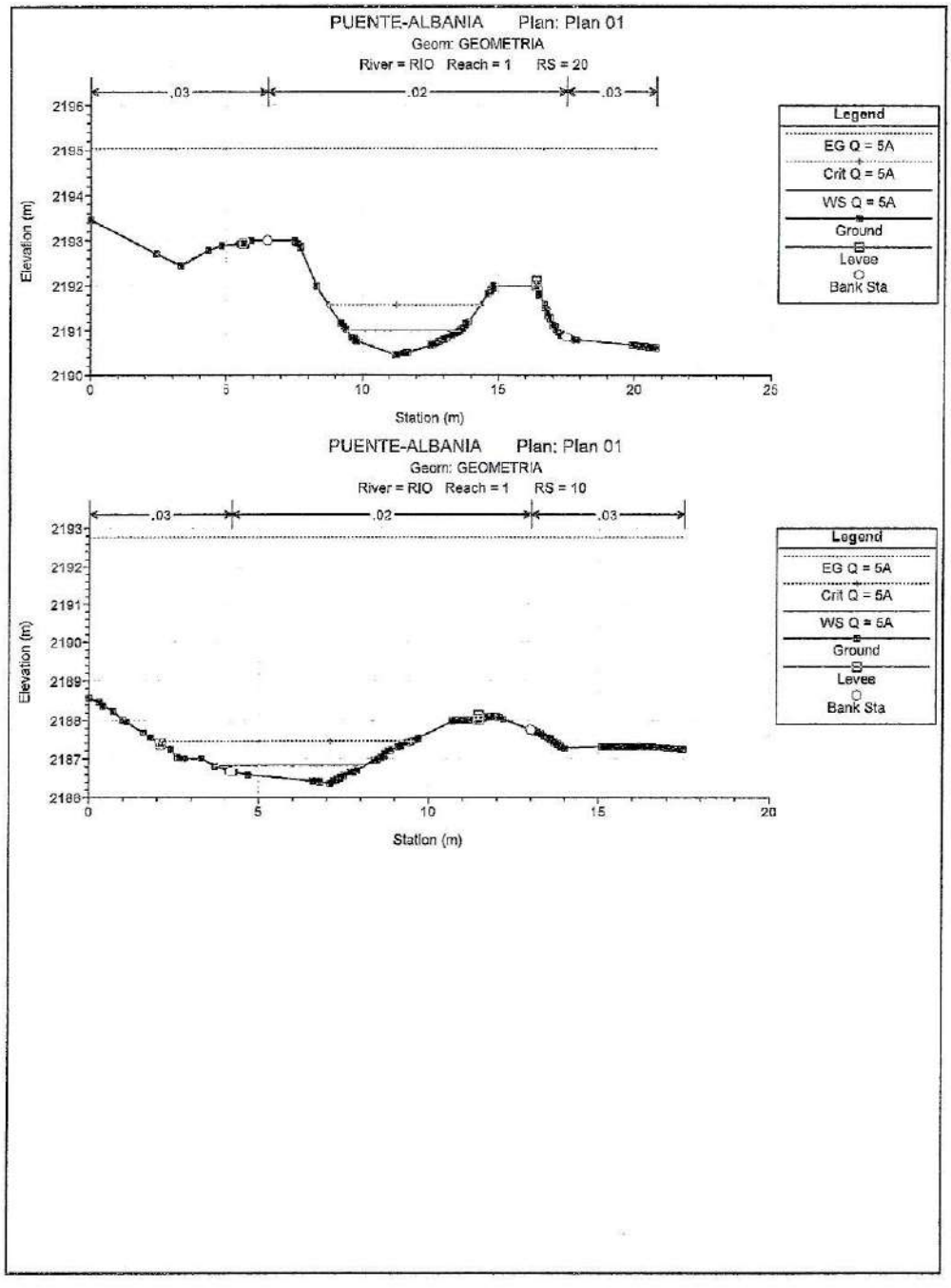

PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 108
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 5A
Crit Q = 5A
WS Q = 5A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 100
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 5A
Crit Q = 5A
WS Q = 5A
Ground
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 90
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 5A
Crit Q = 5A
WS Q = 5A
Ground
Levee
Bank Sta

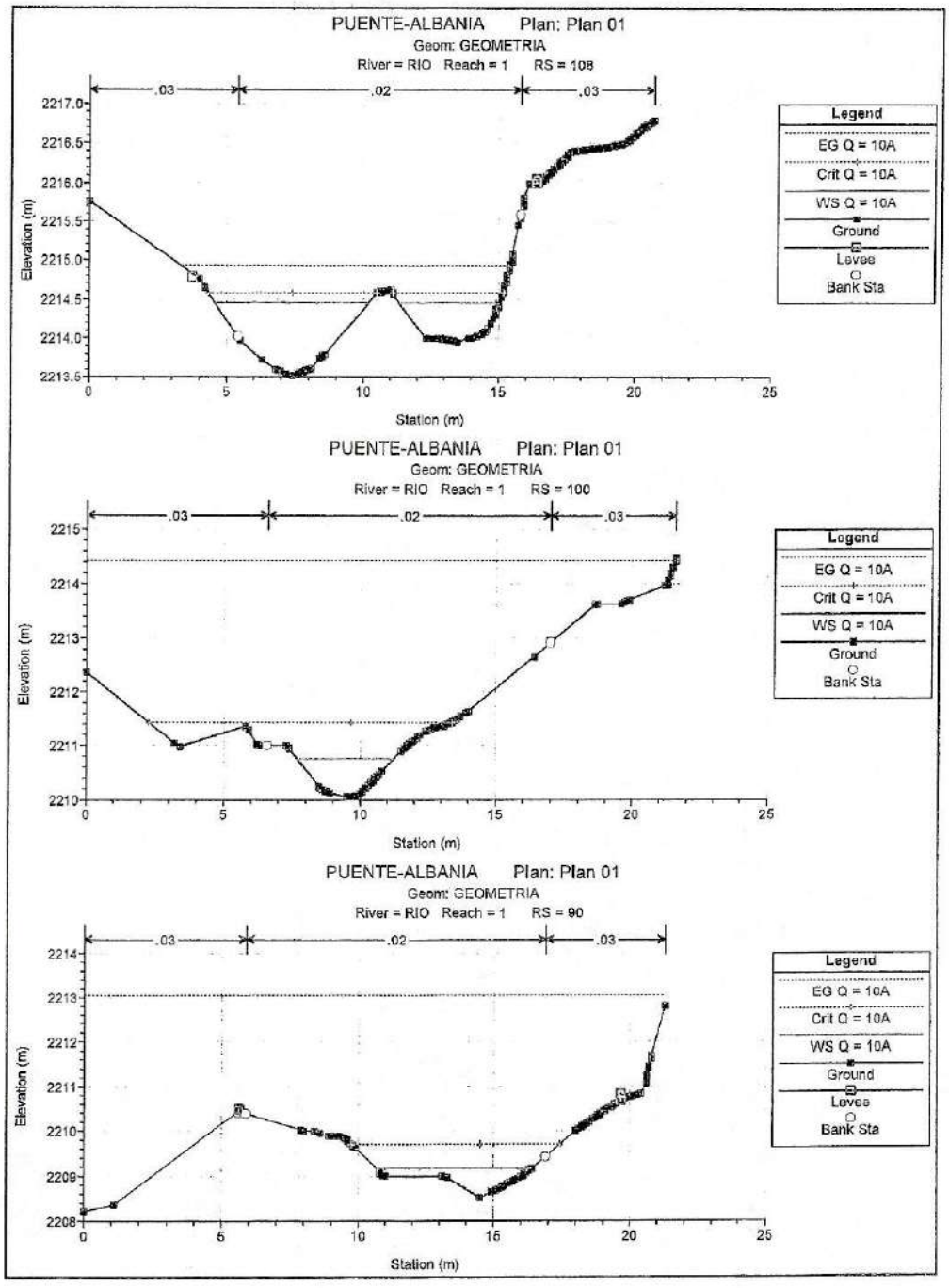
580

580


PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 80
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 5A
Crit Q = 5A
WS Q = 5A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 70
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 5A
Crit Q = 5A
WS Q = 5A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 59
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 5A
Crit Q = 5A
WS Q = 5A
Ground
Levee
Bank Sta

