



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN EN EL PUENTE LIBERTAD MEDIANTE SIMULACIÓN HIDRÁULICA EN HEC RAS Y DATOS HIDROMÉTRICOS DE LOS AÑOS 1965 AL 2017, DISTRITO SAN JOSÉ, PROVINCIA DE PACASMAYO - 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Bach. Albert Heins Guillen Caballero

Bach. Chris Belu Galvez Alcalde

Asesor:

Mg. Ing. Juan Alejandro Agreda Barbaran

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

Por brindarme la oportunidad de cristalizar mis anhelos de superación, por enseñarme a luchar por mis sueños, por su gran esfuerzo y sacrificio, por hacer de mi lo que soy, esta tesis lo dedico a mis padres Libio y Beatriz, y a mis hermanos Janeth, Maritza, Richardson, Wilson y Julissa.

Albert Guillen Caballero.

Dedico esta tesis a mis padres Soledad y Virgilio, a mis compañeros de toda la vida, mis hermanos Nils, Rhayza y Loana, por haber estado a mi lado en todo momento y a todos los que me guiaron con sus consejos.

Chris Galvez Alcalde.

AGRADECIMIENTO

Nuestra más excelsa gratitud a quienes hicieron posible que esta tesis haya tenido una culminación exitosa:

A nuestro asesor Mg. Ing. Juan Alejandro Agreda Barbaran por orientarnos para el desarrollo del presente trabajo y poner a nuestra disposición la información necesaria.

A los jurados de esta tesis: Ing. Julio Félix Valeriano Murga, Mg. Ing. Gonzalo Hugo Diaz García y al Mg. Ing. Eduard José Rodríguez Beltrán, por sus observaciones y comentarios a esta tesis y por compartir sus valiosos conocimientos, experiencia y exigencia a lo largo de toda nuestra carrera profesional.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE ECUACIONES	12
ÍNDICE DE ANEXOS	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	16
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.3. OBJETIVOS.....	18
1.3.1. Objetivo general	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	18
1.4. HIPÓTESIS	19
1.4.1. Hipótesis general	19
1.4.2. Hipótesis específicas.....	19
1.5. ANTECEDENTES	20
1.5.1. Antecedentes en el Mundo.....	20
1.5.2. Trabajos de investigación en el Perú	20
1.6. JUSTIFICACIÓN.....	23
1.6.1. Justificación Técnica	23
1.6.2. Justificación Económica y Social	26
1.6.3. Justificación Ambiental	26
1.7. BASES TEÓRICAS	26
1.7.1. Aspectos generales	26
1.7.2. Consideraciones para el diseño.....	27
1.7.2.1. Estudio Topográfico	27
1.7.2.2. Estudio Geotécnico.....	28
1.7.2.3. Estudio Hidrológico	29
a. Cuenca Hidrográfica.....	29
b. Características físicas de las cuencas.	29
c. Parámetros geomorfológicos de la cuenca.	30
1.7.2.3.1. Avenida de Diseño o Caudal Máximo y Períodos de Retorno.	32
1.7.2.3.2. Métodos Estadísticos para determinar Caudales de Diseño	33
a. Distribución Normal.....	33
b. Distribución Log Pearson III.....	33
c. Distribución Gumbel.	34
1.7.2.3.3. Métodos Empíricos para determinar Caudales de Diseño.....	35
a. Método Racional.	35
b. Método Racional Modificado.	35
c. Método de Mac Math.	36
d. Método de Fuller.....	38
e. Método Regional de la Envolvente de Creager.	38
f. Método de Tucci	40
1.7.2.4. Coeficiente de Rugosidad de cauces naturales (n de Manning)	41
1.7.2.5. Selección del Periodo de Retorno	42
1.7.3. Parámetros hidráulicos para el diseño de puentes.....	43
1.7.3.1. Socavación	43
1.7.4. Cálculo hidráulico.....	43
1.7.4.1. Cálculo de niveles de agua.....	44
1.7.4.2. Cálculo de la Socavación	44

a.	<i>Factores que influyen en la socavación.</i>	44
b.	<i>Tipos de socavación y expresiones matemáticas.</i>	45
1.7.4.2.1.	<i>Socavación General.</i>	46
a.	<i>Método de Laursen (1995).</i>	46
b.	<i>Método de Lischtvan-Levediev.</i>	49
1.7.4.2.2.	<i>Socavación Local.</i>	54
a.	<i>Socavación local en estribos.</i>	54
a.1.	<i>Método de K. F. Artamonov.</i>	56
a.2.	<i>Método de Hire (1993).</i>	58
b.	<i>Socavación local en pilares.</i>	58
b.1.	<i>Método de Colorado State University (CSU).</i>	59
b.2.	<i>Método de Neill (1964).</i>	64
b.3.	<i>Método de Froehlich (1991).</i>	64
1.7.5.	<i>Obras de protección de ríos y puentes</i>	65
1.7.5.1.	<i>Diseño del enrocado.</i>	66
a.	<i>Método de Maynord.</i>	68
b.	<i>Método de Isbahs.</i>	68
1.7.5.2.	<i>Gaviones.</i>	68
a.	<i>Protección de pilares y estribos.</i>	69
a.1.	<i>Método de Maza Álvarez (1989).</i>	71
a.2.	<i>Método propuesto en HEC-18 (1993).</i>	71
1.7.6.	<i>Modelamiento hidráulico.</i>	72
1.7.6.1.	<i>Hidráulica Básica del flujo</i>	72
1.7.6.1.1.	<i>Tipo de flujo.</i>	72
1.7.6.1.2.	<i>Clasificación dimensional del flujo.</i>	73
1.7.6.1.3.	<i>Ecuaciones fundamentales en flujo no permanente.</i>	74
1.7.6.2.	<i>Modelación de inundaciones</i>	77
1.7.6.3.	<i>Modelación hidráulica con HEC RAS.</i>	78
1.7.7.	<i>Programas informáticos</i>	79
1.7.7.1.	<i>HEC RAS</i>	79
1.7.7.2.	<i>ARCGIS</i>	80
1.7.7.3.	<i>AUTOCAD CIVIL 3D</i>	80
1.7.7.4.	<i>RIVER</i>	81
1.7.7.5.	<i>HIDROESTA 2</i>	81
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA		83
2.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	83
2.1.1.	Variables	83
2.1.1.1.	<i>Operacionalización de variables.</i>	83
2.1.1.2.	<i>Población y muestra.</i>	84
2.1.1.3.	<i>Zona de Estudio.</i>	84
2.1.1.3.1.	<i>Ubicación de la cuenca Jequetepeque.</i>	85
2.1.1.4.	<i>Estructuras existentes.</i>	87
2.1.1.4.1.	<i>Puente Libertad.</i>	87
2.1.1.4.2.	<i>Represa Gallito Ciego.</i>	88
2.2.	MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS	90
2.2.1.	Materiales	90
2.2.1.1.	<i>Información pluviométrica e hidrométrica.</i>	90
2.2.1.2.	<i>Información Topográfica.</i>	94
2.2.1.3.	<i>Materiales para recolección y procesamiento de datos</i>	95
2.2.2.	Instrumentos de recolección y análisis de datos	95
2.2.3.	Métodos	97
2.2.3.1.	<i>Resumen de metodologías para el cálculo de la socavación</i>	99
2.3.	PROCEDIMIENTO	101
2.3.1.	Estudio Topográfico	101
2.3.2.	Estudio Geotécnico.	101
2.3.3.	Estudio Hidrológico.	102
2.3.4.	Modelamiento Hidráulico.	103
2.3.4.1.	<i>Simulación hidráulica mediante HEC RAS v5.0.6.</i>	103
2.3.5.	Análisis de la socavación.	104

2.3.6.	Propuesta de Obras de Protección	104
2.3.7.	Esquema de la investigación.....	105
2.3.8.	Procedimiento técnico ilustrativo	106
2.3.8.1.	<i>Análisis de topografía con CIVIL 3D</i>	106
2.3.8.2.	<i>Obtención de parámetros geomorfológicos con el programa ARCGIS.....</i>	106
2.3.8.3.	<i>Determinación de caudal de diseño con RIVER e HIDROESTA.....</i>	107
2.3.8.4.	<i>Determinación de la constitución del lecho del río Jequetepeque.....</i>	108
2.3.8.5.	<i>Simulación Hidráulica con HEC RAS</i>	108
2.3.8.6.	<i>Cálculo de socavación con HEC RAS</i>	109
2.3.8.7.	<i>Diseño de obras de protección en RIVER</i>	119
CAPÍTULO III. RESULTADOS		120
3.1.	DEL PROCESAMIENTO DE DATOS	120
3.1.1.	Estudio Topográfico	120
3.1.2.	Estudio Geotécnico.....	123
3.1.2.1.	<i>Granulometría.....</i>	123
3.1.3.	Estudio Hidrológico.....	125
3.1.3.1.	<i>Parámetros geomorfológicos de la cuenca Jequetepeque</i>	125
3.1.3.2.	<i>Caudal de diseño</i>	126
c.	Resumen del cálculo de caudal de diseño.....	130
d.	Caudal de Diseño	131
3.1.4.	Simulación Hidráulica con HEC RAS.....	132
3.1.4.1.	Sección geométrica de emplazamiento del puente Libertad, 13+410.....	132
3.1.4.2.	<i>Parámetros hidráulicos del tramo 13+000 al 14+000.....</i>	134
3.1.5.	Resultados del cálculo de socavación con HEC RAS.....	157
3.1.5.1.	<i>Métodos de Laursen – CSU - Hire</i>	157
3.1.5.3.	<i>Socavación total</i>	178
3.1.5.3.1.	<i>Resumen de los métodos Laursen – CSU - Hire.....</i>	178
3.1.6.	Resultados del cálculo de socavación en Excel	186
3.1.6.1.	<i>Cálculo de socavación General por el método de Lishtvan Levediev</i>	186
3.1.6.2.	<i>Cálculo de socavación en pilares por el método de Neill.....</i>	187
3.1.6.3.	<i>Cálculo de socavación en pilares por el método de K. F. Artamonov.....</i>	190
3.1.7.	Resumen de la socavación total	191
3.1.8.	Diseño de Obras de Protección.....	192
3.1.8.1.	<i>Enrocados tipo Diques Laterales</i>	192
3.1.8.2.	<i>Protección de pilares y estribos</i>	196
CAPÍTULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES		204
4.1.	DISCUSIONES	204
4.1.1.	Del Estudio Topográfico	204
4.1.2.	Del Estudio Geotécnico	206
4.1.3.	Del Estudio Hidrológico.....	206
4.1.4.	De las expresiones matemáticas	209
4.1.5.	De la Simulación Hidráulica.....	210
4.1.6.	De la Socavación	213
a.	<i>Socavación mediante HEC RAS</i>	213
b.	<i>Socavación mediante Excel.</i>	213
4.1.7.	De las Estructuras de Protección	214
4.1.8.	Limitaciones de la investigación.....	215
4.1.9.	Comparación de los resultados	216
4.1.9.1.	<i>Comparación de resultados obtenidos.....</i>	216
4.1.9.2.	<i>Comparación de resultados con los Antecedentes.....</i>	219
4.2.	CONCLUSIONES.....	222
4.2.1.	Recomendaciones	226
REFERENCIAS		233
GLOSARIO		238
ANEXOS		246

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.1	<i>Coefficientes de escorrentía método Mac Math</i>	37
Tabla I.2	<i>Constantes del método de la envolvente regional de Creager</i>	39
Tabla I.3	<i>Tabla de Cowan para determinar coeficiente n</i>	41
Tabla I.4	<i>Valores del Tiempo de Retorno para proyectos de obras</i>	43
Tabla I.5	<i>Expresiones matemáticas para el cálculo de socavación General y Local</i>	45
Tabla I.6	<i>Valores del coeficiente k_1 – Método de Laursen</i>	47
Tabla I.7	<i>Factor de corrección por contracción del cauce μ</i>	51
Tabla I.8	<i>Valores de z para suelos cohesivos y no cohesivos</i>	53
Tabla I.9	<i>Valores del coeficiente b</i>	53
Tabla I.10	<i>Valores del coeficiente correctivo k_θ</i>	57
Tabla I.11	<i>Valores del coeficiente correctivo K_Q</i>	57
Tabla I.12	<i>Valores del coeficiente correctivo K_m</i>	57
Tabla I.13	<i>Factor de corrección K_f por la forma de la nariz del pilar</i>	61
Tabla I.14	<i>Factor de corrección K_Φ ángulo de ataque de la corriente</i>	62
Tabla I.15	<i>Factor de corrección K_c por condiciones del lecho</i>	62
Tabla I.16	<i>Criterios para adoptar K_a</i>	62
Tabla I.17	<i>Factor de corrección K_f</i>	65
Tabla I.18	<i>Programas para Modelamiento Hidráulico</i>	78
Tabla I.19	<i>Evolución del tipo de modelización y herramientas de HEC-RAS</i>	78
Tabla II.1	<i>Operacionalización de variables</i>	83
Tabla II.2	<i>Provincias y distritos que comprende la cuenca Jequetepeque</i>	85
Tabla II.3	<i>Características principales represa Gallito Ciego</i>	89
Tabla II.4	<i>Ubicación de estaciones meteorológicas de la cuenca Jequetepeque</i>	90
Tabla II.5	<i>Estaciones Hidrométricas de la cuenca Jequetepeque</i>	92
Tabla II.6	<i>Ubicación de la estación Hidrométrica Yonán</i>	92
Tabla II.7	<i>Estación Hidrométrica Yonán (Caudales Máximos Diario)</i>	93
Tabla II.8	<i>Coordenadas del levantamiento topográfico</i>	94
Tabla II.9	<i>Resumen de las expresiones matemáticas empleadas para el cálculo de la socavación</i>	99
Tabla III.1	<i>Análisis granulométrico del material del río Jequetepeque</i>	123
Tabla III.2	<i>Diámetros representativos del material del río</i>	124
Tabla III.3	<i>Parámetros geomorfológicos de la cuenca Jequetepeque</i>	126
Tabla III.4	<i>Información Hidrométrica Estación Yonán</i>	126
Tabla III.5	<i>Caudal de Diseño según métodos estadístico con RIVER</i>	127
Tabla III.6	<i>Caudal de diseño según métodos estadísticos con HIDROESTA</i>	127
Tabla III.7	<i>Caudal de diseño por métodos Empíricos con River</i>	128
Tabla III.8	<i>Caudal de diseño por el método de Fuller</i>	128
Tabla III.9	<i>Caudal de diseño por el método Regional de Envolvente de Creager</i>	129
Tabla III.10	<i>Resumen del cálculo de caudal de diseño</i>	130
Tabla III.11	<i>Elección del Caudal de Diseño</i>	131
Tabla III.12	<i>Geometría del lecho del río, progresiva 13+410 aguas arriba del puente</i>	132
Tabla III.13	<i>Geometría del lecho del río, progresiva 13+410 aguas abajo del puente</i>	132
Tabla III.14	<i>Geometría del tablero</i>	133
Tabla III.15	<i>Geometría de los estribos</i>	133
Tabla III.16	<i>Geometría de los pilares</i>	133
Tabla III.17	<i>Parámetros hidráulicos, tramo 13+000 al 14+000, T=10 años</i>	134
Tabla III.18	<i>Parámetros hidráulicos, tramo 13+000 al 14+000, T=50 años</i>	136
Tabla III.19	<i>Parámetros hidráulicos, tramo 13+000 al 14+000, T=100 años</i>	138
Tabla III.20	<i>Parámetros hidráulicos, tramo 13+000 al 14+000, T=300 años</i>	140
Tabla III.21	<i>Parámetros hidráulicos, tramo 13+000 al 14+000, T=500 años</i>	142
Tabla III.22	<i>Resultados de Altura libre</i>	146
Tabla III.23	<i>Resultados para la sección 13+410, periodo de retorno T=10 años</i>	147
Tabla III.24	<i>Resultados para la sección 13+410, periodo de retorno T=50 años</i>	149
Tabla III.25	<i>Resultados para la sección 13+410, periodo de retorno T=100 años</i>	151
Tabla III.26	<i>Resultados para la sección 13+410, periodo de retorno T=300 años</i>	153
Tabla III.27	<i>Resultados para la sección 13+410, periodo de retorno T=500 años</i>	155
Tabla III.28	<i>Resultados de socavación general por contracción del cauce, T 10 años, por Laursen</i>	157
Tabla III.29	<i>Resultados de socavación Local en pilares 1,2 y 3, T 10 años, por CSU</i>	157
Tabla III.30	<i>Resultados de socavación Local en pilares 4,5 y 6, T 10 años, por CSU</i>	158
Tabla III.31	<i>Resultados de socavación Local en pilares 7,8 y 9, T 10 años, por CSU</i>	158
Tabla III.32	<i>Combinación de socavación local en pilares + socavación general, T 10 años (Laursen+ CSU)</i>	159