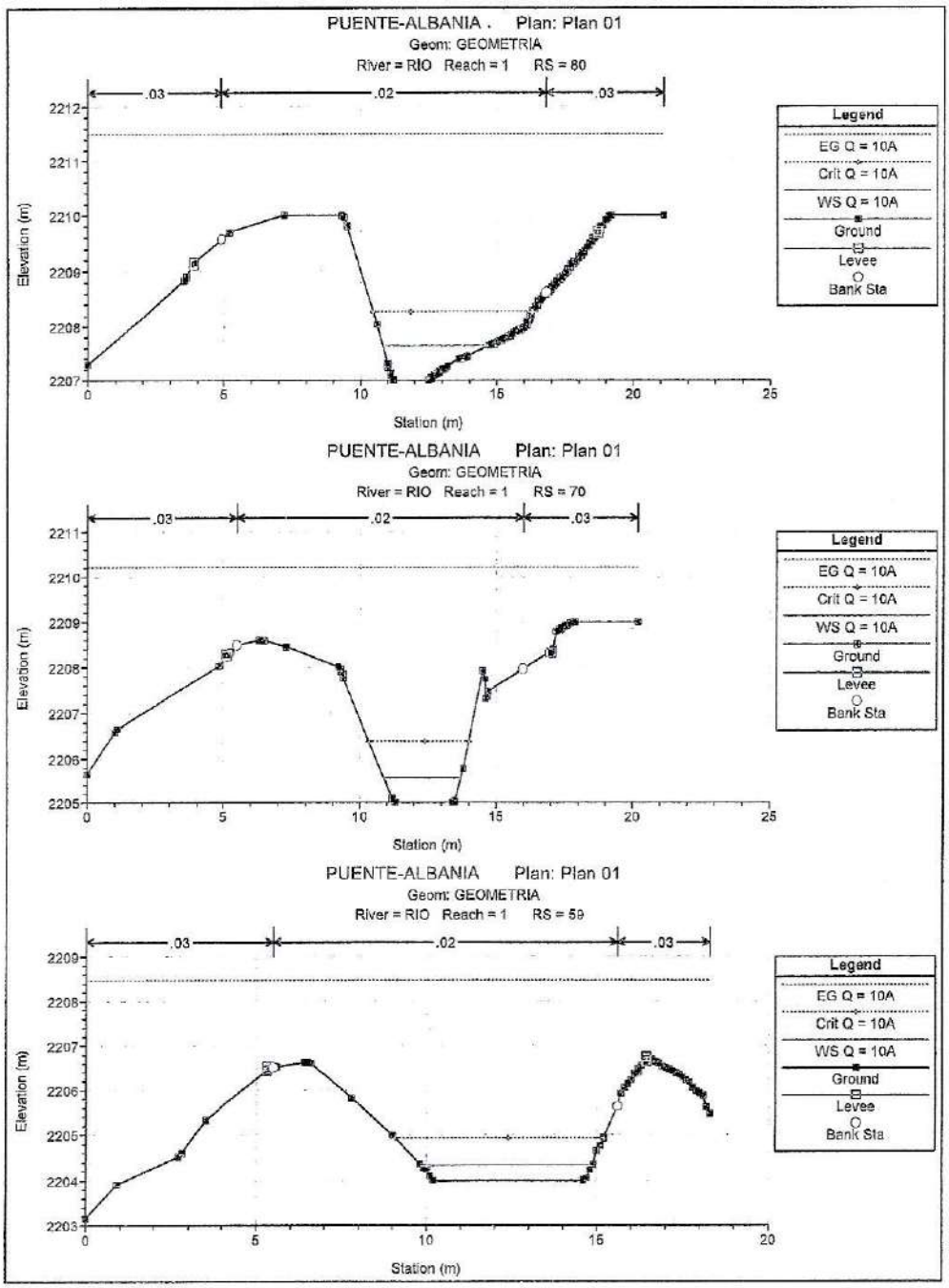

PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 50
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 5A
Crit Q = 5A
WS Q = 5A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 40
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 5A
Crit Q = 5A
WS Q = 5A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 30
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 5A
Crit Q = 5A
WS Q = 5A
Ground
Levee
Bank Sta

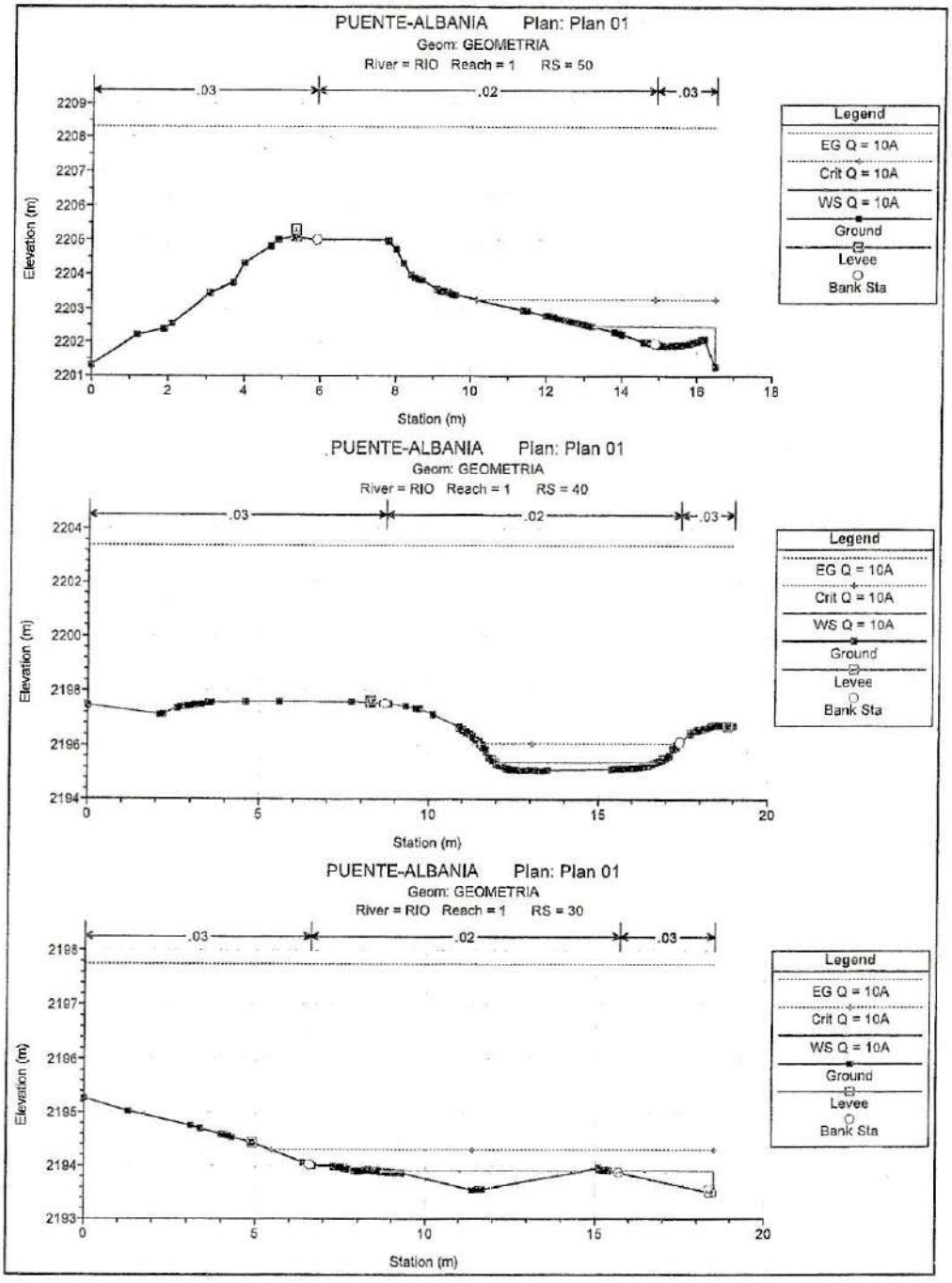

PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 20
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 5A
Crit Q = 5A
WS Q = 5A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 10
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 5A
Crit Q = 5A
WS Q = 5A
Ground
Levee
Bank Sta


PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 108
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 10A
Crit Q = 10A
WS Q = 10A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 100
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 10A
Crit Q = 10A
WS Q = 10A
Ground
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 90
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 10A
Crit Q = 10A
WS Q = 10A
Ground
Levee
Bank Sta