Tabla III.33	Resultados de socavación general por contracción del cauce, T 50 años, por Laursen	159
Tabla III.34	Resultados de socavación Local en pilares 1,2 y 3, T 50 años, por CSU	160
Tabla III.35	Resultados de socavación Local en pilares 4,5 y 6, T 50 años, por CSU	160
Tabla III.36	Resultados de socavación Local en pilares 7,8 y 9, T 50 años, por CSU	161
Tabla III.37	Combinación de socavación local en pilares + socavación general, T 50 años (Laursen + CSU)	161
Tabla III.38	Resultados de socavación general por contracción del cauce, T 100 años, por Laursen	162
Tabla III.39	Resultados de socavación Local en pilares, 1,2 y 3, T 100 años, por CSU	162
Tabla III.40	Resultados de socavación Local en pilares 4,5 y 6, T 100 años, por CSU	163
Tabla III.41	Resultados de socavación Local en pilares 7,8 y 9, T 100 años, por CSU	163
Tabla III.42	Resultados de socavación Local en estribos, T 100 años, por Hire	164
Tabla III.43	Combinación de socavación local en pilares + socavación general, T 100 años (Laursen+CSU)	164
Tabla III.44	Combinación de socavación local en estribos + socavación general, T 100 años (Laursen+Hire)	164
Tabla III.45	Resultados de socavación general por contracción del cauce, T 300 años, Por Laursen	165
Tabla III.46	Resultados de socavación Local en pilares 1,2 y 3, T 300 años, por CSU	165
Tabla III.47	Resultados de socavación Local en pilares 4,5 y 6, T 300 años, por CSU	166
Tabla III.48	Resultados de socavación Local en pilares 7,8 y 9, T 300 años, por CSU	166
Tabla III.49	Resultados de socavación Local en estribos, T 300 años, por Hire	167
Tabla III.50	Combinación de socavación local en pilares + socavación general, T 300 años (Laursen+CSU)	167
Tabla III.51	Combinación de socavación local en estribos + socavación general, T 300 años (Laursen+Hire)	167
Tabla III.52	Resultados de socavación general por contracción del cauce, T 500 años, por Laursen	168
Tabla III.53	Resultados de socavación Local en pilares 1,2 y 3, T 500 años, por CSU	168
Tabla III.54	Resultados de socavación Local en pilares 4, 5 y 6 T 500 años, por CSU	169
Tabla III.55	Resultados de socavación Local en pilares 7, 8 y 9, T 500 años, por CSU	169
Tabla III.56	Resultados de socavación Local en estribos, T 500 años, por Hire	170
Tabla III.57	Combinación de socavación local en pilares + socavación general, T 300 años (Laursen+CSU)	170
Tabla III.58	Combinación de socavación local en estribos + socavación general, T 300 años (Laursen+Hire)	170
Tabla III.59	Resultados de socavación Local en pilares 1, 2 y 3, T 10 años, por Froehlich	171
Tabla III.60	Resultados de socavación Local en pilares 4, 5 y 6, T 10 años, por Froehlich	171
Tabla III.61	Resultados de socavación Local en pilares 7, 8 y 9, T 10 años, por Froehlich	172
Tabla III.62	Resultados de socavación Local en pilares 1, 2 y 3, T 50 años, por Froehlich	172
Tabla III.63	Resultados de socavación Local en pilares 4, 5 y 6, T 50 años, por Froehlich	172
Tabla III.64	Resultados de socavación Local en pilares 7, 8 y 9, T 50 años, por Froehlich	173
Tabla III.65	Resultados de socavación Local en pilares 1, 2 y 3, T 100 años, por Froehlich	173
Tabla III.66	Resultados de socavación Local en pilares 4, 5 y 6, T 100 años, por Froehlich	173
Tabla III.67	Resultados de socavación Local en pilares 7, 8 y 9, T 100 años, por Froehlich	174
Tabla III.68	Resultados de socavación Local en pilares 1, 2 y 3, T 300 años, por Froehlich	174
Tabla III.69	Resultados de socavación Local en pilares 4, 5 y 6, T 300 años, por Froehlich	174
Tabla III.70	Resultados de socavación Local en pilares 7, 8 y 9, T 300 años, por Froehlich	175
Tabla III.71	Resultados de socavación Local en pilares 1, 2 y 3, T 500 años, por Froehlich	175
Tabla III.72	Resultados de socavación Local en pilares 4, 5 y 6, T 500 años, por Froehlich	175
Tabla III.73	Resultados de socavación Local en pilares 7, 8 y 9, T 500 años, por Froehlich	176
Tabla III.74	Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 10 años, por Froehlich	176
Tabla III.75	Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 50 años, por Froehlich	176
Tabla III.76	Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 100 años, por Froehlich	177
Tabla III.77	Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 300 años, por Froehlich	177
Tabla III.78	Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 500 años, por Froehlich	177
Tabla III.79	Resumen de resultados de socavación general, todos los periodos de retorno, por Laursen	178
Tabla III.80	Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 10 años, por CSU	178
Tabla III.81	Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 50 años, por CSU	179
Tabla III.82	Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 100 años, por CSU	179
Tabla III.83	Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 300 años, por CSU	179
Tabla III.84	Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 500 años, por CSU	180
Tabla III.85	Resumen de resultados de socavación Local en estribos, todos los periodos, por Hire	180
Tabla III.86	Resumen de resultados de socavación total en pilares, T 10 años, (Laursen + CSU)	180
Tabla III.87	Resumen de resultados de socavación total en pilares, T 50 años, (Laursen + CSU)	181
Tabla III.88	Resumen de resultados de socavación total en pilares l, T 100 años, (Laursen + CSU)	181
Tabla III.89	Resumen de resultados de socavación total en pilares, T 300 años, (Laursen + CSU)	181
Tabla III.90	Resumen de resultados de socavación total en pilares, T 500 años, (Laursen + CSU)	182
Tabla III.91	Resumen de resultados de socavación total en estribos, todos los periodos, (Laursen + Hire)	182
Tabla III.92	Parámetros hidráulicos para cálculo de soc. general, Lishtvan Levediev	186
Tabla III.93	Resultados de socavación general, todos los periodos, Lishtvan Levediev	186
Tabla III.94	Resultados de socavación local en pilares, T 10 años, por Neill	187

Tabla III.95	<i>Resultados de socavación local en pilares, T 50 años, por Neill</i>	187
Tabla III.96	<i>Resultados de socavación local en pilares, T 100 años, por Neill</i>	188
Tabla III.97	<i>Resultados de socavación local en pilares, T 300 años, por Neill</i>	188
Tabla III.98	<i>Resultados de socavación local en pilares, T 500 años, por Neill</i>	189
Tabla III.99	<i>parámetros hidráulicos para cálculo de soc. Local en estribos, K. F. Artamonov</i>	190
Tabla III.100	<i>Resultados de socavación local en estribos, todos los periodos, por K. F. Artamonov</i>	190
Tabla III.101	<i>Resultados finales de la socavación total (Laursen + CSU + Hire)</i>	191
Tabla III.102	<i>Diseño de mantos de escollera para Protección de Pilares por HEC 18 (1993)</i>	201
Tabla IV.1	<i>Comparación de resultados socavación General Lischtvan Levediev-Laursen</i>	216
Tabla IV.2	<i>Comparación de resultados socavación local en pilares CSU- Froehlich – Neill, T 10 años</i>	216
Tabla IV.3	<i>Comparación de resultados socavación local en pilares CSU- Froehlich – Neill, T 50 años</i>	217
Tabla IV.4	<i>Comparación de resultados socavación local en pilares CSU- Froehlich – Neill, T 100 años</i>	217
Tabla IV.5	<i>Comparación de resultados socavación local en pilares CSU- Froehlich – Neill, T 300 años</i>	217
Tabla IV.6	<i>Comparación de resultados socavación local en pilares CSU- Froehlich – Neill, T 500 años</i>	217
Tabla IV.7	<i>Comparación de resultados promediados con los antecedentes</i>	219
Tabla IV.8	<i>Comparación diámetro medio - socavación general-caudal</i>	219
Tabla IV.9	<i>Comparación diámetro medio - socavación en estribos-caudal</i>	220
Tabla IV.10	<i>Comparación diámetro medio - socavación en pilares-caudal</i>	220

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura I.1.</i> Hidrograma de caudales del río Jequetepeque _estación Yonán	25
<i>Figura I.2.</i> Mapa de la Regionalización de las avenidas del Perú	39
<i>Figura I.3.</i> Velocidad de caída (w) para partículas de arena	48
<i>Figura I.4.</i> Sección transversal del cauce.....	50
<i>Figura I.5.</i> Algunos casos de obstrucción de estribos	55
<i>Figura I.6.</i> Intersección del flujo por los estribos. Método de ARTAMONOV	56
<i>Figura I.7.</i> Comparación de ecuaciones para el cálculo de la socavación local	59
<i>Figura I.8.</i> Formas típicas de pilares de puentes.....	61
<i>Figura I.9.</i> Protección con enrocados	66
<i>Figura I.10.</i> Sección típica de enrocado de protección y/o encauzamiento.....	67
<i>Figura I.11.</i> Posición correcta e incorrecta de un manto de escollera.	70
<i>Figura I.12.</i> Posición y dimensiones de un manto de escollera alrededor de un pilar.....	70
<i>Figura I.13.</i> modelos hidráulicos 1D, 2D y 3D.....	74
<i>Figura I.14.</i> Simplificaciones de las ecuaciones básicas del flujo.	75
<i>Figura I.15.</i> Modelos hidráulicos 1D, 2D y 3D.	77
<i>Figura I.16.</i> Ventana principal de HEC RAS.....	79
<i>Figura I.17.</i> Ventana principal HEC RAS 5.0.6	79
<i>Figura I.18.</i> Pantalla de Inicio del ARCGIS	80
<i>Figura I.19.</i> Pantalla de Inicio del CIVIL 3D 2021	80
<i>Figura I.20.</i> Pantalla de Inicio del RIVER.....	81
<i>Figura I.21.</i> Pantalla de Inicio de HIDROESTA	82
<i>Figura II.1.</i> Ubicación de la cuenca Jequetepeque, río Jequetepeque y puente Libertad.	86
<i>Figura II.2.</i> Esquema del embalse Gallito Ciego.	89
<i>Figura II.3</i> Mapa de Ubicación de estaciones meteorológicas.....	91
<i>Figura II.4.</i> Estudios necesarios para el cálculo de socavación	97
<i>Figura II.5.</i> Programas informáticos.	97
<i>Figura II.6.</i> Métodos para el cálculo del caudal de diseño.....	98
<i>Figura II.7.</i> Metodologías empleadas para calcular la socavación.....	98
<i>Figura II.8.</i> Métodos para diseñar obras de protección.....	99
<i>Figura II.9.</i> Esquema de la Investigación	105
<i>Figura II.10.</i> Gestión de datos topográficos en Civil 3D	106
<i>Figura II.11.</i> Gestión de datos vectoriales en ARCGIS	106
<i>Figura II.12.</i> Cálculo del Caudal de Diseño con el programa River	107
<i>Figura II.13.</i> Cálculo del Caudal de Diseño con el programa Hidroesta.....	107
<i>Figura II.14.</i> Análisis granulométrico.....	108
<i>Figura II.15.</i> Simulación Hidráulica con HEC RAS.....	108
<i>Figura II.16.</i> Cálculo de la profundidad de Socavación Total en HEC RAS	118
<i>Figura II.17.</i> Diseño de Enrocados con RIVER.....	119
<i>Figura III.1.</i> Tramo del levantamiento topográfico	120
<i>Figura III.2.</i> Plano del levantamiento topográfico.....	121
<i>Figura III.3.</i> Sección transversal del puente Libertad	122
<i>Figura III.4.</i> Curva Granulométrica	124
<i>Figura III.5.</i> Diámetros representativos del material del suelo	124
<i>Figura III.6.</i> Delimitación y obtención de parámetros geomorfológicos con ARCGIS	125
<i>Figura III.7.</i> Perfil de flujo, progresiva 12+500-14+500, T 10 años.....	135
<i>Figura III.8.</i> Perfil de flujo, progresiva 12+500-14+500, T 50 años.....	137
<i>Figura III.9.</i> Perfil de flujo, progresiva 12+500-14+500, T 100 años.....	139
<i>Figura III.10.</i> Perfil de flujo, progresiva 12+500-14+500, T 300 años.....	141
<i>Figura III.11.</i> Perfil de flujo, progresiva 12+500-14+500, T 500 años.....	143
<i>Figura III.12.</i> Gráfico pseudo X-Y-Z para T=10 Años.....	144
<i>Figura III.13.</i> Gráfico pseudo X-Y-Z para T=50 Años.....	144
<i>Figura III.14.</i> Gráfico pseudo X-Y-Z para T=100 Años.....	145
<i>Figura III.15.</i> Gráfico pseudo X-Y-Z para T=300 Años.....	145
<i>Figura III.16.</i> Gráfico pseudo X-Y-Z para T=500 Años.....	146
<i>Figura III.17.</i> Perfil de flujo en la sección 13+410 con puente Libertad, T = 10 años.....	148
<i>Figura III.18.</i> Perfil de flujo en la sección 13+410 con puente Libertad, T = 50 años.....	150
<i>Figura III.19.</i> Perfil de flujo en la sección 13+410 con puente Libertad, T = 100 años.....	152
<i>Figura III.20.</i> Perfil de flujo en la sección 13+410 con puente Libertad, T = 300 años.....	154
<i>Figura III.21.</i> Perfil de flujo en la sección 13+410 con puente Libertad, T = 500 años.....	156
<i>Figura III.22</i> Profundidad de socavación Total, T = 10 años.....	183

<i>Figura III.23</i> Profundidad de socavación Total, T = 50 años.....	183
<i>Figura III.24</i> Profundidad de socavación Total, T = 100 años.....	184
<i>Figura III.25</i> Profundidad de socavación Total, T = 300 años.....	184
<i>Figura III.26</i> Profundidad de socavación Total, T = 500 años.....	185
<i>Figura III.27</i> Diseño de Diques Laterales en River	192
<i>Figura III.28</i> Diseño preliminar de Dique Lateral en Recta.....	193
<i>Figura III.29</i> Diseño preliminar de Dique Lateral en Curva.....	193
<i>Figura III.30</i> Sección típica de diques laterales con el programa RIVER en recta.....	194
<i>Figura III.31</i> Sección típica de diques laterales con el programa RIVER en curva.....	195
<i>Figura III.32.</i> Deterioro de manto de escollera	196
<i>Figura III.33.</i> Deterioro del manto de escollera.....	197
<i>Figura III.34.</i> Erosión del cauce	197
<i>Figura III.35.</i> Verificación de la no existencia de manto de escollera superficial.....	198
<i>Figura III.36.</i> Dimensiones de manto de escollera existente en pilares 1, 2, 8 y 9	199
<i>Figura III.37.</i> Dimensiones de manto de escollera en pilares 1, 2, 8 y 9, vista en planta.....	200
<i>Figura III.38</i> Vista en planta de un manto de escollera	202
<i>Figura III.39</i> Sección típica de manto de escollera diámetro de roca de 0.80m.....	203
<i>Figura IV.1.</i> Vista de la altura de los pilares.....	212
<i>Figura IV.2.</i> Comparación diámetro medio - socavación general – caudal – gráfico de curvas.....	219
<i>Figura IV.3.</i> Comparación diámetro medio - socavación en estribos – gráfico de curvas.....	220
<i>Figura IV.4.</i> Comparación diámetro medio - socavación en pilares – gráfico de curvas.	221
<i>Figura IV.5</i> Diseño final de diques laterales con el programa RIVER en recta	227
<i>Figura IV.6</i> Diseño final de diques laterales con el programa RIVER en curva	228
<i>Figura IV.7.</i> Dimensiones de manto de escollera en pilares 1, 2, 8 y 9.....	229
<i>Figura IV.8.</i> Dimensiones de manto de escollera en pilares 1, 2, 8 y 9, vista en planta.....	230
<i>Figura IV.9</i> Diseño propio de manto de escollera para pilares 3, 4, 5, 6 y 7, vista en planta	231
<i>Figura IV.10</i> Diseño propio de manto de escollera para pilares 3, 4, 5, 6 y 7.....	232

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación I.1.</i> Diámetro Medio de las partículas del suelo	28
<i>Ecuación I.2.</i> Índice de compacidad de cuenca.....	30
<i>Ecuación I.3.</i> Factor de forma de cuenca	31
<i>Ecuación I.4.</i> Distribución Normal	33
<i>Ecuación I.5.</i> Distribución Log Pearson III.....	33
<i>Ecuación I.6.</i> Distribución Gumbel.....	34
<i>Ecuación I.7.</i> Método Racional.....	35
<i>Ecuación I.8.</i> Método Racional Modificado	35
<i>Ecuación I.9.</i> Método Mac Math	36
<i>Ecuación I.10.</i> Método de Fuller.....	38
<i>Ecuación I.11.</i> Método Regional de Envolvente de Creager.....	38
<i>Ecuación I.12.</i> Método de Tucci para cuencas, $A < 3500 \text{ km}^2$	40
<i>Ecuación I.13.</i> Método de Tucci para cuencas, $A > 3500 \text{ km}^2$	40
<i>Ecuación I.14.</i> Método de Cowan para Rugosidad de cauces	41
<i>Ecuación I.15.</i> Método de Laursen para socavación por contracción en lecho móvil.....	46
<i>Ecuación I.16.</i> Método de Laursen para socavación por contracción en agua clara.....	48
<i>Ecuación I.17.</i> Método de Lischtvan Levediev para Profundidad de socavación en suelos granulares	52
<i>Ecuación I.18.</i> Método de K. F. Artamonov para profundidad de socavación.	57
<i>Ecuación I.19.</i> Método de Hire para profundidad de socavación en estribos	58
<i>Ecuación I.20.</i> Método de CSU para profundidad de socavación en pilares.	60
<i>Ecuación I.21.</i> Método de Neill para cálculo de socavación en pilares.....	64
<i>Ecuación I.22.</i> Método de Froehlich para profundidad de socavación en pilares.	64
<i>Ecuación I.23.</i> Método de Maynard para D_m de roca para enrocados.....	68
<i>Ecuación I.24.</i> Método de Isbabs para D_m de roca para enrocados.	68
<i>Ecuación I.25.</i> Método de Maza Álvarez para D_m de roca para gaviones.	71
<i>Ecuación I.26.</i> Método de HEC-18 para D_m de roca para gaviones.	71
<i>Ecuación I.27.</i> Ecuación Unidimensional de Saint Venant 1D.	76
<i>Ecuación I.28.</i> Ecuación Unidimensional de Saint Venant 1D.	76

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Simulación Hidráulica Aplicada Mediante HEC RAS	246
ANEXO 2. Simulación Hidráulica del flujo constate incorporando el Puente Libertad.....	278
ANEXO 3. Cálculo de Socavación con HEC RAS	285
ANEXO 4. Estudio Hidrológico	295
ANEXO 5. Estudio Geotécnico	335
ANEXO 6. Resultados de laboratorio del análisis granulométrico	346
ANEXO 7. Estudio Topográfico.....	358
ANEXO 8. Coordenadas del eje principal del rio Jequetepeque	366
ANEXO 9. Secciones hidráulicas de HEC RAS cada 5 km.....	375
ANEXO 10. Macrolocalización y Microlocalización del puente Libertad.....	379
ANEXO 11. Señalización del puente Libertad.....	380
ANEXO 12. Toma lateral del puente Libertad.....	381
ANEXO 13. Vista interna del puente	382
ANEXO 14. Mantos de escollera existentes necesitan mantenimiento	383
ANEXO 15. Erosión en el cauce del rio	384

RESUMEN

La presente tesis se desarrolló en el distrito de San José, provincia de Pacasmayo con el objetivo de estudiar el fenómeno de socavación en el puente Libertad mediante simulación hidráulica en HEC RAS.

Se realizaron estudios básicos de ingeniería en conjunto con los softwares CIVIL 3D, RIVER, HIDROESTA y ARCGIS para obtener información técnica que permita realizar un modelamiento hidráulico de régimen de flujo permanente en HEC RAS.

Del estudio Topográfico se obtuvo secciones del río Jequetepeque en el software CIVIL 3D, se tomó como referencia el levantamiento topográfico de 48,320m de río.

Del estudio Geotécnico mediante análisis granulométrico del material del río se determinó los D_m , D_{50} y D_{95} en 12.319mm, 12.351mm y 36.303mm respectivamente.

El estudio Hidrológico sirvió para determinar características geomorfológicas de la cuenca Jequetepeque mediante ARCGIS (área 3935.42 km², perímetro 466.55 km. longitud del cauce principal 173.29km, etc.) y caudales de diseño para diferentes periodos de retorno (10, 50, 100, 300 y 500 años) con métodos estadísticos (Gumbel, Nash, Pearson III y Log Normal) y empíricos (Mac Math, Fuller, Regional de Creager y Tucci) con los programas RIVER e HIDROESTA determinando los caudales de diseño 875.01m³/s, 1271.42 m³/s, 1442.14 m³/s, 1712.73 m³/s y 1838.55 m³/s.

Para la socavación se empleó los métodos de Lischtvan-Levediev y Laursen (1995) para calcular la socavación general; Artamonov, Hire (1993), Froehlich (1991), Neill y CSU, para la socavación local en estribos y pilares.

Entre los principales resultados se obtuvo una socavación general de 2.78m, socavación local en estribos de 4.88m y una socavación local en pilares de 1.12m para un periodo de retorno de 500 años, finalmente se propone la construcción de diques laterales y mantos de escolleras para protección de pilares.

Palabras clave: Socavación, estribos, pilares, caudal, diámetro medio.