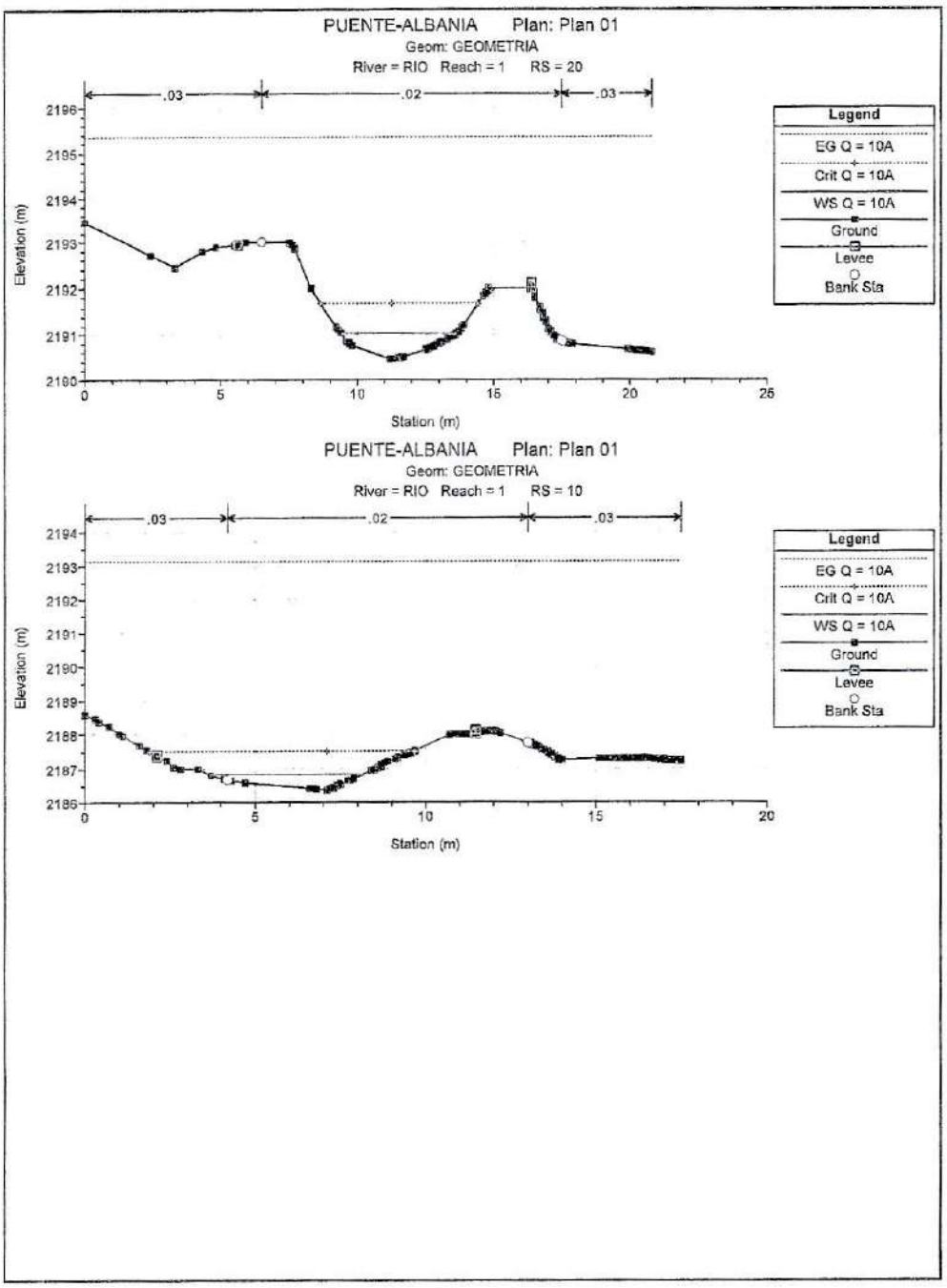
S84

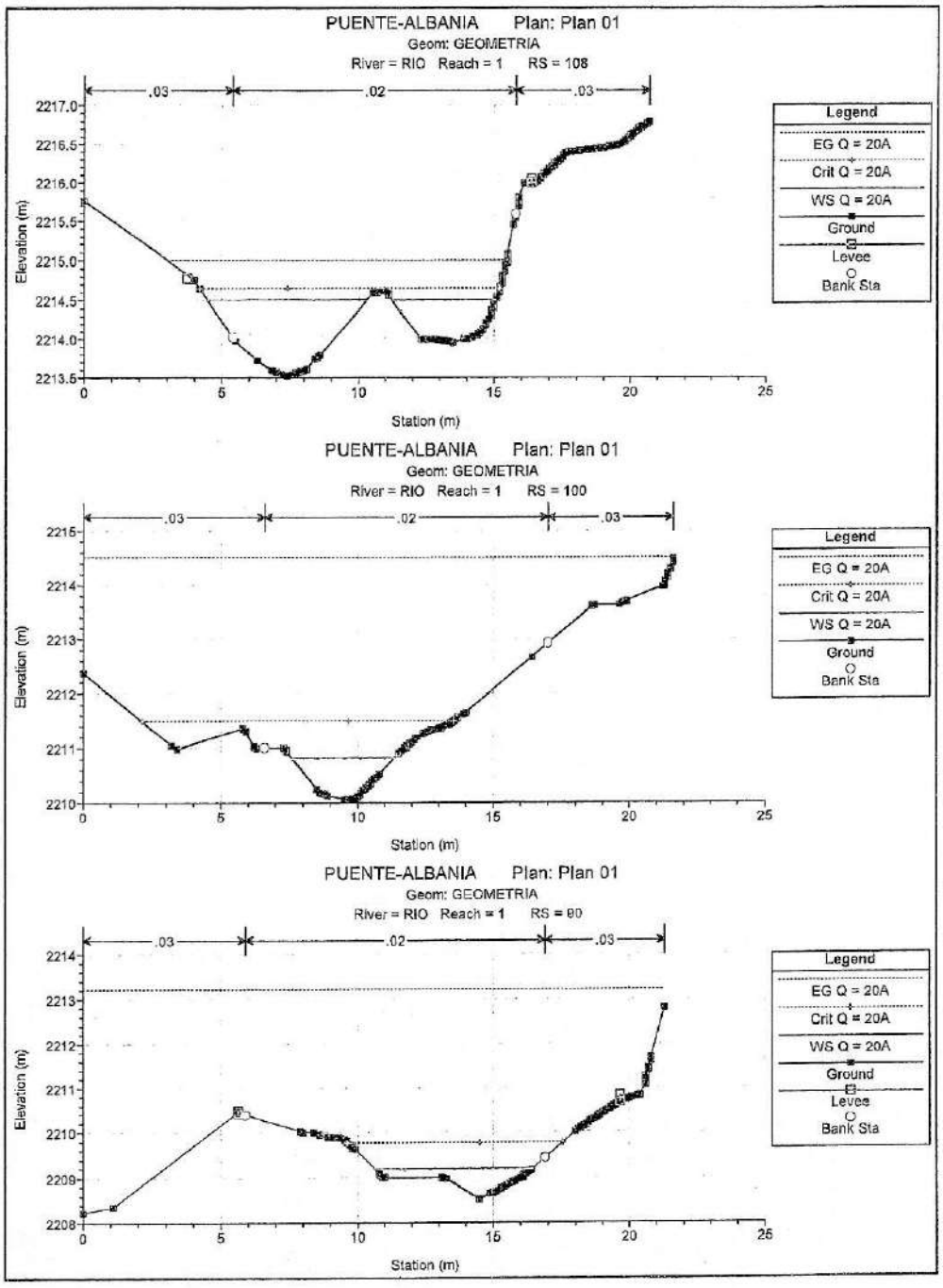
S84


PUENTE-ALBANIA . Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 80
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 10A
Crit Q = 10A
WS Q = 10A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 70
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 10A
Crit Q = 10A
WS Q = 10A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 59
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 10A
Crit Q = 10A
WS Q = 10A
Ground
Levee
Bank Sta

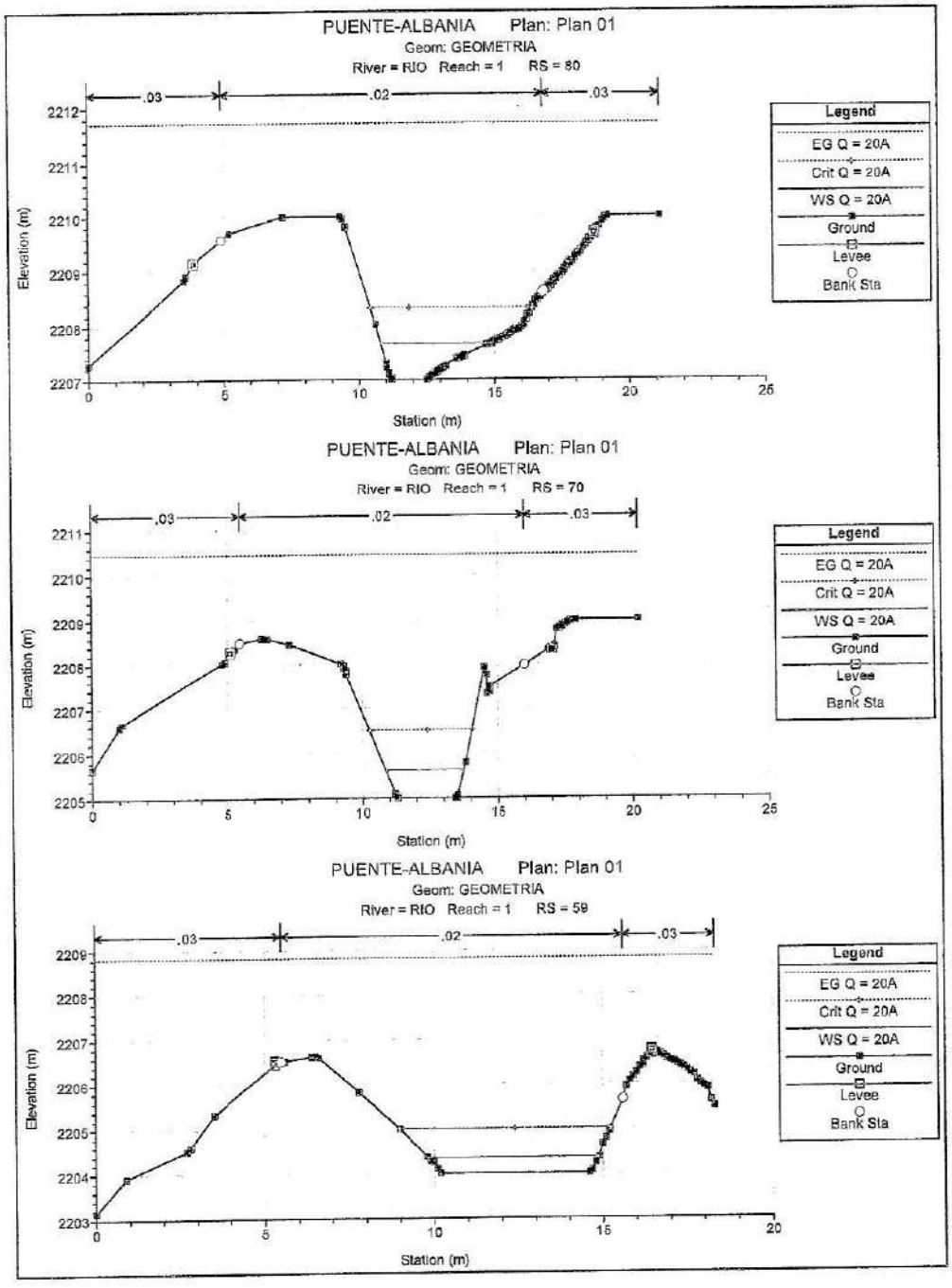

PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 50
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 10A
Crit Q = 10A
WS Q = 10A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 40
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 10A
Crit Q = 10A
WS Q = 10A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 30
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 10A
Crit Q = 10A
WS Q = 10A
Ground
Levee
Bank Sta

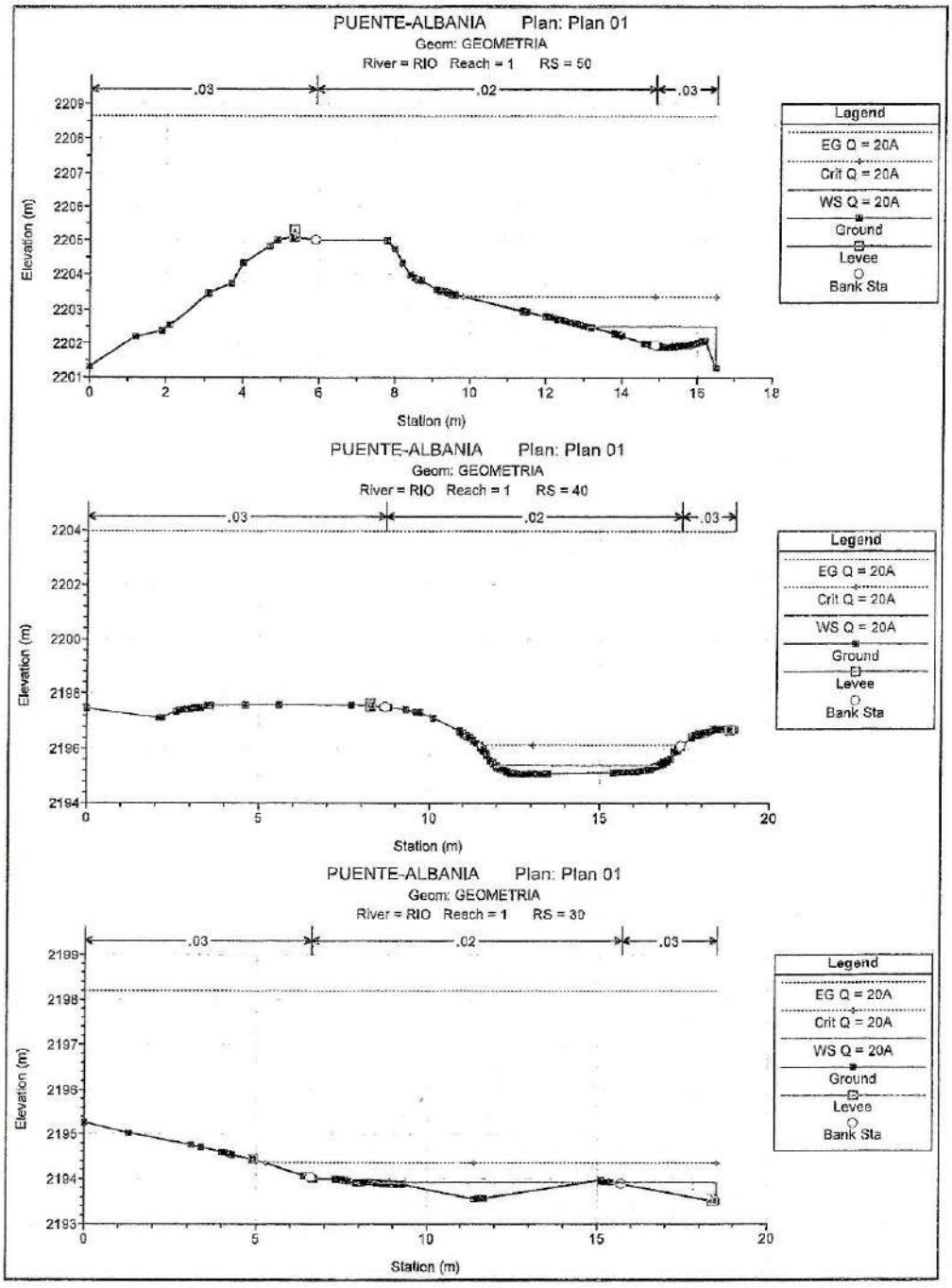
586


PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 20
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 10A
Crit Q = 10A
WS Q = 10A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 10
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 10A
Crit Q = 10A
WS Q = 10A
Ground
Levee
Bank Sta