ABSTRACT

The present research work was carried out in the district of San José, province of Pacasmayo with the objective of studying the undermining phenomenon in the Libertad bridge by means of hydraulic simulation in HEC RAS.

Basic engineering studies were carried out in conjunction with the CIVIL 3D, RIVER, HIDROESTA and ARCGIS software to obtain technical information that would enable permanent flow regime hydraulic modeling in HEC RAS.

From the topographic study sections of the Jequetepeque river were obtained in the CIVIL 3D software, the topographic survey of 48,320m of the river was taken as a reference.

From the Geotechnical study by means of granulometric analysis of the river material, the D_m , D_{50} and D_{95} were determined at 12,319mm, 12,351mm and 36,303mm respectively.

The Hydrological study served to determine geomorphological characteristics of the Jequetepeque basin using ARCGIS (area 3935.42 km², perimeter 466.55 km, length of the main channel 173.29km, etc.) and design flows for different return periods (10, 50, 100, 300 and 500 years) with statistical methods (Gumbel, Nash, Pearson III and Log Normal) and empirical (Mac Math, Fuller, Regional de Creager and Tucci) with the RIVER and HIDROESTA programs, determining the design flows 875.01m³/s, 1271.42 m³/s, 1442.14 m³/s, 1712.73 m³/s and 1838.55 m³/s.

For the undercut, the methods of Lischtvan-Levediev and Laursen (1995) were used to calculate the general undercut; Artamonov, Hire (1993), Froehlich (1991), Neill and CSU, for local undercutting in abutments and pillars.

Among the main results, a general undercut of 2.78m was obtained, local undercut in abutment of 4.88m and a local undercut in pillars of 1.12m for a return period of 500 years, finally the construction of lateral dikes and breakwater mantles is proposed for pillar protection.

Key words: Undercut, abutments, pillars, flow, mean diameter.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1.REALIDAD PROBLEMÁTICA

Los puentes constituyen una infraestructura de conectividad estratégica, su presencia cumple importantes funciones como unir tramos separados por ríos y permitir la continuidad de las carreteras. Por ello, su construcción debe realizarse de manera funcional para asegurar el tránsito.

El colapso de puentes puede deberse a causas artificiales como la falta de mantenimiento, deficiencias en la construcción, deficiencias estructurales, sobrecarga e impacto y/o causas naturales como las crecientes de avalanchas y socavación. (Muñoz, 2017, p.4).

La socavación es el resultado de la acción erosiva del flujo de agua que arranca y acarrea material del lecho de un cauce, y es la principal causa de falla en puentes, los incrementos de caudal generan incrementos de socavación. En el Perú, el principal fenómeno natural atmosférico conocido como El Niño, es causado por el calentamiento gradual del océano Pacífico provocando intensas precipitaciones, inundaciones, aumento de caudal de los ríos, y por consiguiente mayor socavación y colapso de puentes.

“El Niño costero 2017” se puede considerar como el tercer “fenómeno El Niño” más intenso de al menos los últimos 100 años para el Perú. (ENFEN, 2017, p.1).

Agricultura. A nivel nacional se desaparecieron 50,514 áreas de cultivo, mientras que 22,674 canales de regadío quedaron destruidos. La región con más áreas de cultivo perdidas fue La Libertad con 11,557, mientras que en Lima fue donde más canales de riego desaparecieron: 13,000. (INDECI, 2019, p.3).

Transportes. 4,000 kilómetros de caminos rurales, 4,391 kilómetros de carreteras y 489 puentes quedaron destruidos por el fenómeno El Niño. La región Lima, 2,216

kilómetros desaparecieron. Además, tuvo la mayor cantidad de puentes destruidos: 139. (INDECI, 2019, p.3).

Estudiar la socavación por incrementos de caudal, sea el fenómeno El Niño o un evento catastrófico es la principal preocupación de los ingenieros que diseñan puentes, sin embargo, al realizar una exhaustiva investigación no se ha encontrado un estudio contundente en el Perú que explique las causas de socavación en puentes en nuestro país, los estudios más cercanos a nuestra realidad por las características de sus puentes y ríos, se realizaron en Colombia y evidenciaron que el principal problema en caída de puentes en un 70% del total de causas es de carácter hidráulico, principalmente la socavación en sus pilares representa el 35% y el otro 35% lo conforman las crecidas de avalanchas. (Muñoz, 2017, p.4).

Entendiendo la importancia del estudio de la socavación, se realizó esta investigación en el río Jequetepeque progresiva 13+410 y puente Libertad de San José – Pacasmayo – La Libertad. Se utilizó el software HEC RAS y los métodos de *Lischtvan-Levediev* y *Laursen (1995)* para calcular la socavación general en el lecho del río Jequetepeque; los métodos de *K. F. Artamonov* e *Hire (1993)* para calcular la socavación local en estribos; *Neill, Froehlich (1991)* y *CSU*, para calcular la socavación local en pilares del puente Libertad. Los resultados obtenidos coadyuvan en proponer obras de protección, tales como diques laterales y mantos de escolleras para protección de pilares; para el diseño de enrocados tipo diques laterales se empleó los métodos de *Maynard* e *Isbabs*, y para la protección de pilares tipo mantos de escollera el método *HEC-18*.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el resultado de la profundidad de socavación general y local en el puente Libertad calculada mediante simulación hidráulica en HEC RAS?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Calcular la profundidad de socavación general y local en el puente Libertad mediante simulación hidráulica en HEC RAS.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Obtener secciones transversales del río Jequetepeque necesarios para la simulación hidráulica en HEC RAS.
2. Determinar las características geotécnicas de las partículas del río Jequetepeque: D_m , D_{50} , D_{95} , Coeficientes de uniformidad (C_u), coeficiente de curvatura (C_c) y curva granulométrica.
3. Determinar parámetros geomorfológicos de la cuenca Jequetepeque: longitud del cauce principal, área de cuenca, pendiente del cauce principal, pendiente del tramo en estudio y perímetro de cuenca.
4. Determinar caudales de diseño en base a la data de caudales históricos registrados por la estación hidrométrica Yonán desde el año 1965 al 2017, para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años.
5. Obtener parámetros hidráulicos como: tirante de agua, velocidad de flujo, área hidráulica, número de Froude y volúmenes de agua, necesarios para calcular la socavación general y local.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general

EL cálculo de la profundidad de socavación mediante simulación hidráulica en HEC RAS permite proponer estructuras de protección para el río Jequetepeque y puente Libertad.

1.4.2. Hipótesis específicas

1. Las secciones transversales del río Jequetepeque se obtienen mediante Estudio Topográfico y se procesan en el software CIVIL 3D.
2. Las características geotécnicas de las partículas del río Jequetepeque: D_m , D_{50} , D_{95} , Coeficiente de uniformidad (C_u), coeficiente de curvatura (C_c) y curva granulométrica se determinan siguiendo el procedimiento de la norma ASTM D 422.
3. Los parámetros geomorfológicos de la cuenca: longitud del cauce principal, área de cuenca, pendiente del cauce principal, pendiente del tramo en estudio, perímetro de cuenca; se obtienen de las Cartas Nacionales registradas por el Instituto Geográfico Nacional del Perú procesadas en el software ARCGIS.
4. Mediante el Estudio Hidrológico es posible determinar caudales de diseño en base a la data de caudales históricos registrados por la estación hidrométrica Yonán desde el año 1965 al 2017, para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años; utilizando el software HIDROESTA y RIVER, con los métodos estadísticos Log Normal, Pearson III, Gumbel y Nash; y, con los métodos empíricos de Mac Math y Tucci, Método regional de envolvente de Creager y Método de Fuller.
5. Mediante Simulación Hidráulica en HEC RAS se obtienen parámetros hidráulicos como tirante de agua, velocidad de flujo, área hidráulica, número de Froude y volúmenes de agua, necesarios para el cálculo de socavación general y local.

1.5. ANTECEDENTES

1.5.1. Antecedentes en el Mundo

➤ En una evaluación de las causas del colapso de los puentes en Colombia, basada en el estudio de sesenta y tres (63) casos reales de fallas registradas desde 1986; al analizar en cada uno de los casos entre las principales causas que han generado el colapso total o parcial de las estructuras de un puente, el 36% de los casos estudiados corresponden a puentes de acero que fallaron debido a deficiencias estructurales, mientras que el 64% restante corresponde a puentes de concreto que en su mayoría colapsaron por socavación. (Muñoz, 2017, p.4).

1.5.2. Trabajos de investigación en el Perú

✓ **TÍTULO:** “EVALUACIÓN DE LA SOCAVACIÓN QUE PRODUCIRÁ EN PILARES Y ESTRIBOS DEL PUENTE MOCHE, LA DERIVACIÓN DEL CAUDAL DE LA QUEBRADA SAN IDELFONSO”

AUTORES: Carlos Miguel Avalos Castro y Julio Cesar Zegarra Tordoya

INSTITUCIÓN: Universidad Privada del Norte

AÑO: 2018

Calcularon la socavación general en pilares y estribos del puente Moche por el método de Lischtvan Levediev; para la socavación en estribos emplearon el método de K. F. Artamonov y para la socavación en pilares el método de Neill, y el programa HEC RAS. La socavación general fue de 0.10m, la socavación en estribos 1.7m y la socavación en pilares 1.34m. El diámetro medio del lecho del río fue de 50.44mm.

✓ **TÍTULO:** “MODELO DE SOCAVACIÓN EN LA BASE DEL PILAR DEL PUENTE MARISCAL CÁCERES”.

AUTOR: Enriquez Soto Amador.

INSTITUCIÓN: Universidad Nacional del Centro del Perú.

AÑO: 2013.

Realizó el estudio de socavación en la base de estribos del puente Mariscal Cáceres proyectado en el río Mantaro en el departamento de Junín, cuyos resultados son 3.63m de socavación en estribos 3.63m para un caudal de $583.32\text{m}^3/\text{s}$ y periodo de retorno de 50 años; 3.83m para un caudal de $636.41\text{m}^3/\text{s}$ y periodo de 100 años; y 4.04m para un caudal de $759.68\text{m}^3/\text{s}$ y periodo de retorno de 500 años. El D_{50} fue de 27.50mm.

- ✓ **TÍTULO:** “ESTUDIO DE LA SOCAVACIÓN DEL PROYECTO DEL PUENTE EL INCA UBICADO EN EL RIO CHOROBAL DEL DISTRITO DE CHAO MEDIANTE SIMULACIÓN NUMÉRICA UNIDIMENSIONAL”.

AUTOR: Jhon Willams Cotrina Cano e Ivan Walter Hernandez Genovez.

INSTITUCIÓN: Universidad Privada Antenor Orrego.

AÑO: 2017.

Realizaron el estudio de socavación del puente El Inca proyectado en el río Chorobal, ubicado en la carretera Chao – Buenavista de la provincia de Virú, departamento de La Libertad, con un $D_{50} = 15.61\text{mm}$. Entre las principales conclusiones se destaca un caudal de diseño de $664.37\text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 500 años, profundidad de socavación general de 1.88 m, calculado mediante el método de Lischtván Levediev y una profundidad de socavación local en el estribo derecho de 7.41 m mediante el método de Hire, y para los pilares de 5.89m con el método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU).

- ✓ **TÍTULO:** “ESTUDIO DE SOCAVACIÓN DE LA SUBESTRUCTURA DE PUENTE Y ANÁLISIS DE ESTABILIDAD – CASO PUENTE NICOLÁS DUEÑAS DE LA CIUDAD DE LIMA EN EL 2017”.

AUTOR: Chirinos Sota Fiorella Robin.

INSTITUCIÓN: Universidad Cesar Vallejo.

AÑO: 2017.

Realizó el estudio de socavación en pilares y estribos del puente Nicolás Dueñas en la ciudad de Lima, con un diámetro de partículas de río D_{50} de 19 mm se determinó una socavación general de 2.84 metros por el método de Lischtván – Levediev, la socavación en estribos de 5.09 metros por el método de Froehlich, la socavación en el pilar de 2.84 metros, socavación total en pilares de 5.48 metros y una socavación total para estribos de 7.42 metros.

- ✓ **TÍTULO:** “ESTUDIO DE MÁXIMAS AVENIDAS EN LAS CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO - CUENCAS DE LA COSTA NORTE”.

AUTOR: Msc. Cayo Leonidas Ramos Taípe.

ASISTENTE: Ing. Marcelo Portuguez Maurtua.

INSTITUCIÓN: Autoridad Nacional del Agua – Ministerio de Agricultura y Riego
MINAGRI.

AÑO: 2010.

Mediante “Estudio de máximas avenidas en las cuencas de la vertiente del Pacífico - cuencas de la costa norte” realizado para el MINAGRI se obtuvo en la cuenca Jequetepeque caudales para 25, 50, 75, 100 y 200 años de periodo de retorno (T) según se muestran:

CUENCA JEQUETEPEQUE					
PERIODO DE RETORNO (años)	25	50	75	100	200
CAUDAL m^3/s	597	752	856	935	1,141

1.6. JUSTIFICACIÓN

1.6.1. Justificación Técnica

El estudio de la socavación es fundamental para el diseño de puentes, pues determinan las dimensiones de las zapatas de pilares y estribos, así como de estructuras de protección en el río y puente; en esta investigación proponemos la aplicación del software HEC RAS para determinar la profundidad de socavación, y proponer estructuras de protección.

Desde un enfoque metodológico, la aplicación de HEC RAS permite un cálculo de la socavación más práctico (evita empleo de fórmulas complejas) aplicable en futuros proyectos.

El software HEC RAS requiere información, topográfica, hidrológica y geotécnica para realizar el modelamiento hidráulico y analizar la profundidad de socavación; por tales motivos se realizaron dichos estudios.

Mediante el estudio topográfico se obtuvieron 966 secciones a cada 50 metros comprendiendo 48,320 m de longitud de río Jequetepeque desde la progresiva 0+000, en el nivel 0 msnm, hasta la represa Gallito Ciego. Se utilizó el software CIVIL 3D para exportar secciones geométricas del río al software HEC RAS.

Se realizó el estudio Geotécnico del material obtenido en el lecho del río donde se emplaza el puente Libertad, para determinar las características geotécnicas de las partículas, como D_{50} , D_{95} , y clasificación SUCS, siguiendo el procedimiento de la norma ASTM D 422.

En el estudio Hidrológico de la cuenca Jequetepeque se determinaron parámetros geomorfológicos mediante el software ARCGIS, se empleó las Cartas Nacionales registradas por el Instituto Geográfico Nacional del Perú a escala 1:100 000 en formato

Shapefile. Los parámetros geomorfológicos determinados fueron: área de cuenca, perímetro de cuenca, longitud del cauce principal, pendiente del cauce principal, pendiente del tramo evaluado, índice de compacidad, factor de forma, cota máxima y mínima.

Como parte del estudio Hidrológico también se determinaron los caudales de diseño, estos caudales se obtuvieron en base a la data de los caudales históricos registrados por la estación hidrométrica Yonán desde el año 1965 al 2017, la estación Yonán es la única estación hidrométrica dentro de la cuenca Jequetepeque que ha registrado los caudales históricos y la que proporciona información más exacta al ubicarse en el punto estratégico de convergencia de la mayoría de ríos, se ubica en las coordenadas $7^{\circ}15'21.50''$ S, $79^{\circ}05'56''$ W distrito de Yonán. Los caudales de diseño fueron calculados para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años con los métodos estadísticos Log Normal, Pearson III, Gumbel y Nash; con métodos empíricos de Mac Math y Tucci, Método regional de envolvente de Creager y Fuller.

Cabe indicar que el ultimo fenómeno El Niño sucedió en el año 2017 y según el SENHAMI este causó un incremento del caudal del río Jequetepeque, alcanzando un caudal pico de $983.85 \text{ m}^3/\text{s}$ y un caudal promedio de $680.61 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver *Figura 1.1*)

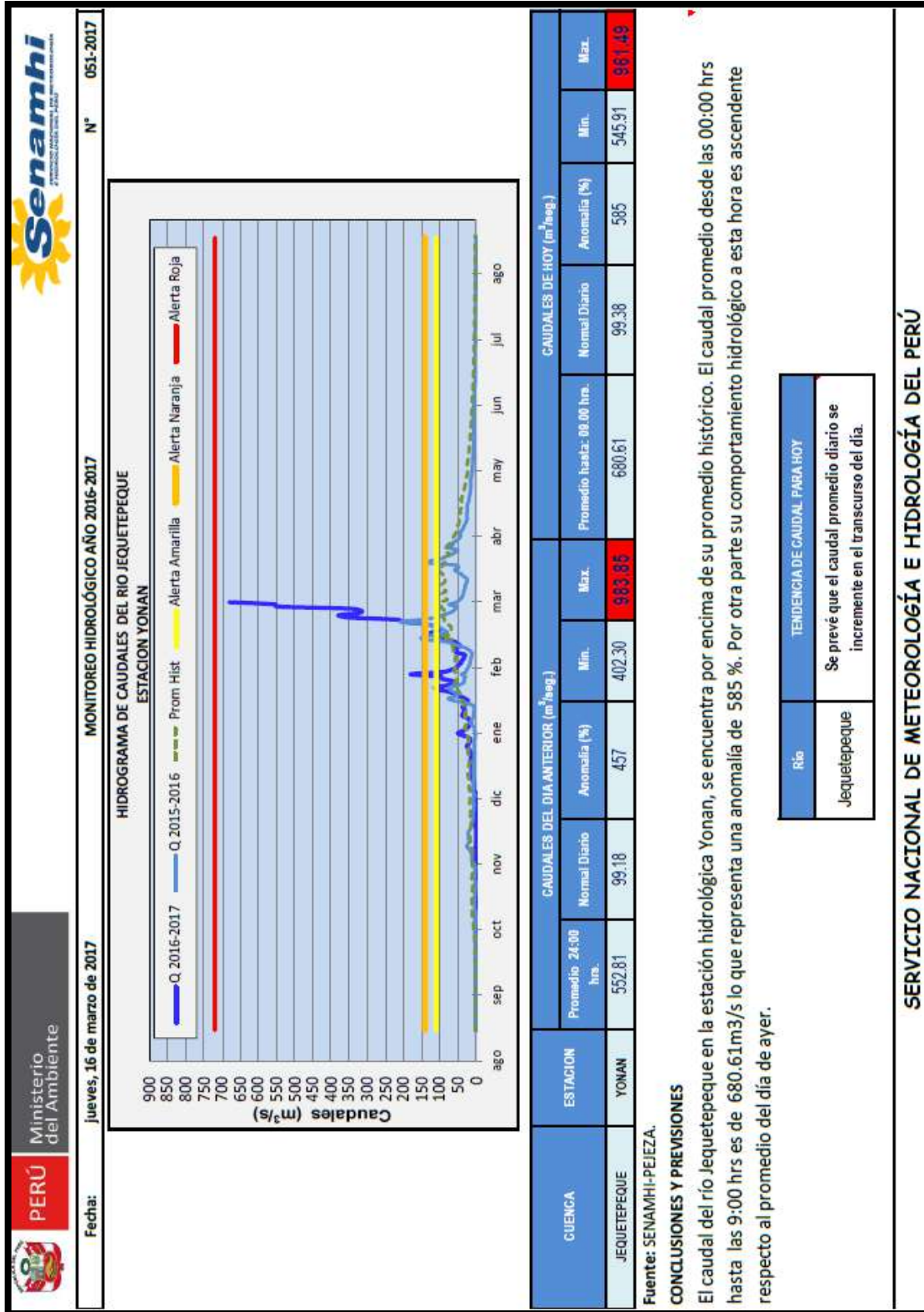


Figura I.1. Hidrograma de caudales del río Jequetepeque _estación Yonán

Fuente: ANA 2017

1.6.2. Justificación Económica y Social

El puente Libertad, construido en el río Jequetepeque, forma parte de una importante vía que conecta las ciudades del norte del país, siendo La Libertad, Cajamarca y Lambayeque los departamentos directamente involucrados en el uso de esta vía. Según el conteo de tráfico vehicular realizado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2009), el Índice Medio Diario en el tramo Pacasmayo – Ciudad de Dios es de 11, 970 N° de ejes cobrables/día y en el tramo Ciudad de Dios – Chepén 13,857 ejes cobrables/día, que ilustra el impacto económico de una paralización del tráfico vehicular causada por la inoperatividad del puente Libertad. A la fecha (marzo-agosto 2020) nos encontramos en Estado de Emergencia Sanitaria por lo que el tráfico vehicular está limitado motivo por el cual no se puede realizar un conteo de tráfico actualizado.