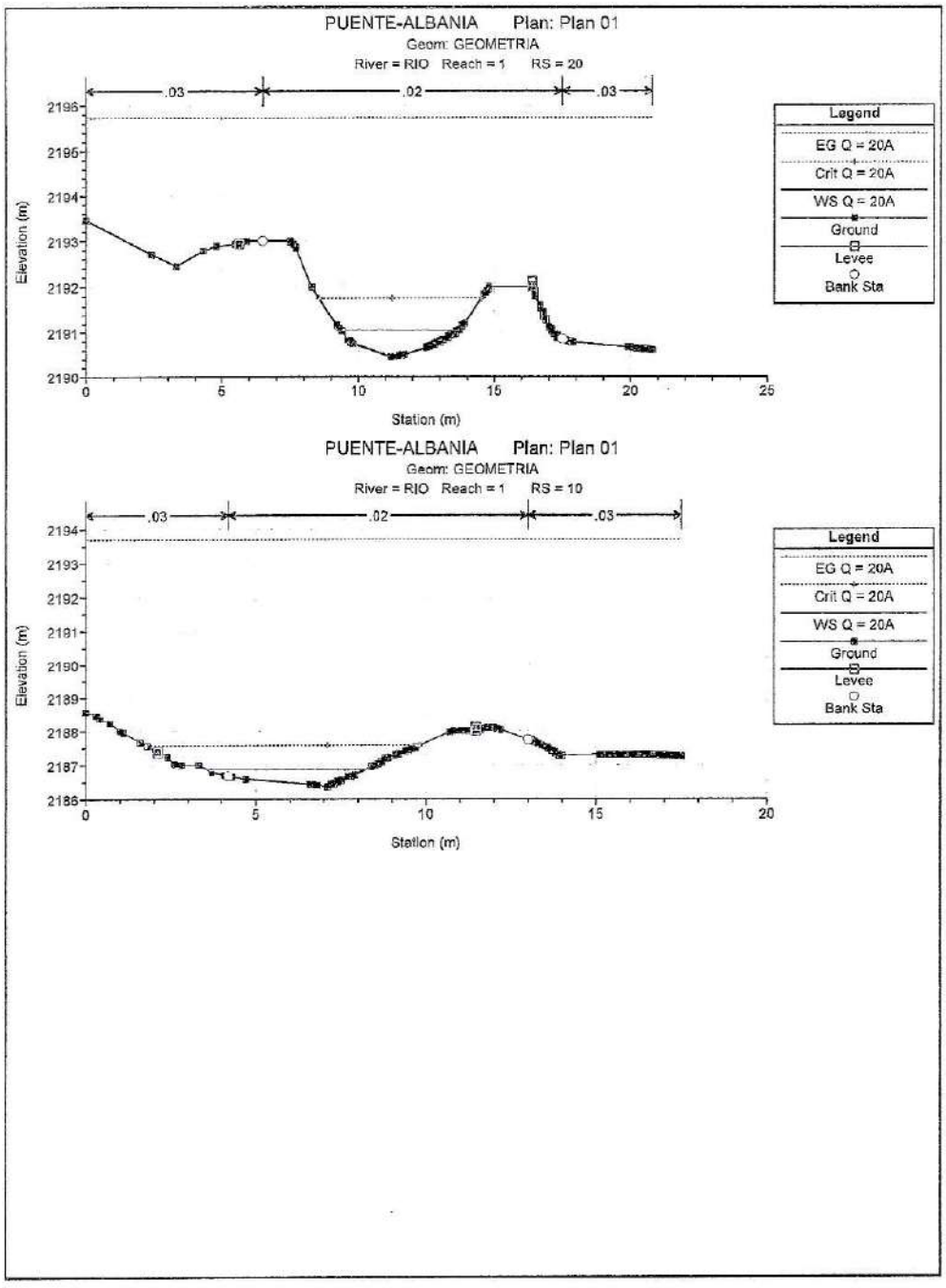

PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 108
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 20A
Crit Q = 20A
WS Q = 20A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 100
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 20A
Crit Q = 20A
WS Q = 20A
Ground
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 90
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 20A
Crit Q = 20A
WS Q = 20A
Ground
Levee
Bank Sta

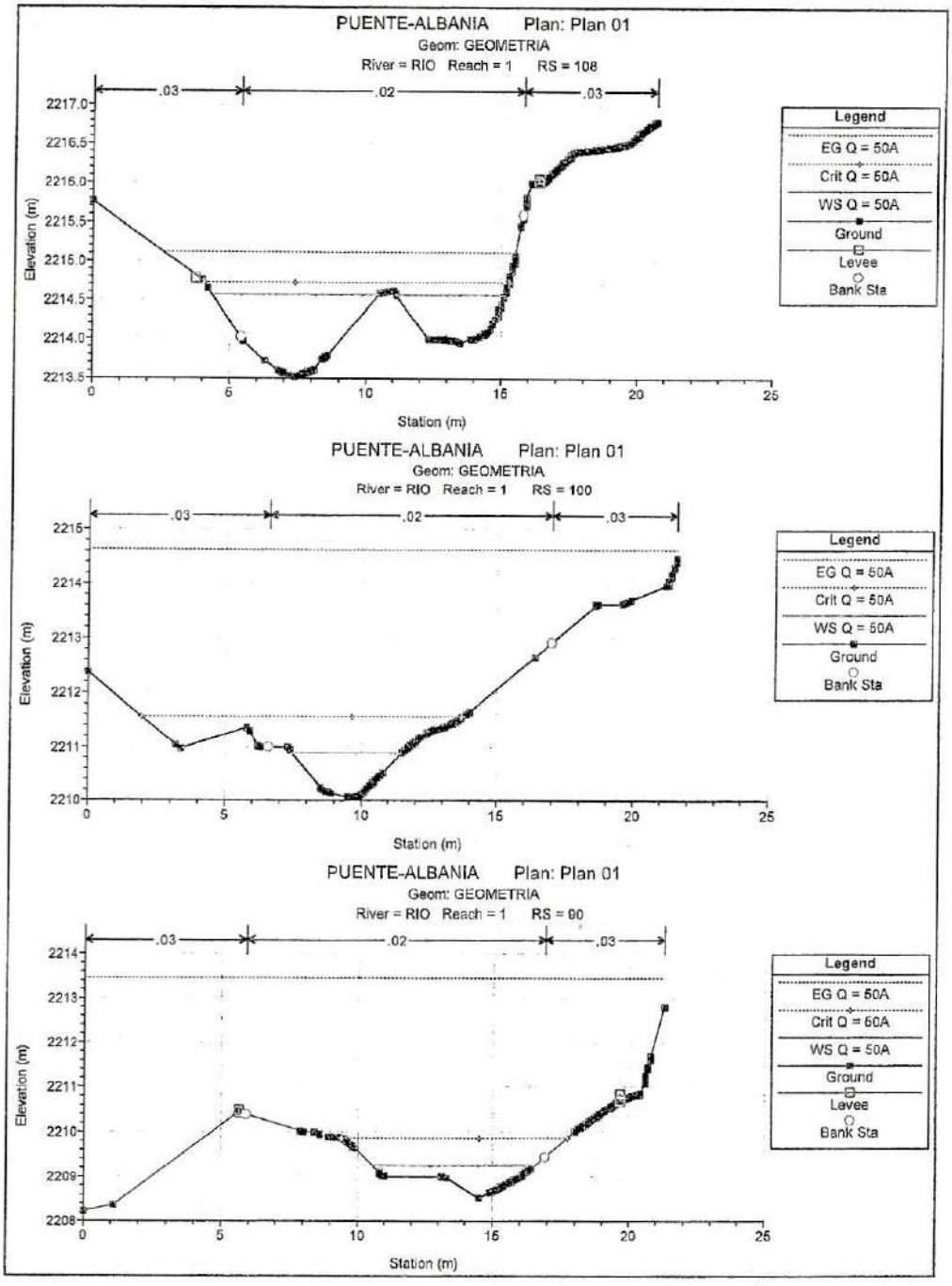
588


PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 80
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 20A
Crit Q = 20A
WS Q = 20A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 70
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 20A
Crit Q = 20A
WS Q = 20A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 59
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 20A
Crit Q = 20A
WS Q = 20A
Ground
Levee
Bank Sta

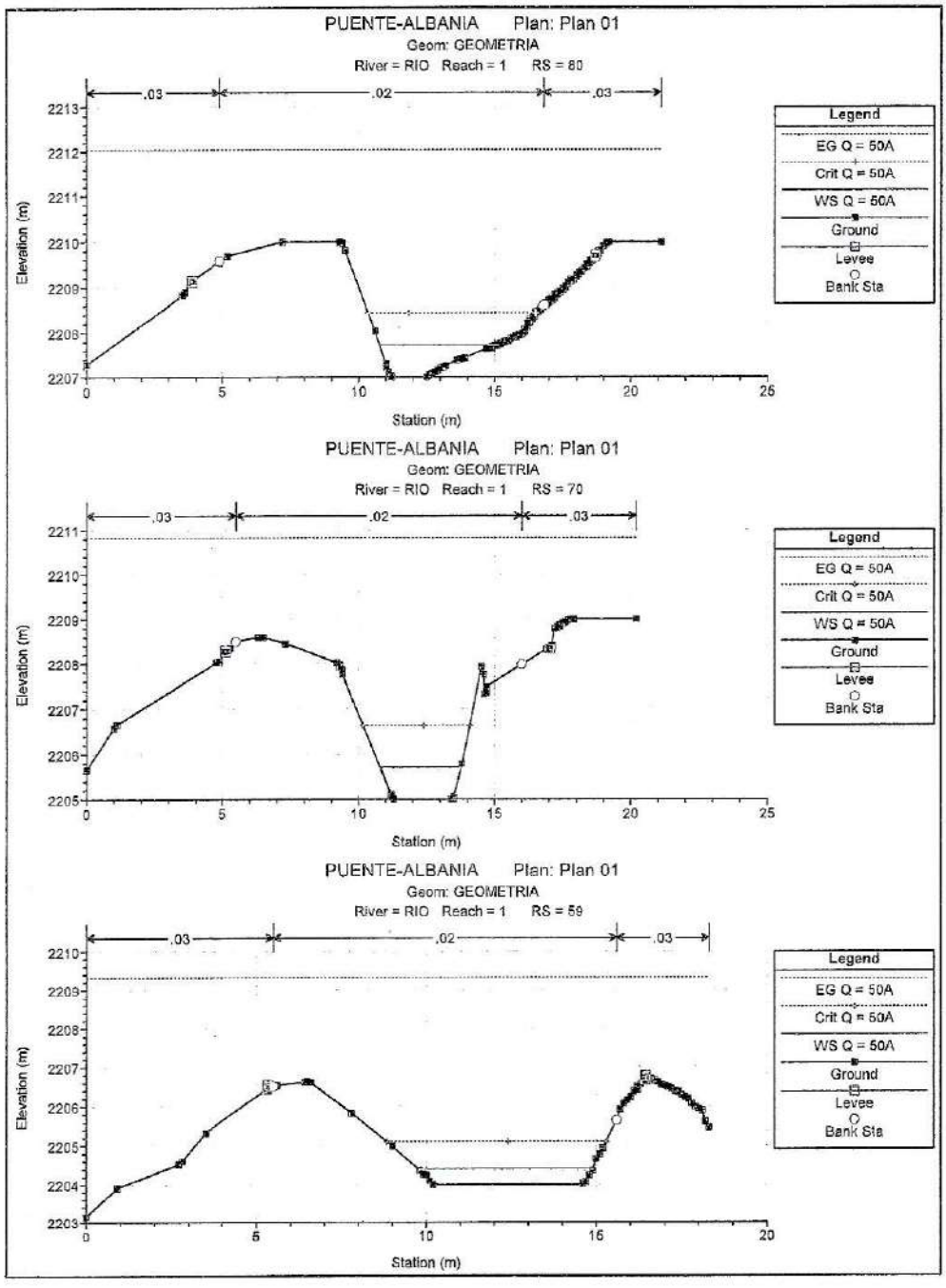

PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 50
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 20A
Crit Q = 20A
WS Q = 20A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 40
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 20A
Crit Q = 20A
WS Q = 20A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 30
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 20A
Crit Q = 20A
WS Q = 20A
Ground
Levee
Bank Sta