1.6.3. Justificación Ambiental

Esta investigación no implica un efecto ambiental negativo en el puente, río o cuenca en estudio, sino que al contrario evalúa la profundidad de socavación en el río Jequetepeque, en los pilares y estribos del puente Libertad y se propone la construcción de infraestructuras de protección como diques laterales y protección de pilares, para prevenir daños causados por los embates de la naturaleza, esta medida beneficia a la población agrícola que realiza actividades agrícolas en los márgenes de los ríos.

1.7. BASES TEÓRICAS

1.7.1. Aspectos generales

Los puentes permiten cruzar o salvar un obstáculo natural, como el curso de un río o quebrada. Es importante tener en cuenta que un puente no será estable si no lo es el tramo fluvial comprometido. Siguiendo lo establecido en las especificaciones AASHTO LRFD se define como puente a la estructura de luz mayor o igual a 6.0 m.

1.7.2. Consideraciones para el diseño

En los estudios de hidráulica fluvial para puentes, se debe incluir aspectos topográficos, ejecución de muestras para la determinación de diámetros representativos del lecho y criterios para la estimación de la rugosidad del lecho.

1.7.2.1. Estudio Topográfico

a. Topografía – Batimetría del cauce y zonas adyacentes.

Según el Manual de Hidrología y Drenaje 2019 del MTC:

El levantamiento topográfico debe abarcar el tramo involucrado donde se emplaza el puente, y se recomienda lo siguiente:

- En ríos con amplias llanuras de inundación donde el puente produzca contracción del flujo de avenida el levantamiento abarcará 12 veces el ancho del cauce principal aguas arriba del eje propuesto y 6 veces hacia aguas abajo.
- En ríos donde el puente no produzca contracción del flujo de avenida y ofrezca una pendiente pronunciada el levantamiento topográfico abarcará 8 veces el ancho del cauce principal aguas arriba del eje propuesto y 4 veces hacia aguas abajo. El levantamiento topográfico no debe ser menor a 150 m aguas arriba y 150 m aguas abajo del eje del puente propuesto.
- En caso que el eje del puente propuesto se ubique cerca de la desembocadura con un río principal, lago o mar el levantamiento topográfico deberá incluir la zona de confluencia.

Sin embargo, el requerimiento mínimo para el levantamiento topográfico puede extenderse o limitarse, sin perjudicar los objetivos del proyecto.

El levantamiento topográfico debe incluir las estructuras existentes, niveles de agua actuales, marcas de agua en las estructuras existentes, toma del perfil longitudinal

del curso natural, secciones transversales del curso natural espaciados no mayor a 0.5 veces el ancho del cauce principal del curso.

1.7.2.2. Estudio Geotécnico

a. Muestreo y caracterización del material del lecho.

Tiene como objetivo la determinación del tamaño representativo que engloba todo el espectro de tamaños presentes en el lecho del río, usualmente se realiza de la siguiente manera:

- Obteniendo el D_{50} de toda la distribución granulométrica.
- También se utiliza el diámetro medio de la distribución.

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \Delta p_i}{100}$$

Ecuación 1.1. Diámetro Medio de las partículas del suelo

Donde:

D_i : Es el tamaño de la partícula en que el i (%) indica el porcentaje en peso de las fracciones de las partículas cuyo tamaño es menor o igual a ese diámetro D_i .

p_i : Es el porcentaje en peso del material cuyo tamaño cae dentro del intervalo cuya marca de clase es D_i , para $i = 1 \dots n$ intervalos.

b. Granulometría por tamizado.

Es la parte del estudio geotécnico que estudia lo referente a las formas y distribución de tamaños de las partículas que constituyen un suelo.

c. Coeficientes de uniformidad y curvatura.

✓ Coeficiente de Uniformidad (C_u)

Definido por Terzaghi y Peck, se utiliza para evaluar la uniformidad del tamaño de

las partículas de un suelo.

$$C_u = D_{60}/D_{10}$$

Donde:

D_{60} : El diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 60% del suelo, en peso.

D_{10} : El diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 10% del suelo, en peso.

Asimismo, representa la extensión de la curva granulométrica, es decir, a mayor extensión de esta curva, se tendrá una mayor variedad de tamaños, lo que es propio de un suelo bien graduado. Esto se cumple en arena para un $C_u > 6$ y para Gravas $C_u > 4$.

✓ **Coefficiente de Curvatura (CC)**

Como dato complementario, es necesario para definir la uniformidad, se define el coeficiente de curvatura del suelo con la expresión:

$$C_c = ((D_{30})^2 / (D_{60} \times D_{10}))$$

Donde:

D_{30} : El diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 30% del suelo, en peso.

Trata de indicarnos una curva granulométrica constante, sin escalones; esto cumple tanto en arenas como gravas para cuando $1 < C_c < 3$.

1.7.2.3. Estudio Hidrológico

a. Cuenca Hidrográfica.

Hidrológicamente, una cuenca hidrográfica se define como el área geográfica natural delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarum), que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal.

b. Características físicas de las cuencas.

✓ Área de la cuenca (A):

- ✓ Perímetro de la cuenca (P)
- ✓ Forma de la cuenca.

En general, las escorrentías de una cuenca de forma casi circular serán diferentes de las de otra, estrecha y alargada, aunque tengan la misma área.

c. Parámetros geomorfológicos de la cuenca.

c.1 Parámetros de forma.

Índices que relaciona el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (hidrogramas).

- ✓ **Índice de Compacidad o Coeficiente de Gravelius (Ic)**

Relaciona la forma de la cuenca con una forma circular con la misma área y perímetro.

Este parámetro proporciona un índice de la velocidad con que las aguas se concentran en la sección de descarga de la cuenca y se expresa mediante la siguiente relación:

$$Ic = \frac{P}{P_0} = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * A}} = 0.287 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Ecuación 1.2. Índice de compacidad de cuenca

Donde:

Ic : Coeficiente de compacidad

P : Perímetro de la cuenca (Km)

A : Área de la cuenca (Km²)

Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similaridad con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1985):

Clase Kc1: Rango entre 1 y 1.25. Corresponde a forma redonda a oval redonda

Clase Kc2: Rango entre 1.25 y 1.5 Corresponde a forma oval redonda a oval oblonga

Clase Kc3: Rango entre 1.5 y 1.75 Corresponde a forma oval oblonga a rectangular

oblonga.

En cualquier caso, el índice será mayor que la unidad cuanto más irregular sea la cuenca y más cerca esté de ella cuando la cuenca se acerque a la forma circular, alcanzando valores cercanos a 3 en cuencas muy alargadas. Su unidad de medida es adimensional.

✓ **Factor de Forma (Ff)**

Definido por Horton, como el cociente entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud del cauce principal:

Es la relación existente entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud del cauce principal más largo se expresa por la siguiente relación:

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

Ecuación 1.3. Factor de forma de cuenca

Donde:

F_f : Factor de forma

Am : Ancho medio de la cuenca (Km)

L : Longitud del curso más largo (Km)

A : Área de la cuenca (Km²)

Si una cuenca tiene un factor de forma 1 entonces tendrá una forma redonda mientras que si se acerca a 0 tenderá a ser alargada. Su unidad de medida es adimensional

Los factores determinan la dinámica de la escorrentía superficial en la cuenca, las cuencas alargadas poseen un flujo más veloz, a diferencia de las cuencas redondeadas, y por ende evacuan más rápido su caudal, también generan mayor arrastre de energía cinética en el transporte de sedimentos.

✓ Longitud de la Cuenca (L_c)

Es la distancia entre la salida y el punto más alejado, cercano a la cabecera del cauce principal, medida en línea recta.

c.2 Parámetros de relieve.

✓ Pendiente de la cuenca

La pendiente tiene una relación importante y compleja con la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Es uno de los factores físicos que controla el tiempo de flujo en el terreno y tiene una influencia directa en la magnitud de las avenidas o crecidas.

✓ Curva hipsométrica.

Es la representación gráfica del relieve de una cuenca; es decir, la curva hipsométrica indica el porcentaje del área de la cuenca o la superficie de la cuenca en km^2 que existe por encima de cierta cota, representada en coordenadas rectangulares.

1.7.2.3.1. Avenida de Diseño o Caudal Máximo y Períodos de Retorno.

- En caso que el puente se construya en una ciudad con alta densidad de población, o se ubique medianamente aguas abajo de ésta, sobre un río de amplias llanuras de inundación, el período de retorno debe ser superior a 100 años.

- Para la estimación de la profundidad de socavación, el período de retorno mínimo deberá ser igual al utilizado en el diseño del puente y para un caudal de no más de 500 años de periodo de retorno que es el caudal para verificar la estabilidad de la cimentación del puente. En ese caso, se considera que se trata de un evento extremo. (Manual de Hidrología y drenaje del MTC, 2019, p. 93).

1.7.2.3.2. *Métodos Estadísticos para determinar Caudales de Diseño.*

Según (Villón, 2011):

Los métodos estadísticos se basan en considerar que el Flujo Anual Máximo es una variable aleatoria que tiene una distribución específica. Para usarlos es necesario tener como datos, el registro de Flujos Máximos Anuales.

a. Distribución Normal.

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2}$$

Ecuación I.4. Distribución Normal

Donde:

$f(x)$: función densidad normal de la variable x

x : variable independiente

μ : parámetro de localización, igual a la media aritmética de x .

S : parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x .

b. Distribución Log Pearson III.

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x\beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$$

Ecuación I.5. Distribución Log Pearson III

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 : parámetro de posición

γ : parámetro de forma

β : parámetro de escala

c. *Distribución Gumbel.*

La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-a(x-\beta)}}$$

Ecuación 1.6. Distribución Gumbel

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = 1.2825/\sigma$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Donde:

α : Parámetro de concentración.

β : Parámetro de localización.

Según Ven Te Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x$$

Donde:

x : Valor con una probabilidad dada.

\bar{x} : Media de la serie.

k : Factor de frecuencia.

1.7.2.3.3. Métodos Empíricos para determinar Caudales de Diseño.

a. Método Racional.

valido para $A < 10 \text{Km}^2$

$$Q = 0,278 \text{ CIA}$$

Ecuación 1.7. Método Racional

Donde:

Q : Descarga máxima de diseño (m^3/s)

C : Coeficiente de escorrentía

I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A : Área de la cuenca (Km^2).

b. Método Racional Modificado.

Propuesta por Témez (1987, 1991) permite estimar de forma sencilla caudales pico en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 km^2 .

$$Q = 0,278 \text{ CIAK}$$

Ecuación 1.8. Método Racional Modificado

Donde:

Q : Descarga máxima de diseño (m^3/s)

C : Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce I .

I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A : Área de la cuenca (Km^2)

K : Coeficiente de Uniformidad

c. Método de Mac Math.

Este método es una modificación del método Racional y es empleado en el programa River para el cálculo de caudal de diseño.

$$Q = 0.001 * C * I * A^{0.58} * S^{0.45}$$

Ecuación 1.9. Método Mac Math

Donde:

- Q : Caudal máximo (m³/s)
- C : Coeficiente de escorrentía
- A : Área de la cuenca húmeda (Ha)
- S : Pendiente (0/00)
- I : Intensidad (mm/hora)

El Coeficiente de escorrentía (C), está en función al tipo de superficie y del periodo de retorno, bajo la siguiente tabla:

Tabla I.1
Coefficientes de escorrentía método Mac Math

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA "C"							
Características de la Superficie	Periodo de retorno en años						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto, tejados	0.75	0.80	0.83	0.86	0.92	0.97	1.00
Zonas Verdes (jardines, parques, etc)							
Condición pobre (cubierta de pasto <50 % del área)							
Plano (0 - 2) %	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.95	0.58
Promedio (2 - 7) %	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.97	0.97
Superior al 7 %	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	
Condición prom. (cubierta de pasto 50 - 75 % del área)							
Plano (0 - 2) %	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.95	0.95
Promedio (2 - 7) %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.97	0.97
Superior al 7 %	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.53
Condición alta (cubierta de pasto > 75 % del área)							
Plano (0 - 2) %	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.36
Promedio (2 - 7) %	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.46
Superior al 7 %	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.51
Zonas Rurales							
Campos de Cultivo							
Plano (0 - 2) %	0.30	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio (2 - 7) %	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Superior al 7 %	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales, prados y dehesas							
Plano (0 - 2) %	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio (2 - 7) %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Superior al 7 %	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques, montes arbolados							
Plano (0 - 2) %	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio (2 - 7) %	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Superior al 7 %	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Chow et al (1988) (Manual de River 2019)

d. Método de Fuller.

La fórmula simplificada de Fuller considera $a=2.66$, y $b=0.3$. Mediante la fórmula siguiente se obtuvieron los Caudales Máximos Instantáneos.

$$K = Q_{md} (1 + a/A^b) (1 + 0.8 \text{Log}T)$$

Ecuación I.10. Método de Fuller

Donde:

A : Área de la cuenca, km²

T : Periodo de retorno, años

a, b : Parámetros de la formula

Q_{md} : Media de los caudales máximos diarios

e. Método Regional de la Envolvente de Creager.

La envolvente Creager de descargas máximas se calcula en función del área de cuenca, el periodo de retorno y cuatro coeficientes que dependen de la zona del país, en este caso para el contexto hidrológico de la costa peruana, mediante la expresión:

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) \times \text{Log}(T) \times A^{(m A^{-n})}$$

Ecuación I.11. Método Regional de Envolvente de Creager

Donde:

Q_{max} : Caudal Máximo Instantáneo (m³/s)

T : Periodo de Retorno

A : Área de la cuenca

C₁, C₂, m, n : Constantes para las diferentes regiones del Perú

Los valores de las constantes C₁, C₂, m, n se presentan de la siguiente manera, así como también el mapa de avenidas particularizados para cada región del Perú.

Tabla I.2

Constantes del método de la envolvente regional de Creager

Región	C1	C2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

Fuente: Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú

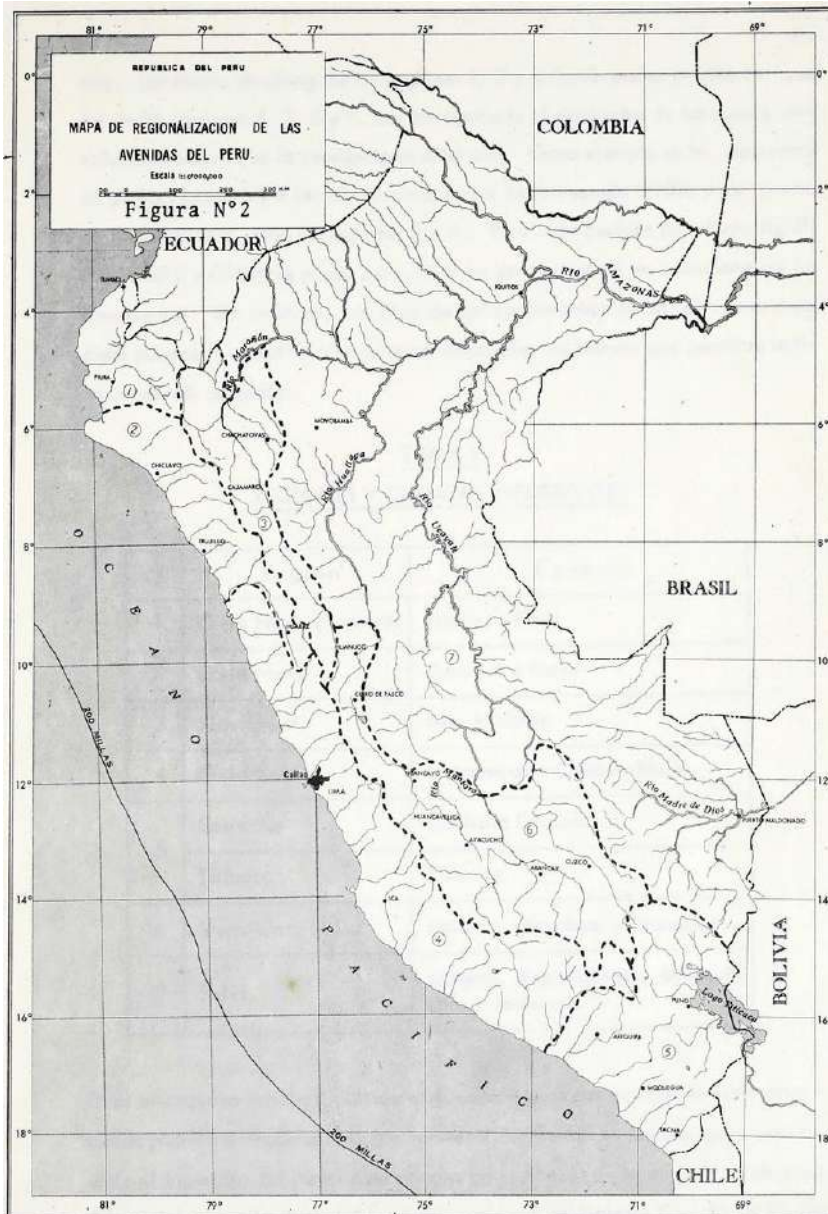


Figura I.2. Mapa de la Regionalización de las avenidas del Perú

Fuente: Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú

f. Método de Tucci.

Esta metodología destaca la influencia del fenómeno "El Niño", especialmente en la vertiente del Pacífico del Perú, en los departamentos de Piura y Tumbes, donde es necesario un tratamiento de análisis especial para determinar el Caudal de Diseño.

- ✓ Cuencas menores de 3500 km²

$$Q_{\text{máx}} = Q_{\text{md}} (1 + 2.66 A^{-0.30})$$

Ecuación I.12. Método de Tucci para cuencas, A < 3500 km²

- ✓ Cuencas mayores de 3500 km²

$$Q_{\text{máx}} = Q_{\text{md}} (1 + 1.2 A^{-0.036})$$

Ecuación I.13. Método de Tucci para cuencas, A > 3500 km²

Siendo:

$Q_{\text{máx}}$: caudal máximo instantáneo

Q_{md} : caudal máximo diario

A : área de la cuenca de recepción en el punto de control hidrométrico

Se pueden considerar los siguientes valores en base a la superficie de la cuenca.

- Mayor a 3000 Km² 1.2
- Entre 1000 y 3000 km² 1.3
- Entre 800 y 1000 km² 1.4
- Entre 600 y 800 km² 1.6
- Entre 400 y 600 km² 2.0
- Entre 200 y 400 km² 2.5
- Menor a 200 km² de 3.0 hasta 5.0

Generalmente, se admite un coeficiente variando entre 1.2 y 2.2 (con valor promedio de 1.6) con una probabilidad de 90% para esta relación.

1.7.2.4. Coeficiente de Rugosidad de cauces naturales (*n* de Manning)

- Cowan propone un método, según el cual el cálculo del Coeficiente de Rugosidad, puede estimarse mediante la siguiente relación:

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

Ecuación I.14. Método de Cowan para Rugosidad de cauces

n_0 : Rugosidad base para un canal recto, uniforme, prismático y con rugosidad homogénea.

n_1 : Rugosidad adicional debida a irregularidades superficiales del perímetro mojado a lo largo del tramo en estudio.

n_2 : Rugosidad adicional equivalente debida a variación de forma y de dimensiones de las secciones a lo largo del tramo en estudio.

n_3 : Rugosidad equivalente debida a obstrucciones existentes en el cauce.

n_4 : Rugosidad adicional equivalente debida a la presencia de vegetación.

m_5 : Factor de corrección para incorporar efecto de sinuosidad del cauce o presencia de meandros.

En la *Tabla I.3*, se aprecian los valores correspondientes a las variables utilizadas por Cowan.

Tabla I.3
Tabla de Cowan para determinar coeficiente n

CONDICIONES DEL CANAL		VALORES	
Material Involucrado	Tierra	n_0	0.020
	Corte en Roca		0.025
	Grava Fina		0.024
	Grava Gruesa		0.028
Grado de Irregularidad	Suave		0.000
	Menor		0.005

	Moderado	n ₁	0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la Sección Transversal	Gradual	n ₂	0.000
	Ocasionalmente		0.050
	Frecuentemente		0.010-0.015
Efecto Relativo de las obstrucciones	Insignificante	n ₃	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n ₄	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy Alta		0.050-0.100
Grado de los Efectos por Meandro	Menor	m ₅	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: Hidráulica de Tuberías y Canales, Arturo Rocha.

1.7.2.5. Selección del Periodo de Retorno

El periodo de retorno T se define como el tiempo medio en años en que una inundación es igualada o superada por lo menos una vez. (Mejía, 2014).

En hidrología es habitual el uso del valor inverso de la probabilidad, o período de retorno o recurrencia T:

$$T = 1/p$$

$$R = 1 - (1 - 1/t)^n$$

(HURTADO, 2017) Refiere al «Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Drenaje» del MTC acotando los siguientes puntos.

(*) En el caso de puentes:

- Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.

- Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.

Por otro lado, (Mejía, 2012) indica periodos de retorno de acuerdo a los caudales utilizados en proyectos de infraestructura hidráulica y vial.

Tabla I.4

Valores del Tiempo de Retorno para proyectos de obras

ESTRUCTURAS	T (AÑOS)
Caudales del proyecto	
Vertedor de grandes presas	10000
Vertedor de una presa de tierra	1000
Vertedor de una presa de concreto	500
Galería de agua pluviales	5 a 20
Bocatoma	25 a 75
Pequeñas presas para abastecimiento de agua	50 a 100
Puentes en carreteras importantes	50 a 100
Puentes en carreteras comunes	25

FUENTE: Tomado de Mejía (2012)

1.7.3. Parámetros hidráulicos para el diseño de puentes

1.7.3.1. Socavación

La socavación es un fenómeno hidrodinámico, combina diferentes procesos, uno que ocurre a largo plazo y otros durante el paso de las avenidas. Para estimar la socavación, el período de retorno debe ser el mismo que el utilizado en el diseño del puente y para un caudal de no más de 500 años de período de retorno. (Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC, 2019, p.93).

1.7.4. Cálculo hidráulico

El cálculo hidráulico de un puente implica determinar la capacidad hidráulica de la sección de escurrimiento, es decir, verificar si el caudal de diseño pasa de manera adecuada a través del puente. (Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC, 2019, p.100).

1.7.4.1. Cálculo de niveles de agua

Un modelo muy empleado en es el HEC –RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System), este modelo fue desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers y es ampliamente usado en el cálculo de parámetro hidráulicos para el diseño de obras de cruce en cauces naturales.

1.7.4.2. Cálculo de la Socavación

a. Factores que influyen en la socavación.

Factores geomorfológicos

Son las características de la cuenca y el río analizado como:

- ✓ Factores climáticos.
- ✓ Pendiente.
- ✓ Geometría de la sección transversal.
- ✓ Condiciones de borde del canal.

Factores geotécnicos

- ✓ Diámetro de partículas del suelo.

La socavación en lechos de material cohesivo es un fenómeno complejo y no puede ser evaluado según las características del tamaño de la partícula.

b. Tipos de socavación y expresiones matemáticas.

Tabla I.5

Expresiones matemáticas para el cálculo de socavación General y Local

EXPRESIONES MATEMÁTICAS Y TIPOS DE SOCAVACION		
SOCAVACIÓN GENERAL	SOCAVACIÓN LOCAL EN PILARES	SOCAVACIÓN LOCAL EN ESTRIBOS
Método de velocidad crítica y agua clara	Método de Laursen y Toch (1953, 1956)	Método de Liu, Chang y Skinner
Método de Lischtván – Levediev	Método de Neill (1964)	Método de Artamonov
Método de Straub	Método de Larras (1963)	Método de Laursen
Método de Laursen (1995)	Método de Arunachalam (1965, 1967)	Método de Froehlich
	Método de Carsten (1966)	Método de Melville
	Método de Maza – Sánchez (1968)	Método Hire (1993)
	Método de Breusers, Nicollet y Shen (1977)	
	Método de Melville y Sutherland (1988)	
	Método de Froehlich (1991)	
	Método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU)	

De todos estos métodos, los que se emplearon en la presente tesis son: Método de Laursen (1995) y Lischtván–Levediev (socavación general); Método de Artamonov e Hire (1993) (socavación local en estribos); Método de Neill (1964), Froehlich (1991) y el Método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU) (socavación local en pilares).

En base a los resultados del cálculo de socavación se propone la construcción de obras de protección:

Enrocados

- Método de Maynard
- Método de Isbahs

Protección de pilares y estribos

- Método de HEC-18.

1.7.4.2.1. *Socavación General.*

Es aquella que se produce en todo el ancho del cauce cuando ocurre una crecida debido al efecto hidráulico de un estrechamiento de la sección.

a. Método de Laursen (1995).

Considera los casos de socavación en lecho móvil o en agua clara. Es el método más usado en los Estados Unidos de América, (HEC- 18, 1993, 1995).

- Cálculo de la socavación por contracción en lecho móvil

Se usa una versión modificada de la ecuación de Laursen de 1960 (HEC 18, 1993, 1995 y Laursen E. M., 1960). La ecuación asume que el material del lecho es transportado en la sección aguas arriba del puente.

$$\frac{H_s}{h_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{\frac{6}{7}} \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{k_1}$$

Ecuación 1.15. Método de Laursen para socavación por contracción en lecho móvil

Donde:

$H_s - h_2$: Profundidad media de socavación por contracción (m).

H_s : Profundidad media del flujo en el cauce en la sección contraída del puente después de la socavación (m).

h_1 : Profundidad media del flujo en el cauce principal y laderas que transportan sedimentos aguas arriba del puente (m).

h_2 : Profundidad media del flujo en la sección contraída del puente antes de la socavación. Puede usarse h_1 en cauces arenosos con lecho móvil, caso en el que el hoyo dejado por la socavación es rellenado con sedimentos (m).

Q_1 : Caudal en la sección aguas arriba del cauce principal y laderas que transportan sedimentos. No incluye flujo sobre las laderas del río con agua clara (m^3/s).

Q2 : Caudal en la sección contraída del puente y laderas que transportan sedimentos.

No incluye flujo sobre las laderas del río con agua clara (m³/s).

B1 : Ancho del cauce principal y laderas en la sección aguas arriba que transportan sedimentos (m).

B2 : Ancho neto del cauce principal y laderas que transportan sedimentos en la sección contraída sustrayendo el ancho de las pilas (m).

k₁ : Exponente en función del modo de transporte de sedimento, de la velocidad de corte aguas arriba del puente y de la velocidad de caída del material del lecho.

Tabla I.6

Valores del coeficiente k_1 – Método de Laursen

V/w	k_1	Modo de transporte del sedimento de lecho
< 0.50	0.59	Mucho del material en contacto con el lecho
0.50 a 2.0	0.64	Algo de material de lecho suspendido
> 2.0	0.69	Mucho material del lecho suspendido

(FUENTE: HEC-18., 1993)

La velocidad de corte se expresa como sigue:

$$V_* = \sqrt{gh_1 S_1}$$

Donde:

V_* : Velocidad de corte en el cauce principal o ladera en la sección aguas arriba (m/s).

w : Velocidad de caída para D_{50} según la *Figura I.3* (m/s).

g : Aceleración de la gravedad (9.8 m/s²).

S_1 : Gradiente hidráulico en la sección aguas arriba del puente (m/m).

D_{50} : Diámetro de la partícula de lecho en una mezcla cuyo 50% es menor (m).

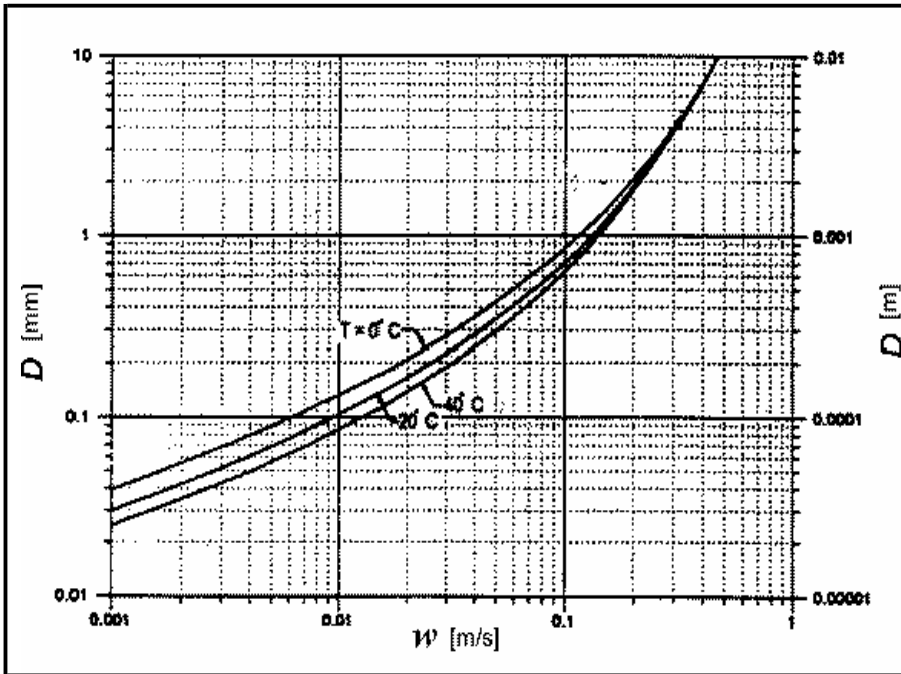


Figura I.3. Velocidad de caída (w) para partículas de arena.
 (Fuente: HEC – 18., 1993).

- **Cálculo de la socavación por contracción en agua clara**

Se usa la siguiente ecuación dada por Laursen:

$$H_S = \left(\frac{0.025 Q_2^2}{D_m^{2/3} B_2^2} \right)^{3/7}$$

Ecuación I.16. Método de Laursen para socavación por contracción en agua clara

La ecuación anterior es una simplificación de la siguiente ecuación también sugerida

por Laursen:

$$H_S = \left(\frac{n^2 Q^2}{K_S (G_S - 1) D_m W^2} \right)^{3/7}$$

Donde:

K_S : Parámetro de Shields igual a 0.039.

G_S : Gravedad específica del material del lecho igual a 2.65.

n : Coeficiente de rugosidad de Manning igual a $0.041 D_m^{1/6}$.

$H_s - h_2$: Profundidad media de socavación por contracción (m).

H_s : Profundidad media del flujo en el cauce en la sección contraída del puente después de la socavación (m).

h_2 : Profundidad existente en la sección contraída del puente antes de la socavación (m).

Q_2 : Caudal a través del puente o en las laderas sin transporte de sedimentos (m^3/s).

D_m : Diámetro medio efectivo del material más pequeño del lecho o en la zona de inundación que no es transportado por el flujo. Si no se tienen datos precisos, $D_m = 1.25D_{50}$ en (m).

B_2 : Ancho efectivo del cauce en el puente descontando el ancho de los pilares (m).

b. Método de Lischvan-Levediev.

Este método es uno de los más utilizados en el Perú para calcular la socavación general debido a su alto grado de confiabilidad, este método se ha empleado en el diseño de la mayoría de puentes de nuestra red vial.

Este método se basa en suponer que el caudal unitario correspondiente a cada franja elemental en que se divide el cauce natural (ver *Figura I.4*) permanece constante durante el proceso erosivo y puede aplicarse, con los debidos ajustes, para casos de cauces definidos o no, materiales de fondo cohesivos o friccionantes y para condiciones de distribución de los materiales del fondo del cauce homogénea o heterogénea.

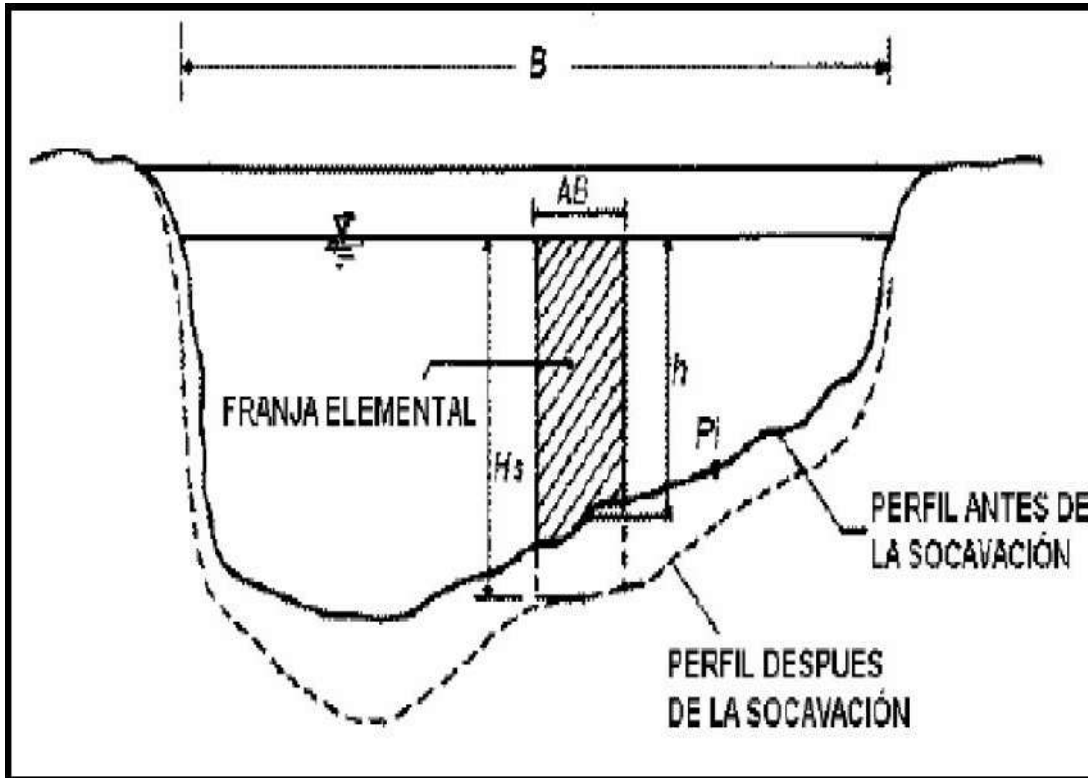


Figura 1.4. Sección transversal del cauce
 (Fuente: Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A. (1992).

Para suelos granulares

Se tiene la siguiente ecuación:

$$H_s = \left[\frac{\alpha h^3}{0.68 \beta D_m^{0.28}} \right]^{\frac{1}{1+z}}$$

La expresión anterior no considera el efecto de la contracción del flujo debida a la presencia de estribos y pilares, ni el peso específico del agua durante la creciente, por lo que debe corregirse mediante unos factores de ajuste cuando se trata de evaluar un puente.

El factor de corrección por contracción μ es menor que 1 y contribuye al incremento de la profundidad de socavación.

En la siguiente tabla se muestra el factor de corrección por contracción del cauce en metros (m):

Tabla I.7
Factor de corrección por contracción del cauce μ

Velocidad media en la sección en m/seg	Longitud libre entre dos estribos												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
Menor de 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.50	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.00	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.50	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.00	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.50	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
4.00 o mayor	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

(Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC, p.97)

V: Velocidad media en la sección transversal. ~: 1.0, Si no hay obstáculos.

Para puentes de una sola luz, la luz libre es la distancia entre estribos. Para puentes de varios tramos, la luz libre es la mínima distancia entre dos pilares consecutivos, o entre el pilar y estribo más próximos.

Adicionalmente, el efecto del peso específico del agua durante la creciente se considera en otro factor de corrección ϕ que es mayor o igual que la unidad y su efecto es reducir la profundidad de socavación.

$\phi = 1.0$, si $\gamma_m = 1.0 \text{ T/m}^3$ (agua clara).

$\gamma_m =$ Peso específico de la muestra agua sedimento.

$\phi = -0.54 + 1.5143\gamma_m$, si $\gamma_m > 1.0 \text{ T/m}^3$ (Lecho móvil).

Coefficiente de correlación o de ajuste= 0.9983, (Higuera C. y Pérez G; 1989).