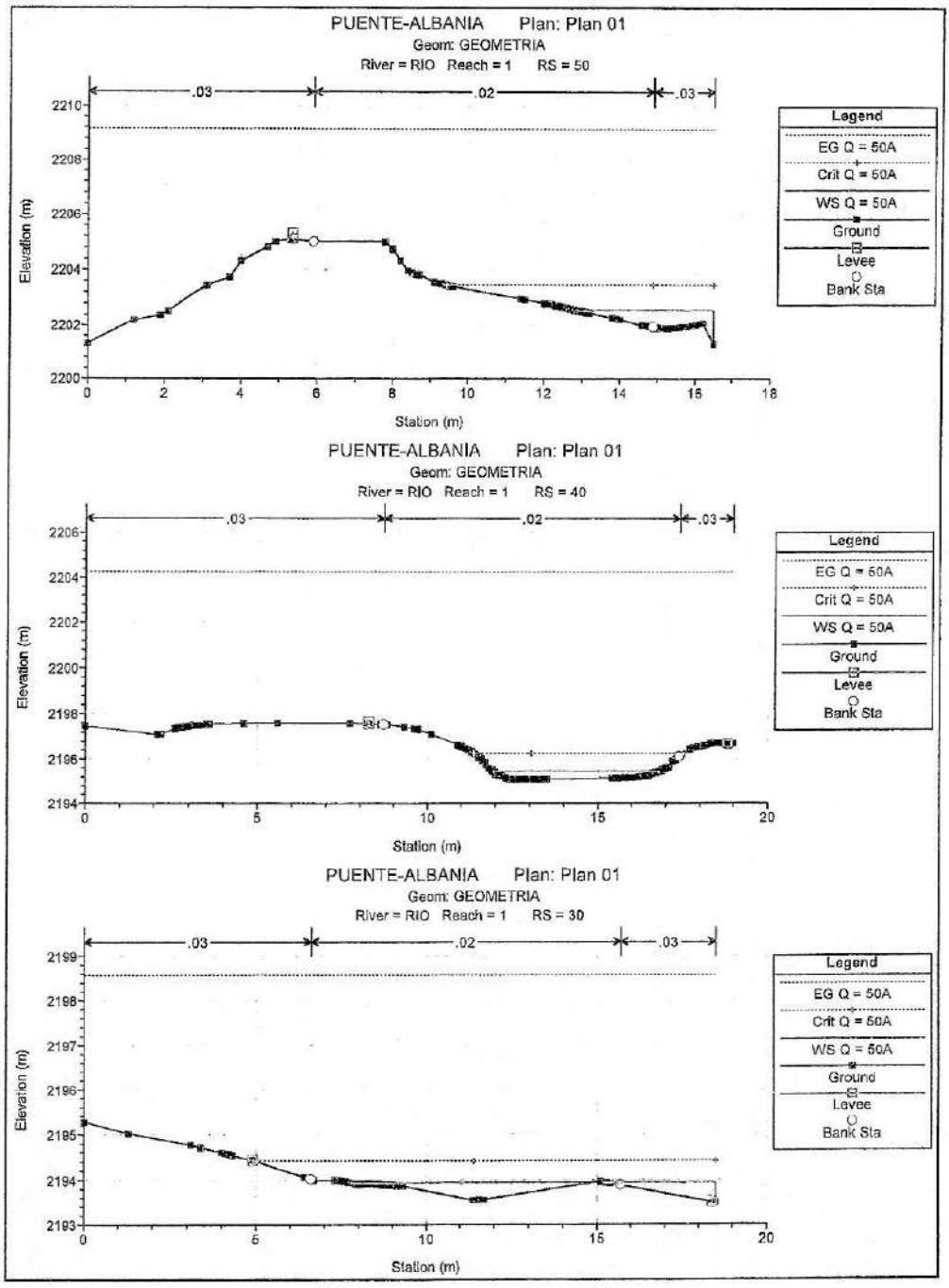
590

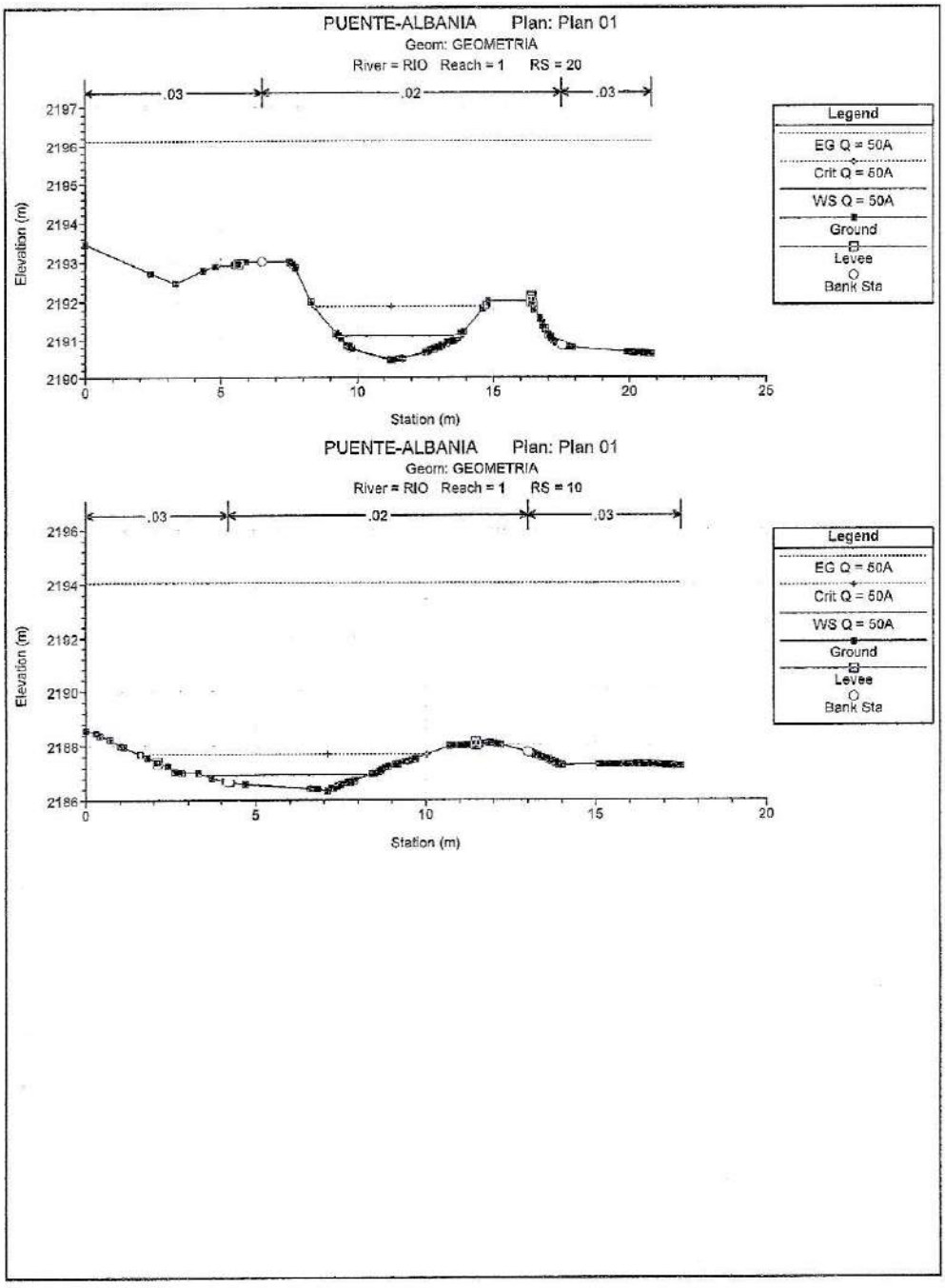

PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 20
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 20A
Crit Q = 20A
WS Q = 20A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 10
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 20A
Crit Q = 20A
WS Q = 20A
Ground
Levee
Bank Sta


PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 108
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 50A
Crit Q = 50A
WS Q = 50A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 100
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 50A
Crit Q = 50A
WS Q = 50A
Ground
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 90
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 50A
Crit Q = 50A
WS Q = 50A
Ground
Levee
Bank Sta

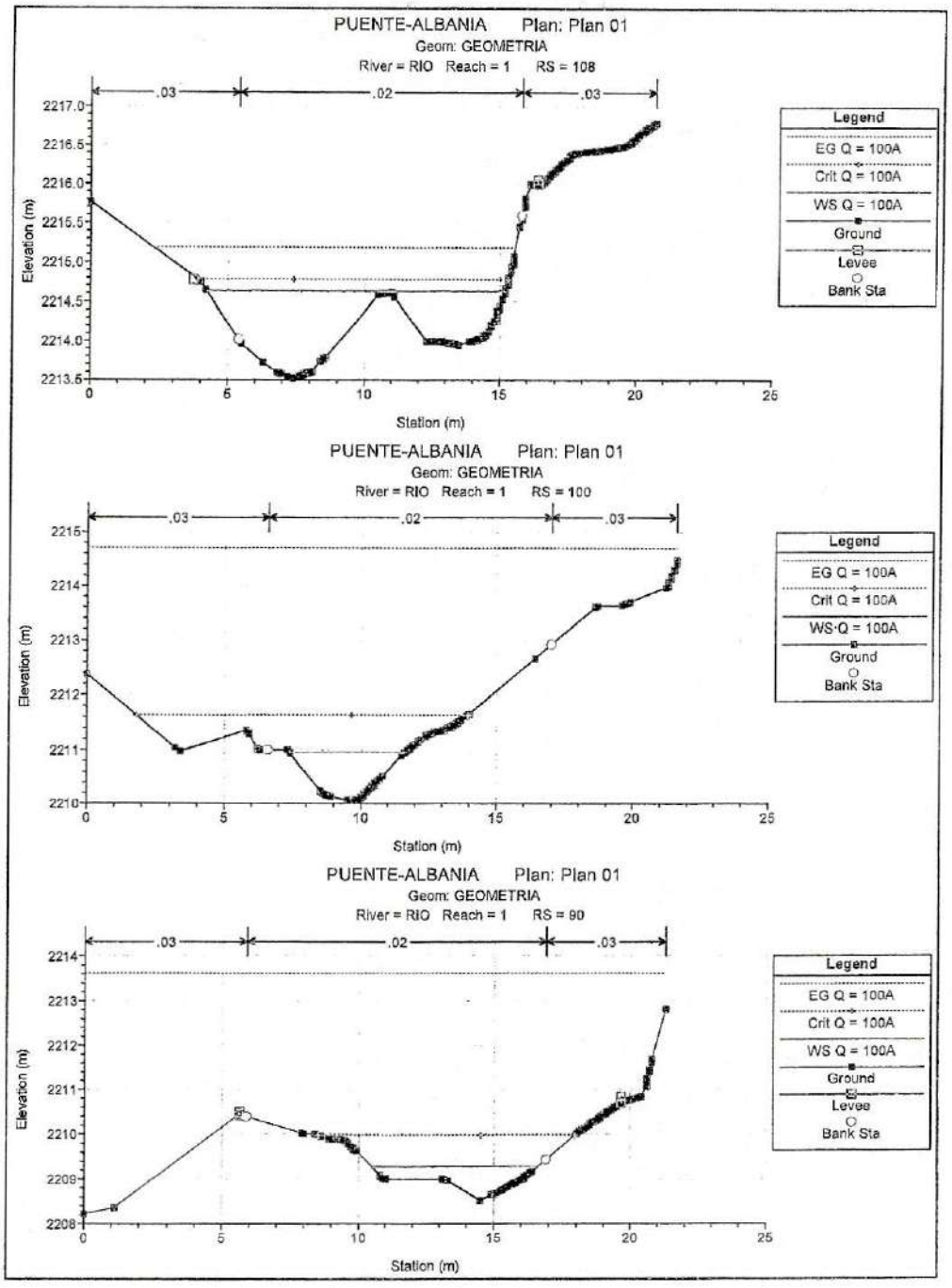
592


PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 80
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 50A
Crit Q = 50A
WS Q = 50A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 70
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 50A
Crit Q = 50A
WS Q = 50A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 59
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 50A
Crit Q = 50A
WS Q = 50A
Ground
Levee
Bank Sta

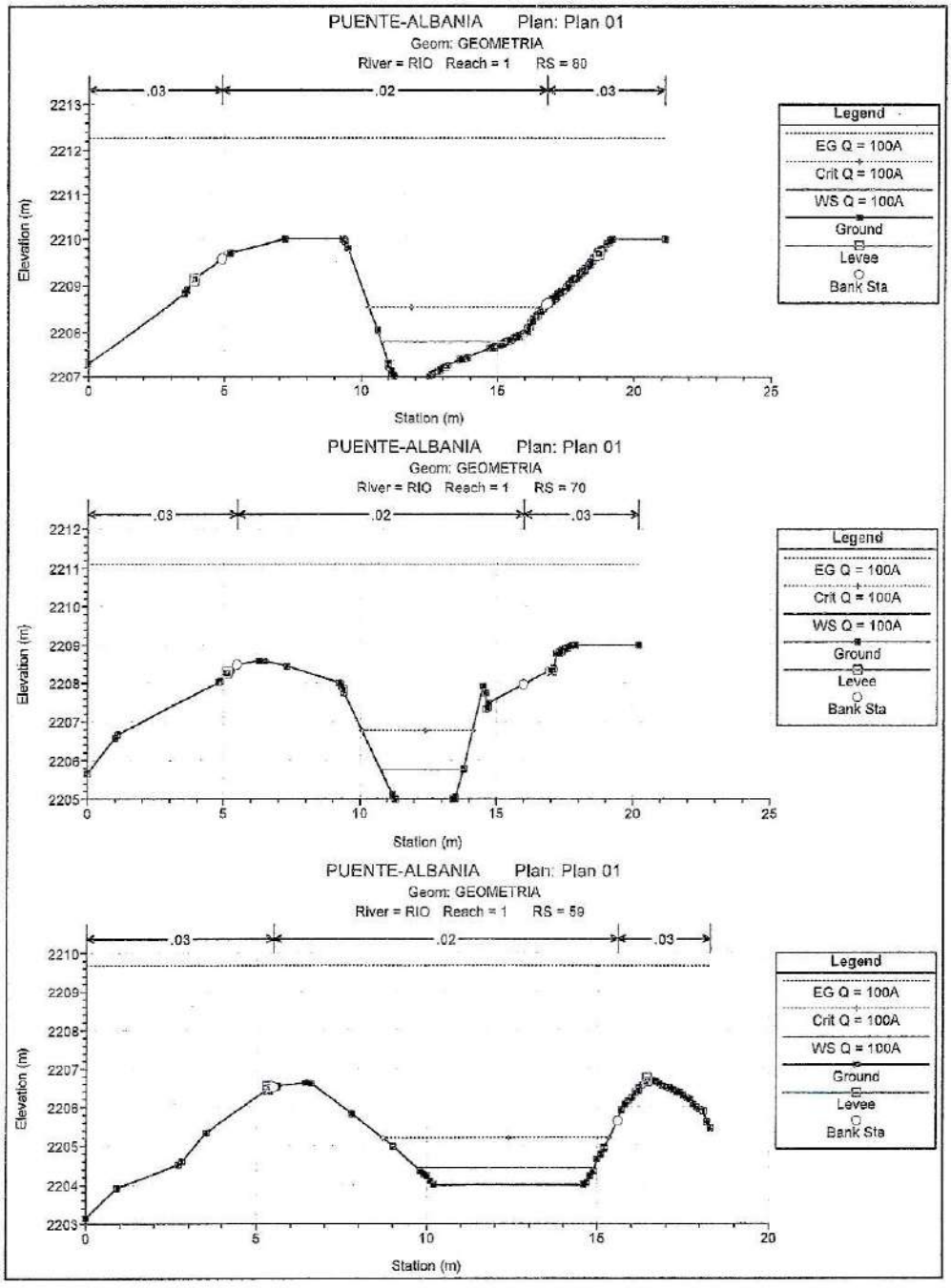

PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 50
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 50A
Crit Q = 50A
WS Q = 50A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 40
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 50A
Crit Q = 50A
WS Q = 50A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 30
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 50A
Crit Q = 50A
WS Q = 50A
Ground
Levee
Bank Sta