La ecuación final para el cálculo de la socavación considerando los coeficientes de corrección por contracción y peso específico de agua, es la siguiente:

$$H_s = \left[\frac{\alpha h^{\frac{5}{3}}}{0.68 \beta \mu \varphi D_m^{0.28}} \right]^{\frac{1}{1+z}}$$

Ecuación 1.17. Método de Lischvan Levediev para Profundidad de socavación en suelos granulares

Dónde:

- H_s-h : Profundidad de socavación (m).
- h : Tirante de agua (m).
- D_m : Diámetro característico del lecho (mm).
- β : Coeficiente de frecuencia.
- μ : Factor de corrección por contracción del cauce.
- φ : Factor de corrección por forma de transporte de sedimentos.
- z : Exponente variable de suelos cohesivos y no cohesivos
- α : Coeficiente de sección dependiente de las características hidráulicas
- α : $Q_d / (B_e / h_m^{5/3})$
- Q_d : Caudal de diseño
- B_e : Ancho efectivo de la superficie de agua
- h_m : Profundidad media de la sección

Para la obtención de datos en el método de Lischvan Levediev es necesario el uso de las siguientes tablas:

Tabla I.8

Valores de z para suelos cohesivos y no cohesivos

SUELOS COHESIVOS		SUELOS NO COHESIVOS	
Peso Específico gd (Tn/m^3)	Z	dm (mm)	Z
0.80	0.52	0.05	0.43
0.83	0.51	0.15	0.42
0.86	0.50	0.50	0.41
0.88	0.49	1.00	0.40
0.90	0.48	1.50	0.39
0.93	0.47	2.50	0.38
0.96	0.46	4.00	0.37
0.98	0.45	6.00	0.36
1.00	0.44	8.00	0.35
1.04	0.43	10.00	0.34
1.08	0.42	15.00	0.33
1.12	0.41	20.00	0.32
1.16	0.40	25.00	0.31
1.20	0.39	40.00	0.30
1.24	0.38	60.00	0.29
1.28	0.37	90.00	0.28
1.34	0.36	140.00	0.27
1.40	0.35	190.00	0.26
1.46	0.34	250.00	0.25
1.52	0.33	310.00	0.24
1.58	0.32	370.00	0.23
1.64	0.31	450.00	0.22
1.71	0.30	570.00	0.21
1.80	0.29	750.00	0.20
1.89	0.28	1000.00	0.19
2.00	0.27		

(Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC)

Tabla I.9

Valores del coeficiente b

Periodo de retorno del gasto de diseño (AÑOS)	Coficiente β
2	0.82
5	0.86
10	0.90
20	0.94
50	0.97
100	1.00
300	1.03
500	1.05

(Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC)

1.7.4.2.2. Socavación Local.

a. Socavación local en estribos.

Entre los factores que influyen una socavación local en el estribo tenemos: su forma, la forma de la sección transversal, características del sedimento, profundidad del flujo en el cauce principal y en las márgenes, el caudal que es interceptado por el estribo y retorna al cauce principal, el alineamiento del cauce, el tiempo de duración de la creciente, etc., estos factores no se reflejan en las ecuaciones existentes de una forma correcta. (Manual de Hidrología y Drenaje 2012 p.139).

La *Figura 1.5* ilustra algunos de los casos que se pueden presentar dependiendo de la ubicación del estribo y de los niveles de inundación tanto en la zona del puente como en la sección transversal aguas arriba.

L1 : Longitud entre el borde del cauce principal y la pared del Estribo (izquierdo o derecho)

L2 : Longitud entre el borde del cauce principal y el punto de intersección del agua con la margen.

L : Longitud del estribo que se opone al paso del agua.

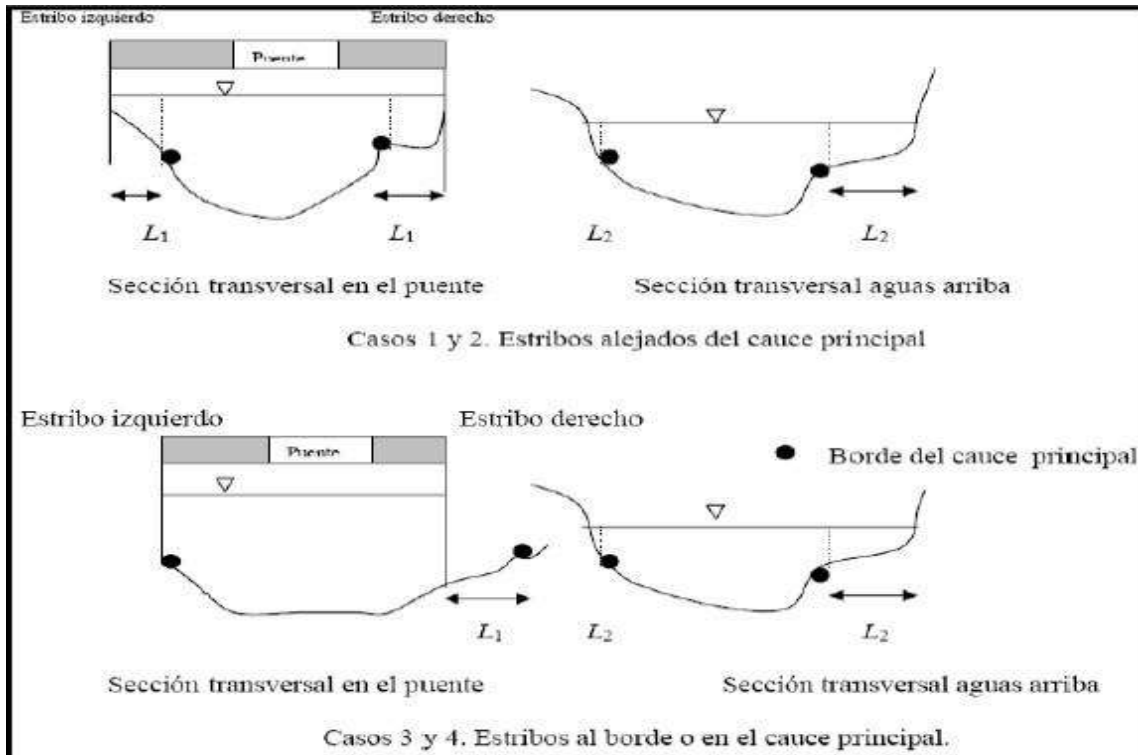


Figura 1.5. Algunos casos de obstrucción de estribos
Fuente: HEC-18. 2001

Las longitudes se consideran positivas cuando se miden desde el borde del cauce principal hacia el exterior y negativas si se miden hacia el interior del cauce.

-Caso 1: Estribo izquierdo, $L_1 > L_2$

$L = L_1 - L_2$, es negativo y por lo tanto el estribo no obstruye el paso del agua, se asume $L = 0$

Caso 2: Estribo derecho, $L_2 > L_1$

$L = L_1 - L_2$

Caso 3: Estribo izquierdo, $L_1 = 0$

$L = L_2 - L_1 = L_2$

Caso 4: Estribo derecho, L_1 negativo

$L = L_2 - (-L_1)$

$L = L_2 + L_1$

a.1. Método de K. F. Artamonov.

Suele ser usado cuando existen limitaciones en la amplia información que otros métodos suelen requerir. Al respecto el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC (2012) textualmente afirma: “Este método permite determinar no solamente la profundidad de socavación que se produce al pie de estribos sino también al pie de espolones o espigones” (p.154). Depende de los siguientes factores:

- Porción del caudal que es interceptado por la estructura al meterse dentro de la corriente Q_1 o Q_2 (Figura I.6).
- Talud que tienen los lados del estribo (mH: 1.0V).
- Ángulo entre el eje longitudinal del puente y la corriente (α).

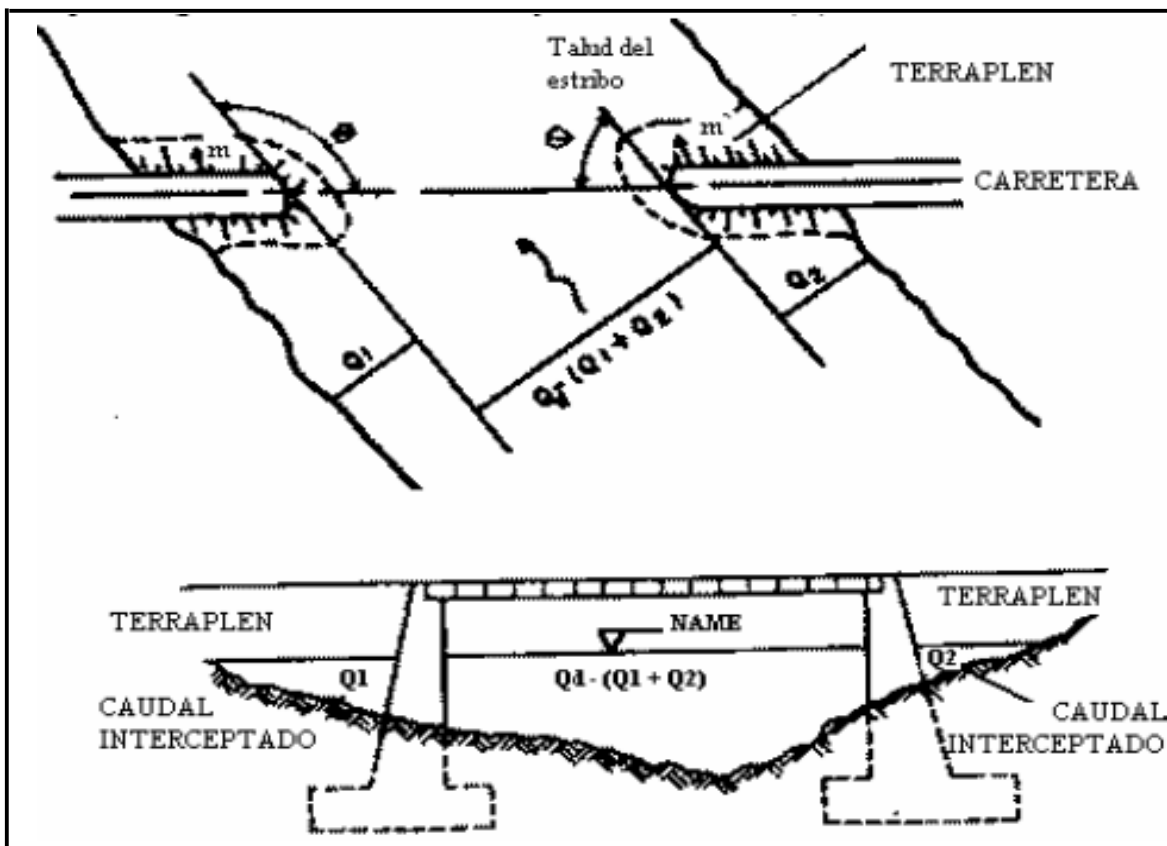


Figura I.6. Intersección del flujo por los estribos. Método de ARTAMONOV (Fuente: Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A; 1002).

$$H_T = k_\theta * K_Q * K_m * h$$

Ecuación I.18. Método de K. F. Artamonov para profundidad de socavación.

Dónde:

H_t : Profundidad del agua al pie del estribo o espigón medida desde la superficie libre de la corriente.

K_θ : Coeficiente que depende del ángulo que forma la corriente con el eje longitudinal del puente.

K_Q : Coeficiente que depende de la relación entre el gasto teórico interceptado por el estribo Q1 o Q2 y el caudal total Qd que escurre por la sección transversal.

K_m : Coeficiente que depende del talud que tienen los lados del estribo.

h : Tirante de agua en la zona cercana al estribo o al espigón antes de la socavación.

Para la obtención de datos en el método de K. F. Artamonov es necesario el uso de las siguientes tablas:

Tabla I.10

Valores del coeficiente correctivo k_θ

θ	20°	60°	90°	120°	150°
k_θ	0.84	0.94	1.00	1.07	1.19

(Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC)

Tabla I.11

Valores del coeficiente correctivo K_Q

Q1/Q	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
K_Q	2.00	2.65	3.22	3.45	3.67	3.87	4.06	4.20

(Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC)

Tabla I.12

Valores del coeficiente correctivo K_m

Talud m	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00
K_m	1.00	0.91	0.85	0.83	0.61	0.50

(Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC)

La siguiente ecuación se usa cuando el puente no está sesgado respecto al flujo ($\Theta=90^\circ$) y la pared de los estribos es vertical.

$$H_T = K_Q \cdot h$$

a.2. Método de Hire (1993).

HEC-18 (1993), incluye otra ecuación desarrollada a partir de datos del Cuerpo de Ingenieros Militares de los Estados Unidos para la socavación que se produce en la punta de los espigones o espolones construidos en el río Mississippi. La ecuación HIRE es por lo tanto aplicable cuando el estribo penetra en el cauce principal.

$$y_s = 4h \left(\frac{K_f}{0.55} \right) k_\theta Fr^{0.33}$$

Ecuación I.19. Método de Hire para profundidad de socavación en estribos

Donde:

y_s : Profundidad de socavación (m).

h : Profundidad media del flujo al pie del estribo en el Cauce principal, considerando la sección transversal inmediatamente aguas arriba del puente (m).

Fr : Número de Froude basado en la velocidad y profundidad al pie justo aguas arriba del estribo.

K_f : Factor de corrección por forma del estribo.

k_θ : Factor de corrección por ángulo de ataque del flujo.

b. Socavación local en pilares.

La geometría del pilar tiene una gran importancia en la profundidad de socavación; respecto a esto, Rocha (2013) afirma: “El ancho del pilar es sumamente

importante en el cálculo de la socavación. Se sabe que mientras mayor sea el ancho del pilar (entendiendo como tal su dimensión en el sentido normal al de la corriente), mayores serán las posibilidades de una socavación más intensa. De acá que haya que preferir pilares delgados” (p.16).

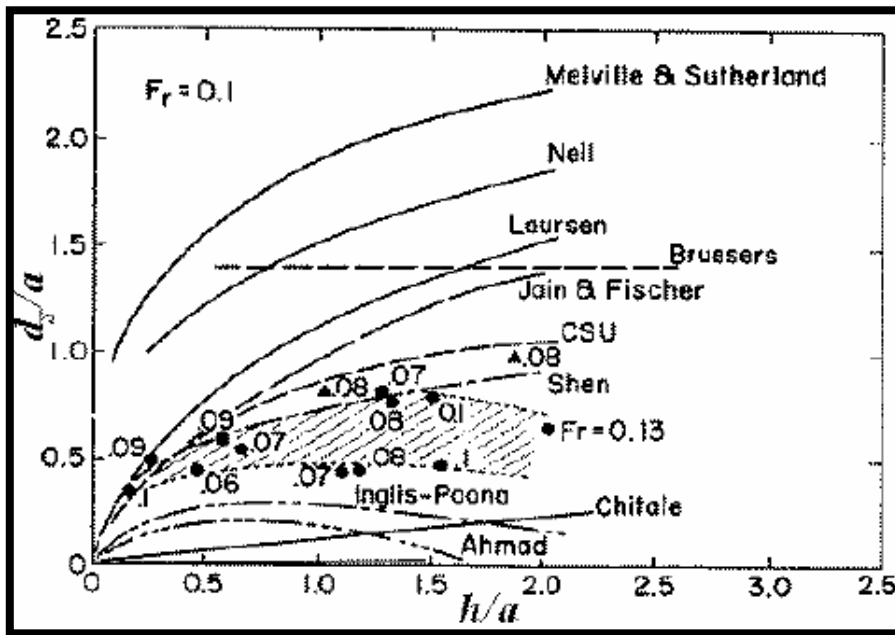


Figura I.7. Comparación de ecuaciones para el cálculo de la socavación local con socavaciones medidas en campo según Jones. (Fuente: HEC – 18., 1993).

Cabe anotar que el método desarrollado por la Universidad Estatal de Colorado (CSU) da valores intermedios con relación a otras ecuaciones, tal como se ilustra en la Figura I.7 que presenta resultados obtenidos aplicando diferentes fórmulas y algunos obtenidos de mediciones de campo, (HEC 18, 1993).

b.1. Método de Colorado State University (CSU).

En este método de la Universidad de Colorado, la socavación local en pilares de puentes está en función de las propiedades del fluido, del tamaño, las características del flujo, del material del lecho y de la geometría del pilar. Esta ecuación, recomendada por el reporte HEC 18 y utilizada en el HEC RAS, se utiliza para un lecho activo en corrientes

de lechos arenosos no cohesivos.

La ecuación del CSU predice la profundidad de socavación en pilares y se utiliza tanto para socavación por agua clara como para socavación con transporte continuo de sedimentos. La expresión es la siguiente:

$$\frac{y_s}{h} = 2.0K_f K_\phi K_c K_a \left(\frac{h}{a}\right)^{0.65} Fr^{0.43}$$

Ecuación I.20. Método de CSU para profundidad de socavación en pilares.

Donde:

y_s : Profundidad de socavación, medida desde el lecho, m.

h : Profundidad de flujo directamente aguas arriba del pilar, m.

Se toma como la profundidad de la lámina de agua justo aguas arriba de la sección del puente.

K_f : También denominado K1 es el factor de corrección por la forma de la nariz del pilar (Tabla I.13).

K_ϕ : También denominado K2 es el factor de corrección por ángulo de ataque de la corriente (Tabla I.14).

K_c : También denominado K3 es el factor de corrección por las condiciones del lecho (Tabla I.15).

K_a : También denominado K4 es el Factor de corrección por acorazamiento del sedimento del lecho.

a : Ancho del pilar m.

L : Longitud del pilar, m.

Fr : Número de Froude justo aguas arriba del pilar. Se toma de las condiciones de flujo de la sección aguas arriba del puente.

$$Fr = V/(gh)^{1/2}$$

V : Es la velocidad media de flujo en la sección aguas arriba del pilar. m^2/s

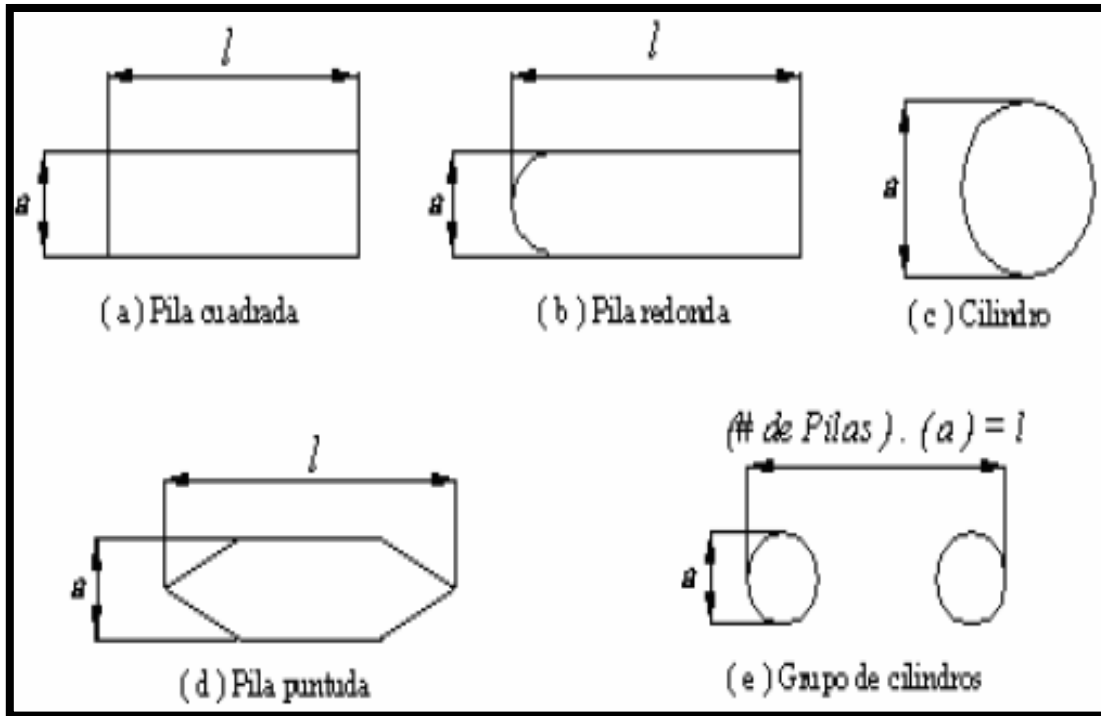


Figura I.8. Formas típicas de pilares de puentes.
 (Fuente: HEC-18, 1993).

Tabla I.13

Factor de corrección K_f por la forma de la nariz del pilar

FORMA DE LA NARIZ DEL PILAR	K_f
a) Nariz cuadrada	1.1
b) Nariz redondeada	1,0
c) Cilindro circular	1,0
d) Nariz triangular	0,9
e) Grupo de cilindros	1,0

(Fuente: HEC-18, 1993).

El factor de corrección K_f se determina usando la tabla anterior cuando el ángulo de ataque es menor que 5° . En otro caso, K_ϕ domina para ángulos mayores por lo que K_f debe ser tomado igual a 1.0. K_f debe usarse solamente cuando las condiciones del flujo influyen sobre toda la longitud del pilar pues el factor de corrección podría ser menor en otros casos.

Tabla I.14

Factor de corrección K_{ϕ} ángulo de ataque de la corriente

Ángulo de ataque	L/a = 4	L/a = 8	L/a = 12
0°	1,0	1,0	1,0
15°	1,5	2,0	2,5
30°	2,0	2,75	3,5
45°	2,3	3,3	4,3
90°	2,5	3,9	5,0

ϕ = Ángulo ataque de la corriente en grados L/a = Elongación del pilar.

(Fuente: HEC-18, 1993).

Si l/a es mayor que 12, se usan los valores correspondientes a $l/a = 12$ como máximos.

$$K_{\phi} = \left(\cos\theta + \frac{L}{a} \sin\theta \right)^{0.65}$$

Tabla I.15

Factor de corrección K_c por condiciones del lecho

CONDICIONES DEL LECHO	ALTURA DE DUNA H (PIES)	K_c
Socavación por agua clara	N/A	1,1
Lecho plano y flujo	N/A	1,1
Antiduna	2 < H < 10	1,1
Pequeñas dunas	10 < H < 30	1,1 -1,2
Dunas medias	H > 30	1,3
Dunas grandes		

(Fuente: HEC-18, 1993).

Se recomienda usar un valor de K_c igual a 1.1 considerando que el lecho tiende a ser plano durante crecientes.

El factor de corrección K_a disminuye la profundidad de socavación por acorazamiento del hoyo de socavación para materiales del lecho con D_{50} mayor o igual a 2 mm o D_{95} mayor o igual a 20 mm ($D_{50} \geq 0.002$ m o $D_{95} \geq 0.02$ m).

Tabla I.16

Criterios para adoptar K_a .

$D_{50} < 2$ mm o $D_{95} < 20$ mm	$K_a = 1.0$
$D_{50} \geq 2$ mm y $D_{95} \geq 20$ mm	$K_a = 0.4(V_R)^{0.15}$

(Fuente: HEC-18, 2001).

La expresión para obtener el factor K_a es la siguiente:

$$K_a = 0.4(V_R)^{0.15}$$

$$V_R = \left[\frac{V_1 - V_{icD50}}{V_{cD50} - V_{icD95}} \right] > 0$$

$$V_{icDx} = 0.645 \left(\frac{D_x}{a} \right)^{0.053} V_{cDx}$$

Donde:

V_R : Relación de velocidades.

V_1 : Velocidad de aproximación aguas arriba del pilar, (m/s).

V_{icDx} : Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_x de las partículas de sedimento, (m/s).

V_{ic95} : Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_{95} de las partículas de sedimento (m/s).

V_{ic50} : Velocidad de aproximación requerida para iniciar socavación en el pilar para el tamaño D_{50} de las partículas de sedimento (m/s).

V_{cDx} : Velocidad crítica para iniciar movimiento de partículas de tamaño D_x del material del lecho (m/s).

V_{cD50} : Velocidad crítica para iniciar movimiento de partículas de tamaño D_{50} del material del lecho (m/s).

a : ancho del pilar (m).

Además:

$$V_{cDx} = 6.19h^{1/6}D_x^{1/}$$

D_x : Tamaño de la partícula de tal manera que x por ciento del material del lecho es

más fino. (m).

h : Profundidad del agua aguas arriba del pilar sin incluir la socavación local (m).

Se debe tener en cuenta que el valor mínimo de K_a es 0.4.

b.2. Método de Neill (1964).

La ecuación resultante del ajuste de datos experimentales obtenidos por Laursen y Toch para socavación en pilares circulares y rectangulares, fue expresada por Neill. Este método arroja los resultados más conservadores para el cálculo de la socavación local en pilares. Al respecto el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC (2012) textualmente afirma: “Esta ecuación es utilizada por que proporciona la máxima profundidad de socavación que se espera para cualquier velocidad”.

Su fórmula es:

$$Y_S = 1.5 * (a'')^{0.7} * h^{0.3}$$

Ecuación I.21. Método de Neill para cálculo de socavación en pilares.

Dónde:

Y_s: Profundidad de socavación medida a partir del fondo del cauce (mm)

a'': Ancho proyectado del pilar (m)

h: Profundidad del flujo aguas arriba del pilar (m)

Para pilares de nariz redondeada, el coeficiente puede ser 1.2 en vez de 1.5 en la ecuación anterior.

b.3. Método de Froehlich (1991).

Una ecuación desarrollada por el Dr. David Froehlich es usada por el programa HEC-RAS (1998) como una alternativa a la ecuación de la Universidad Estatal de Colorado.

$$y_s = 0.32K_f (a')^{0.62} h^{0.47} Fr^{0.22} D_{50}^{-0.09} + a$$

Ecuación I.22. Método de Froehlich para profundidad de socavación en pilares.

Donde:

y_s : Profundidad de socavación local, (m).

K_f : Factor de corrección por la forma del pilar. Tabla I.17

a' : Ancho proyectado del pilar con relación al ángulo de ataque del flujo, (m).

a : Ancho del pilar adicionado como un factor de seguridad, (m).

h : Profundidad del flujo aguas arriba del pilar, (m).

Fr : Número de Froude en la sección directamente aguas arriba del pilar.

D_{50} : Diámetro de la partícula de lecho en una mezcla cuyo 50% es menor, (m).

Para pilares con punta circular alineadas con el flujo se tiene:

$$y_s \leq 2.4a \text{ para } Fr \leq 0.8$$

$$y_s \leq 3.0a \text{ para } Fr > 0.8$$

Si la profundidad de socavación se analiza para un caso particular, Froehlich sugiere que no se adicione el factor de seguridad “ a ” al final de la ecuación. El programa HEC-RAS (1998) siempre adiciona este factor de corrección.

Tabla I.17

Factor de corrección K_f

FORMA DEL PILAR	k_f
Punta cuadrada	1.3
Pilar con punta circular	1.0
Pilar con punta aguda o triangular	0.7

(Fuente: HEC-18, 2001).

1.7.5. Obras de protección de ríos y puentes

Las medidas de protección se utilizan para controlar, retrasar, minimizar o monitorear los problemas de estabilidad de puentes y cauces. La solución al problema de socavación en los puentes debe comenzar con el estudio de sus causas, incluidos los aspectos desestabilizadores desde el punto de vista topográfico, hidrológico, hidráulico, estructural

y del suelo.

1.7.5.1. Diseño del enrocado

Los enrocados son protecciones en fragmentos de roca o piedra que se colocan en los canales de tierra y cauces naturales. Están compuestos por una capa de material bien gradado, duradero, angular o redondeado, con mortero o suelto, sin o sobre filtros de arena y gravilla o geotextiles, (HIMAT, 1985).

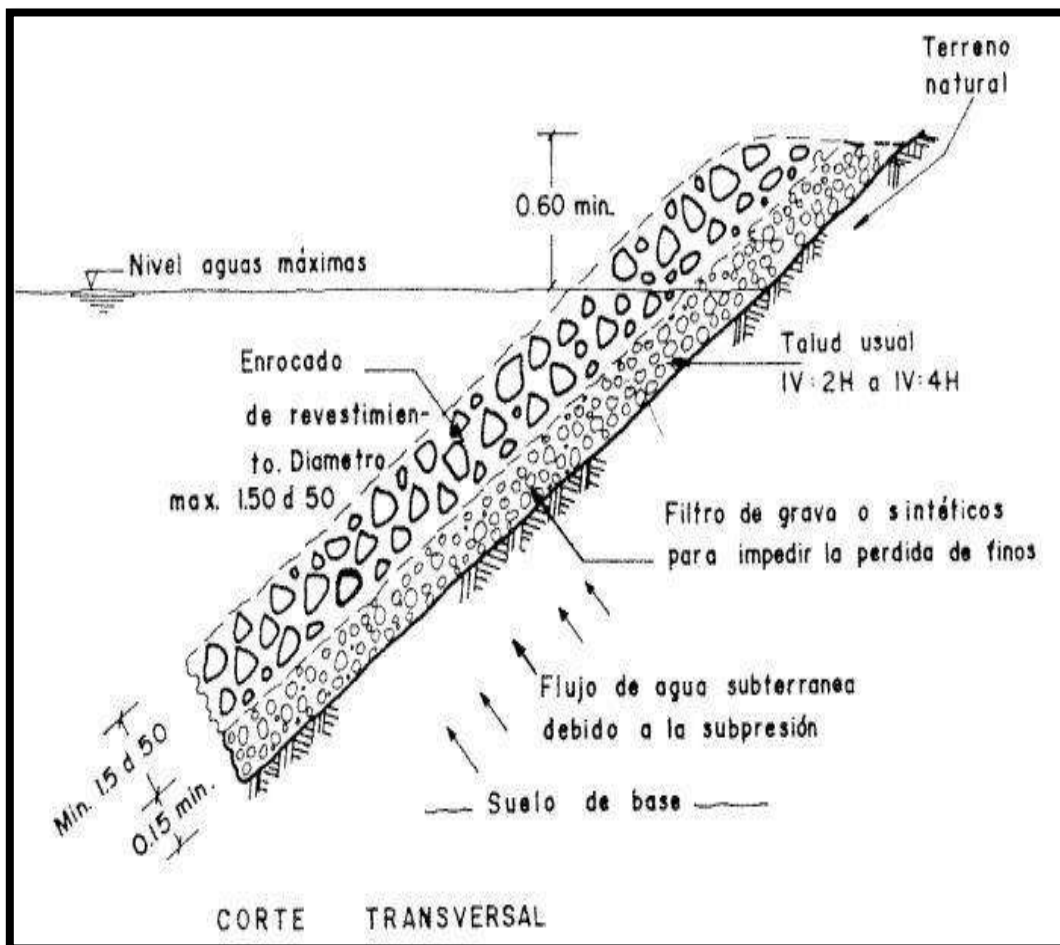


Figura I.9. Protección con enrocados
Fuente: Universidad del Cauca.

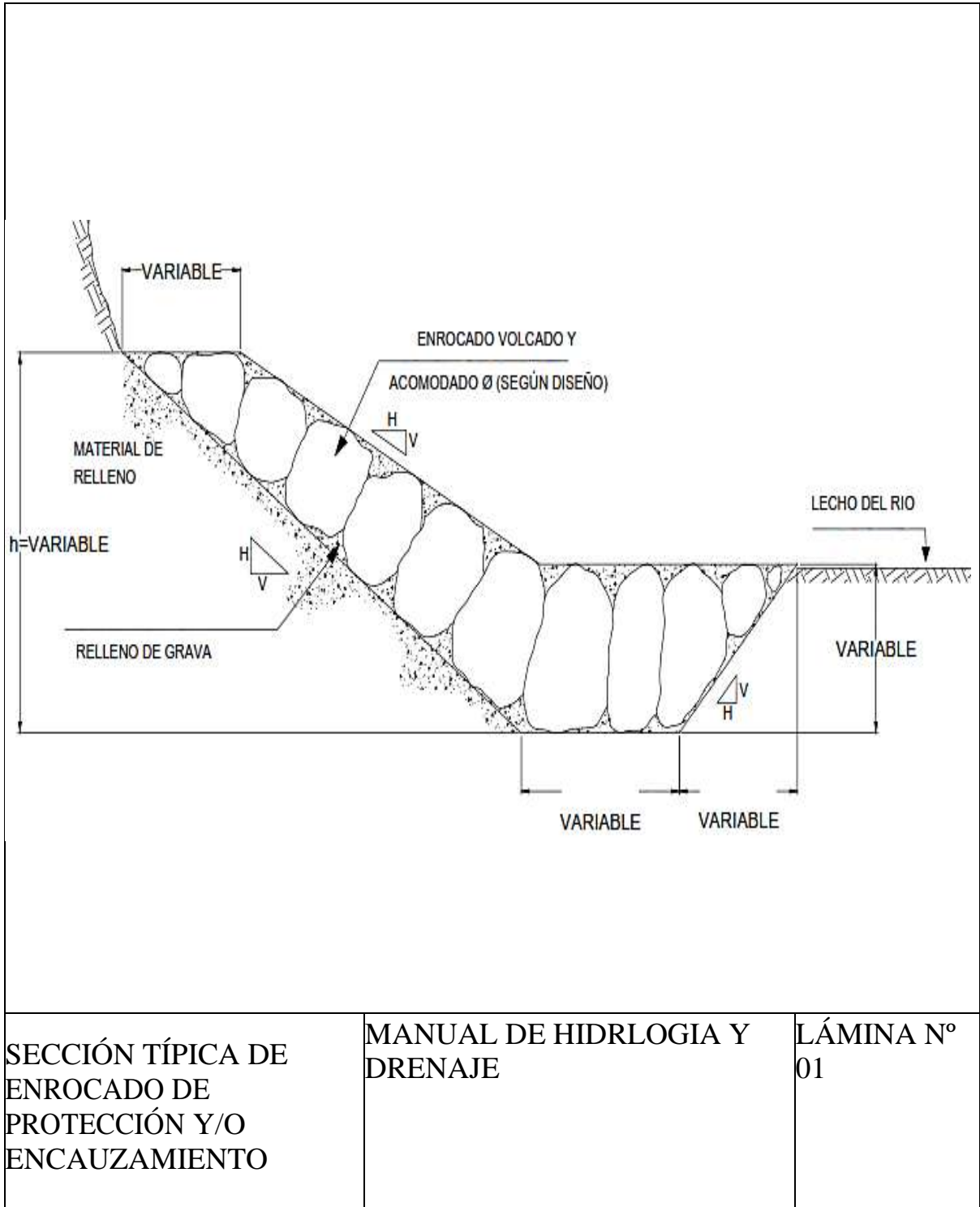


Figura 1.10. Sección típica de enrocado de protección y/o encauzamiento
 Fuente: Manual de Hidrología y Drenaje 2019

a. Método de Maynard.

$$d_{50} = C_1(yF^3)$$

Ecuación 1.23. Método de Maynard para Dm de roca para enrocados.

$$F = C_2 \left(\frac{V}{\sqrt{gy}} \right)$$

Donde:

d_{50} : Diámetro medio de las rocas.

y : Profundidad de flujo

V : Velocidad media del flujo.

F : Número de Froude

C_1 y C_2 : Coeficientes de corrección.

Los valores recomendados de C_1 y C_2 se muestran a continuación:

$$C_1 \begin{cases} 0.28 & \text{Fondo plano} \\ 0.28 & \text{Talud } 1V : 3H \\ 0.32 & \text{Talud } 1V : 2H \end{cases}$$

$$C_2 \begin{cases} 1.5 & \text{Tramos en curva} \\ 1.25 & \text{Tramos rectos} \\ 2.0 & \text{Extremos de espigones} \end{cases}$$

b. Método de Isbabs.

$$d_{50} = 0.58823 \frac{V^2}{wg}$$

Ecuación 1.24. Método de Isbabs para Dm de roca para enrocados.

1.7.5.2. Gaviones

Los gaviones son cajas de alambre galvanizado ensambladas in situ y rellenas con piedras, generalmente obtenidas del lecho del río.

a. Protección de pilares y estribos.

Según Martin Vide 2003, en su libro “Ingeniería de Ríos” menciona que los mantos de escollera alrededor de los pilares son la medida más frecuente de prevención frente a la socavación local, además, es económica, eficaz y relativamente independiente del proyecto del puente, puede servir como remedio a posteriori ante una erosión imprevista. La facilidad de reposición, vertiendo nueva escollera, permite intensificar la protección, suplementarla o salvar un déficit de material. Los mantos de escollera se deben inspeccionar y mantener. Otra propiedad importante del manto de escollera es su flexibilidad permitiéndole adaptarse a erosiones, asentamientos, etc.

El manto de escollera se debe colocar donde efectivamente proteja la socavación local y no en el fondo del cauce donde se produce la socavación general por contracción, ésta ya se considera perdida, si la escollera se coloca superficialmente esta generaría un obstáculo, entonces se desprendería o se desmantelaría.

La flexibilidad del manto de escollera le permite adaptarse a pequeños movimientos, sin quedar descompuesto, esto le da un margen de seguridad en el caso de avenidas extraordinarias, más sabiendo la incertidumbre existente por los cálculos de socavación general, aun con reajustes y desplazamientos, el manto puede soportar un descenso mayor a lo que se tuvo previsto, “tapizando” los taludes y defendiendo los pilares.

Para el dimensionamiento de mantos de escollera desde el punto de vista hidráulico, se tienen las siguientes consideraciones:

- La colocación del manto de escollera debe efectuarse por lo menos hasta la profundidad que alcanza la socavación general y por contracción y en lo posible hasta una profundidad de tal manera que no se desarrolle la socavación local.
- Para realizar el dimensionamiento de los fragmentos de roca a usar en la escollera

existen varios métodos, en esta tesis se describirá el método de Maza Álvarez y el método del HEC-18.

- Extender el ancho de la escollera al menos 2.5 veces el ancho del pilar, medido desde la cara externa del pilar en forma de aureola alrededor de éste.

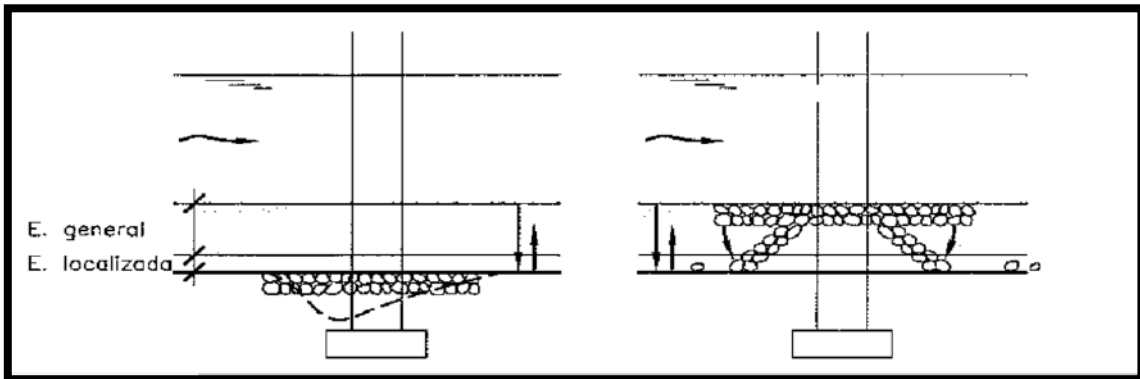


Figura 1.11. Posición correcta e incorrecta de un manto de escollera.
 Fuente: Ingeniería de Ríos (Martin Vide 2003, p. 258)

En pilares alargados sometidos a corrientes oblicuos, es necesario aumentar la anchura de la aureola y también el peso de la escollera, por lo menos en el lateral “a sotavento” y en la cara posterior (aguas abajo), que son afectados por grandes sistemas de vórtices.