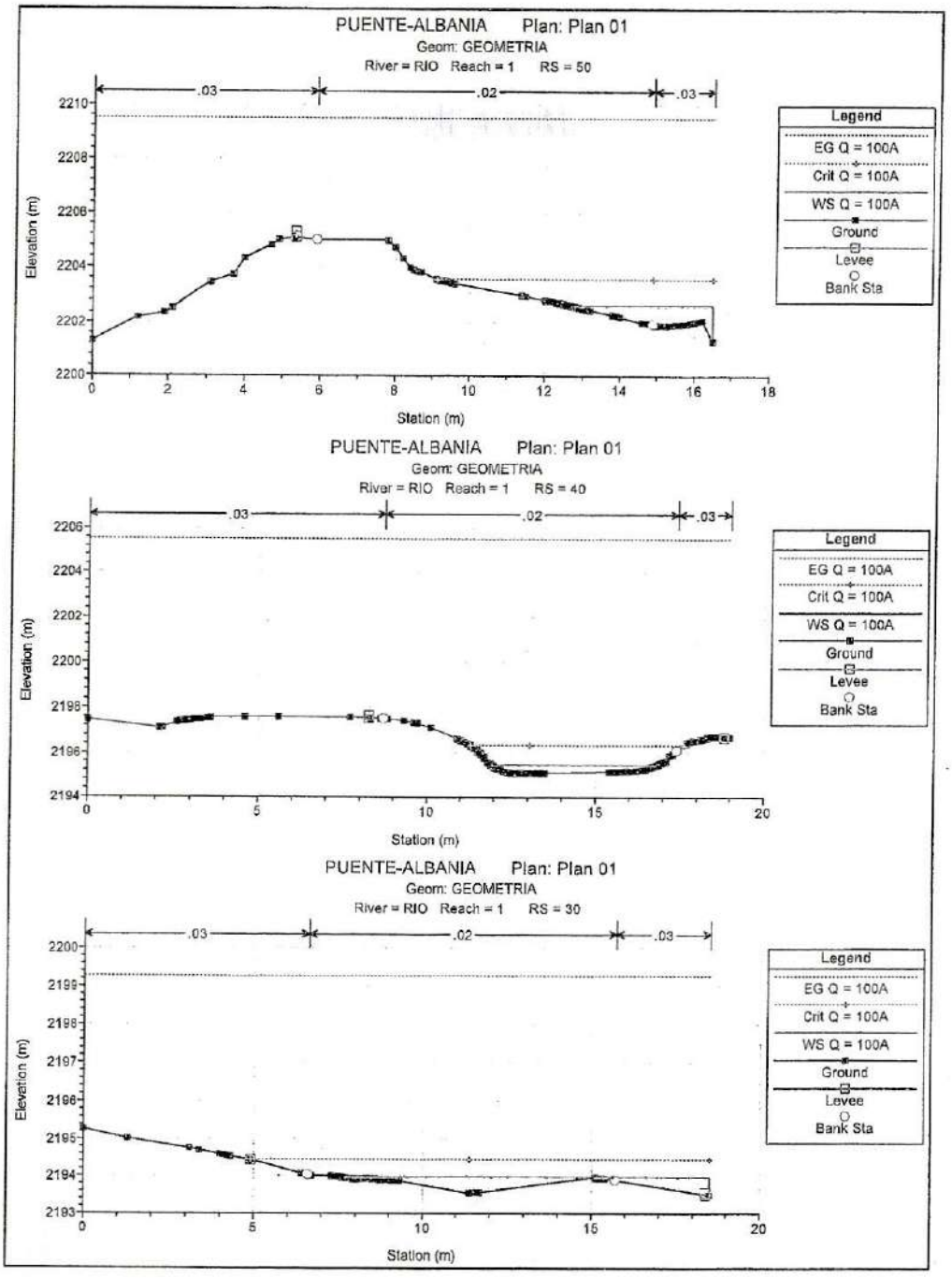

PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 20
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 50A
Crit Q = 50A
WS Q = 50A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 10
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 50A
Crit Q = 50A
WS Q = 50A
Ground
Levee
Bank Sta

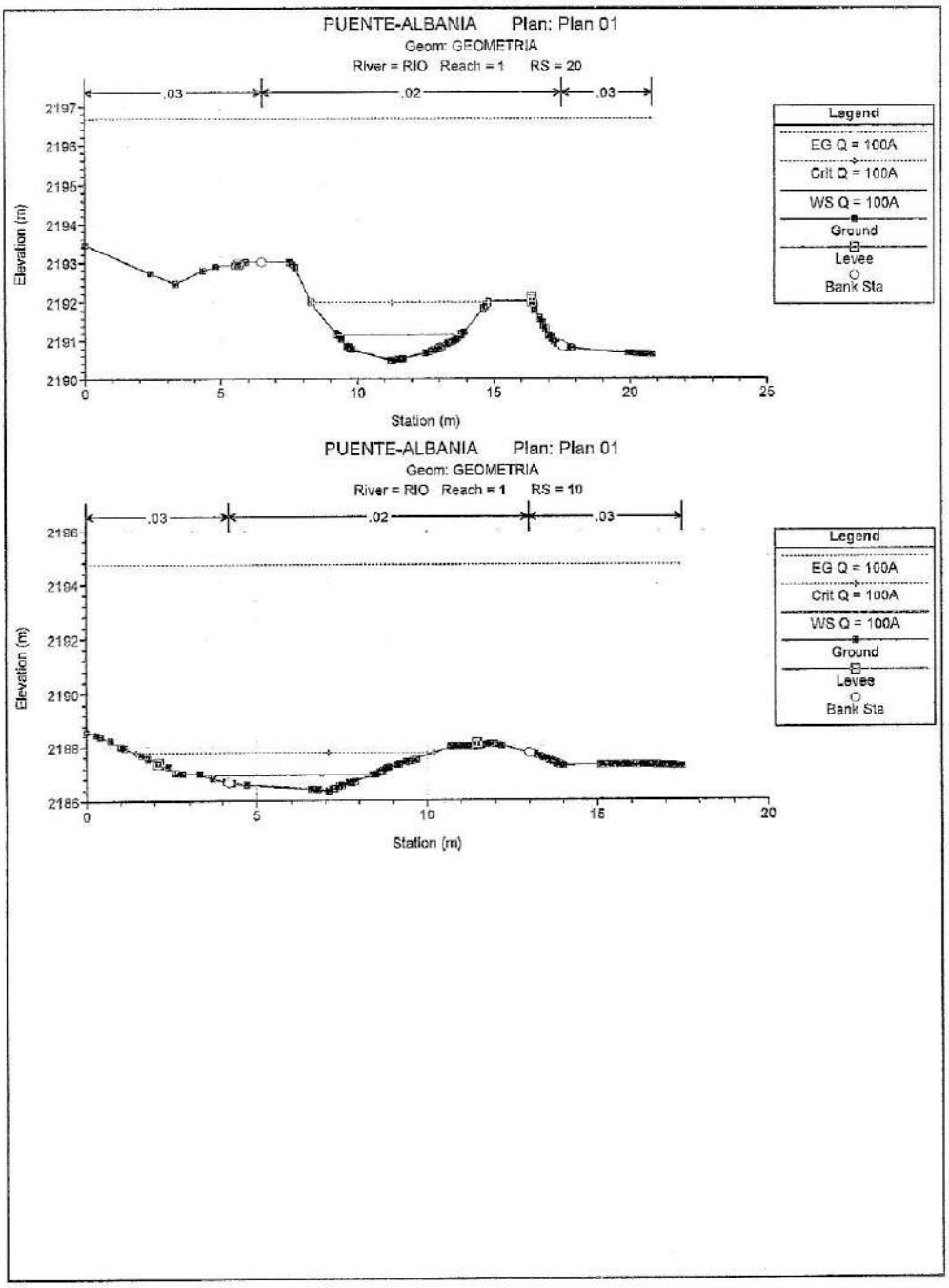
595


PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 108
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 100A
Crit Q = 100A
WS Q = 100A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 100
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 100A
Crit Q = 100A
WS Q = 100A
Ground
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 90
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 100A
Crit Q = 100A
WS Q = 100A
Ground
Levee
Bank Sta

S96


PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 80
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 100A
Crit Q = 100A
WS Q = 100A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 70
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 100A
Crit Q = 100A
WS Q = 100A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 59
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 100A
Crit Q = 100A
WS Q = 100A
Ground
Levee
Bank Sta


PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 50
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 100A
Crit Q = 100A
WS Q = 100A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 40
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 100A
Crit Q = 100A
WS Q = 100A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 30
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 100A
Crit Q = 100A
WS Q = 100A
Ground
Levee
Bank Sta


PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 20
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 100A
Crit Q = 100A
WS Q = 100A
Ground
Levee
Bank Sta
PUENTE-ALBANIA Plan: Plan 01
Geom: GEOMETRIA
River = RIO Reach = 1 RS = 10
.03
.02
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG Q = 100A
Crit Q = 100A
WS Q = 100A
Ground
Levee
Bank Sta