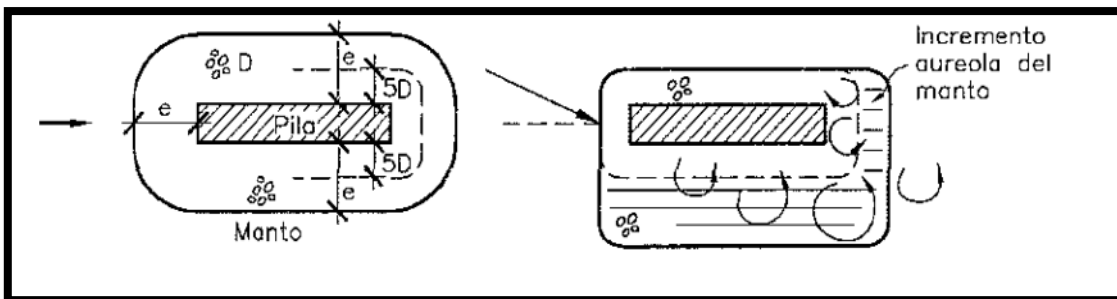


Figura 1.12. Posición y dimensiones de un manto de escollera alrededor de un pilar
 Fuente: Ingeniería de Ríos (Martin Vide 2003, p. 259)

La anterior imagen presenta un caso general y en el de un pilar delgado con corriente oblicua. El manto de escollera también es usado para proteger la socavación local en estribos de puentes.

a.1. Método de Maza Álvarez (1989).

$$D_m = \frac{135V}{\gamma_s^{1.03} (y^{1/(2+y)} - 0.15V)}$$

Ecuación 1.25. Método de Maza Álvarez para D_m de roca para gaviones.

Donde:

D_m : Diámetro medio de la roca (m).

V : Velocidad media del flujo ($V < 4.5\text{m/s}$).

y : Tirante de flujo (m).

γ_s : Peso específico del material de protección (Kg/m^3).

a.2. Método propuesto en HEC-18 (1993).

Según HEC-18 (1993), el enrocado no es una medida permanente para proteger pilares contra socavación y no debe ser empleado para puentes en construcción, ya que las nuevas estructuras deben proyectarse para ser estables.

$$D_{50} = \frac{0.692(KV)^2}{2g(G_s - 1)}$$

Ecuación 1.26. Método de HEC-18 para D_m de roca para gaviones.

Donde:

D_{50} : Diámetro medio de la roca (m).

K : Coeficiente de forma del pilar

($K = 1.5$ para pilares con nariz redondeada, $K = 1.7$ para pilares con nariz rectangular).

V : Velocidad de flujo sobre el pilar (m/s).

g : Aceleración de la gravedad (m/s^2).

G_s : Densidad relativa de la roca, usualmente 2.65.

Para determinar la velocidad sobre el pilar cuando no se tengan valores puntuales,

la velocidad media del cauce ($V_m = Q / A$) se multiplica por un coeficiente que va desde 0.9 para pilares ubicados próximos a las llanuras de inundación en ríos rectos hasta 1.7 para pilares próximos a la curvatura externa del río.

1.7.6. Modelamiento hidráulico

1.7.6.1. Hidráulica Básica del flujo

Según Chow (1985), la aplicación de los principios básicos de conservación de masa, de momentum y energía para un sistema de flujo se lleva a cabo utilizando un volumen de control, que es una referencia tridimensional a través de la cual circula el fluido.

1.7.6.1.1. Tipo de flujo.

La siguiente clasificación se realiza de acuerdo con el cambio en la profundidad del flujo con respecto al espacio y al tiempo. (Chow 1985).

a. Flujo permanente.

Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente cuando está en una sección del canal permanente constante con respecto al tiempo las características hidráulicas del flujo (tirante, velocidad promedio, caudal, etc.)

b. Flujo no permanente.

Un flujo en un canal abierto es no permanente o no estacionario en una sección del canal no permanecen constantes con respecto al tiempo las características hidráulicas del flujo (tirante, velocidad promedio, caudal, etc.).

El movimiento del agua en la naturaleza normalmente presenta una variación en el caudal a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el tipo general de movimiento que producirá será el llamado no permanente o no estacionario, también llamado gradualmente variado.

1.7.6.1.2. Clasificación dimensional del flujo.

Según Ayala (2014), La clasificación dimensional del flujo de una, dos o tres dimensiones depende del número de coordenadas espaciales específicas para especificar el campo de velocidades.

a. Flujo unidimensional.

Es un flujo en el que el vector velocidad solo depende de una variable espacial, es decir, se desprecian los cambios de velocidad transversales a la dirección principal de la escorrentía. Estos flujos ocurren en tuberías largas y rectas o entre placas paralelas (Ayala 2014).

b. Flujo bidimensional.

Es un flujo en el que el vector velocidad solo depende de dos variables espaciales. En este tipo de flujo se supone que todas las partículas fluyen en planos paralelos a lo largo de caminos idénticos si los planos se comparan entre sí, no existe; por lo tanto, cualquier cambio de dirección perpendicular a los planos. (Ayala 2014).

c. Flujo tridimensional.

El vector velocidad depende de tres coordenadas espaciales, es el caso más general en que las componentes de la velocidad en tres direcciones mutuamente perpendiculares son función de las coordenadas espaciales x , y , z , y del tiempo t . Ayala (2014), además, menciona que es el flujo más complejo matemáticamente.

El vector velocidad es el que define la dirección de flujo y también la dimensionalidad; en la *Figura 1.13* se muestra la representación esquemática dimensional del flujo.

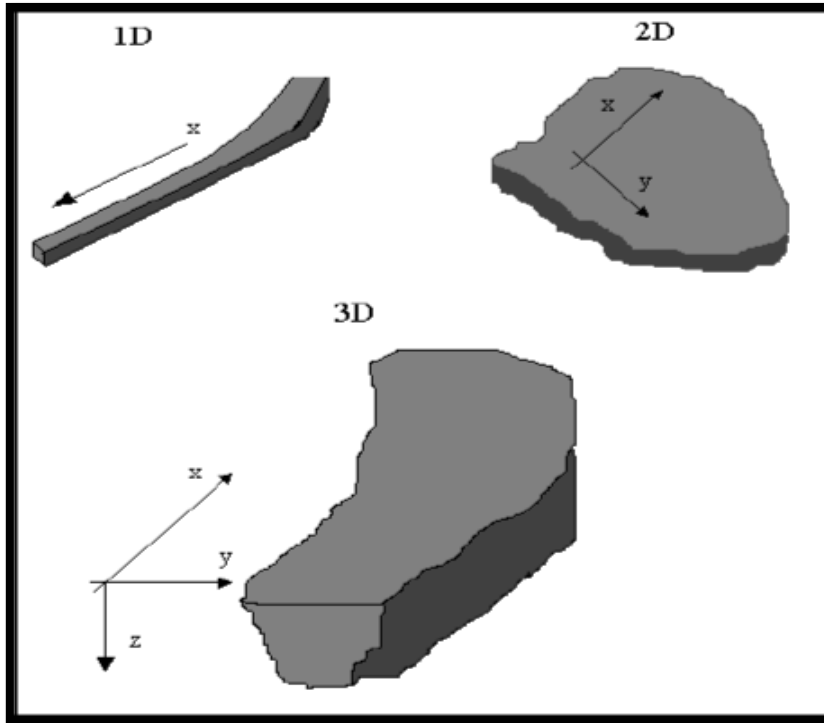


Figura 1.13. modelos hidráulicos 1D, 2D y 3D
 Fuente: Adaptado de Hurtado (2017)

1.7.6.1.3. Ecuaciones fundamentales en flujo no permanente.

Bladé y Gómez (2006), indican que, para modelar la propagación de las inundaciones en los ríos, deben resolverse las ecuaciones del flujo variable de agua en lamina libre o las ecuaciones de Saint Venant. Estas ecuaciones se deducen de las ecuaciones de las leyes físicas de conservación que gobiernan el flujo de un fluido en general.

Suponiendo algunos supuestos en el análisis de un fluido incompresible e isotrópico, como el agua, se obtienen las ecuaciones de Navier-Stokes para el movimiento instantáneo, y de ellas, se deducen las variables en el tiempo, las ecuaciones de Reynolds. Su resolución requeriría una discretización tridimensional del dominio del estudio y el esquema numérico sería complejo, pero sobre todo muy costoso computacionalmente.

Bladé y Gómez (2006), señalan que la mayoría de las veces el flujo de agua en los cauces naturales presenta algunas características que permiten simplificar estas ecuaciones más generales y obtener resultados suficientemente precisos con un menor costo.

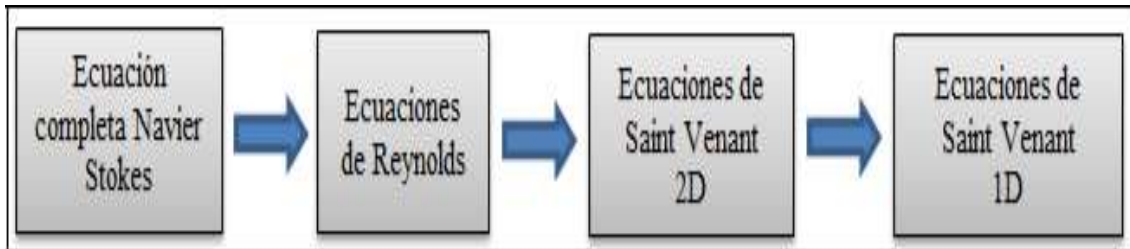


Figura 1.14. Simplificaciones de las ecuaciones básicas del flujo.

Fuente: Adaptado de Hurtado (2017)

a. Ecuaciones de Saint Venant 1D.

Cunge (1980), menciona que de las ecuaciones unidimensionales se obtienen conclusiones más fácilmente y luego se pueden extender a ecuaciones bidimensionales.

Para obtener las ecuaciones de Saint Venant 1D se tienen 2 opciones:

- ✓ A partir de las ecuaciones bidimensionales suprimir las dependencias de la dimensión y , lo que equivaldría a hacer un promedio en la anchura; esto sólo es factible para cauces rectangulares.
- ✓ Deducir directamente las ecuaciones utilizando las leyes de conservación de la masa y de la cantidad de movimiento. El segundo camino se puede aplicar a cauces de sección arbitraria, incluso no prismáticos, mientras se pueda considerar cierta la hipótesis de unidimensionalidad, es más ilustrativo sobre el significado de los distintos términos de las ecuaciones, y se puede consultar en distintas fuentes.

Las ecuaciones de Saint Venant para canal no prismático que resultan son:

$$U + \frac{\partial}{\partial x} F = H$$

Donde:

$$U = \left(\frac{A}{Q}\right); F = \left(\frac{Q^2}{A} + gl_1\right); H = \left(gl_2 + gA(S_0 - S_f)\right)$$

Si en las ecuaciones unidimensionales para cauces no prismáticos incorporamos la ecuación de continuidad en la del movimiento, podemos obtener otra forma de las mismas ecuaciones, la forma no conservativa, como:

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

Ecuación 1.27. Ecuación Unidimensional de Saint Venant 1D.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A}\right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gA(S_0 - S_f)$$

Ecuación 1.28. Ecuación Unidimensional de Saint Venant 1D.

Las ecuaciones unidimensionales de Saint Venant Ecuación 1.27 y Ecuación 1.28 constituyen un sistema de ecuaciones diferenciales parciales con dos variables independientes x y t y dos variables dependientes h y Q .

Donde “ t ” es el tiempo y “ x ” es el espacio a lo largo del cauce, A es el área de la sección transversal, Q es el caudal circulante, g es la constante de aceleración de la gravedad, h es la elevación de la superficie de agua respecto a un nivel de referencia, tal que $\partial h / \partial x = \partial y / \partial x - S_0$ en el cual y es el tirante del flujo y S_0 es la pendiente de fondo del tramo del río y S_f es la pendiente de fricción que puede ser evaluado mediante la ecuación empírica de Manning o Chezy en flujo uniforme permanente.

$$S_f = \frac{Q^2}{K^2} = \frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}}$$

$$K = \frac{A^2 R^{4/3}}{n^2}$$

1.7.6.2. Modelación de inundaciones

Algunos criterios antes de realizar la modelación hidráulica en ríos para el control de inundaciones y solución de problemas en dinámica de fluidos en general son:

- **Selección del modelo**

Definir el nivel de aproximación de la realidad que queremos simular. Modelo en 1D, 2D o 3D.

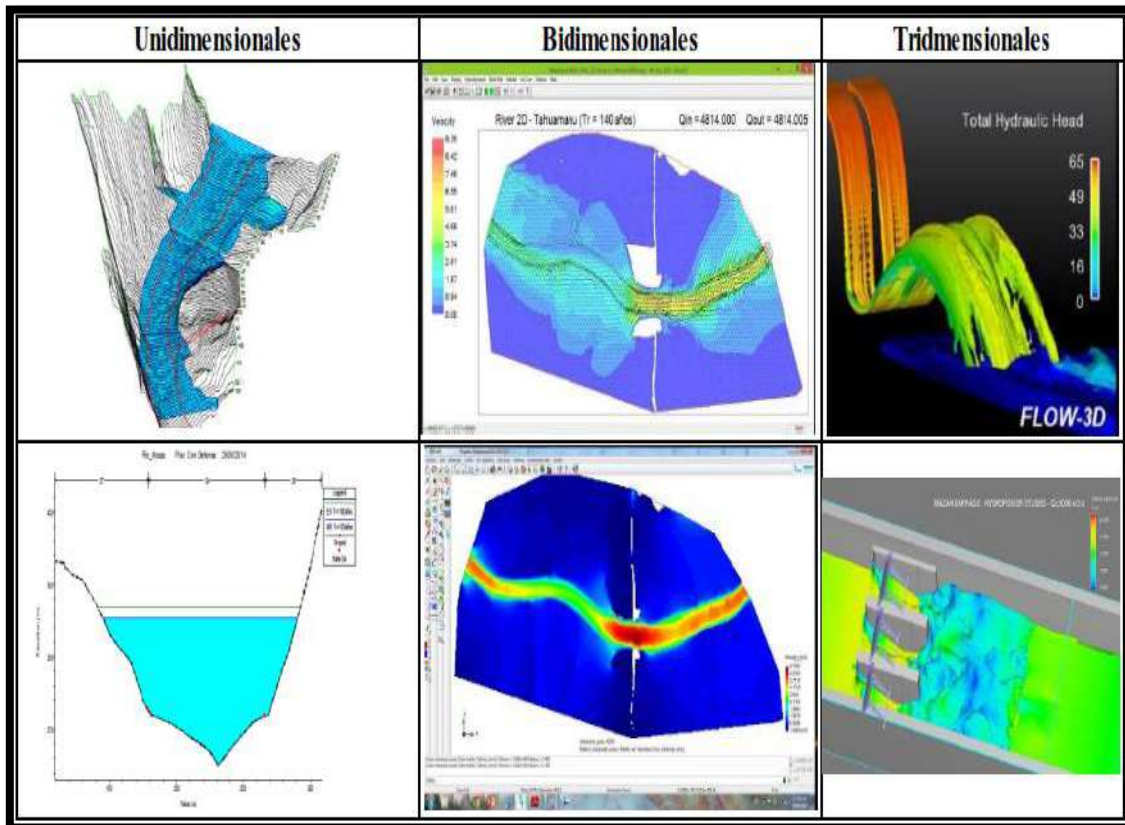


Figura I.15. Modelos hidráulicos 1D, 2D y 3D.

Tabla I.18

Programas para Modelamiento Hidráulico

Modelos Unidimensionales	Modelos Bidimensionales	Modelos Tridimensionales
HEC-RAS	HEC-RAS	SSIIM-CFD
HEC2	SMS SED 2D	FLOW-3D
RIVERCAD	RIVER 2D	DELFT 3D
ISIS	BRI-STARS	CH3D-SED
MIKE 11	G-STARS	TRISULA
WSPRO	HYDRO 2D	
HEC-6	RAM-2	
SEDIMOD	CCHE 2D	
FLUVIAL-11	DELFT 2D	
DAMBRK		
SOBEK		

Fuente: Universidad del Cauca- CRC-INGEOMINAS, (2005).

1.7.6.3. Modelación hidráulica con HEC RAS

Según Chero W. (2015), HEC-RAS permite la modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente.

Tabla I.19

Evolución del tipo de modelización y herramientas de HEC-RAS

Versión HEC-RAS	Modelo 1D	Modelo Cuasi-2D	Modelo 2D	Flujo Permanente	Flujo No Permanente	Análisis de Transporte de Sedimentos	Análisis de Calidad de Agua
2.2	✓			✓			
3.1.3	✓			✓	✓		
4.1.0	✓	✓		✓	✓	✓	✓
5.0.3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: Tomado de Lluén Chero (2015)

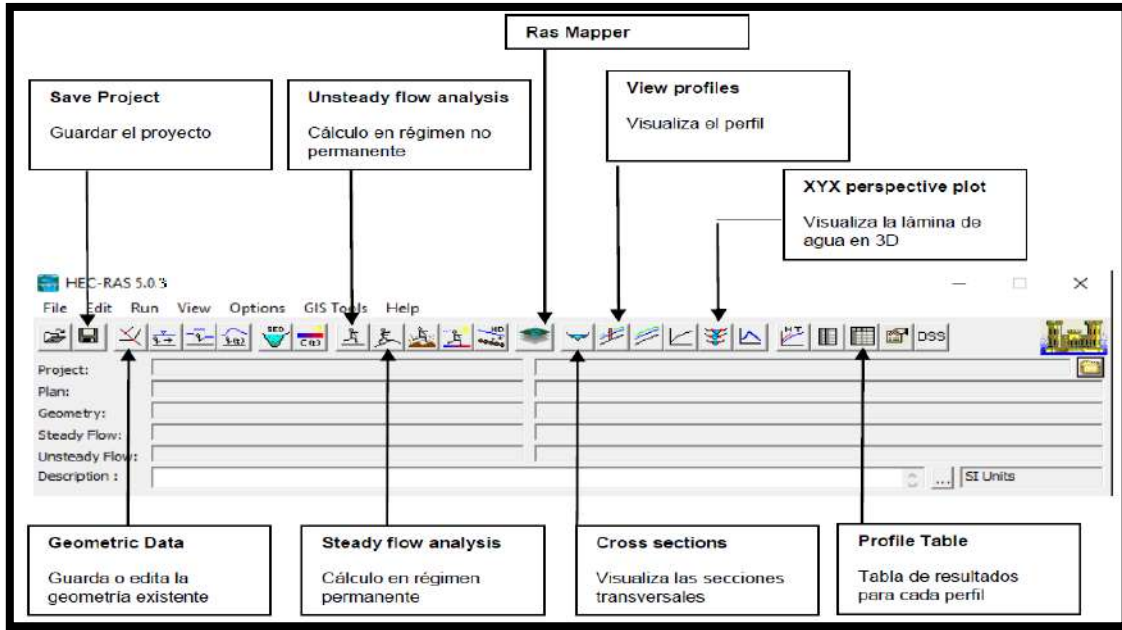


Figura 1.16. Ventana principal de HEC RAS
 Fuente: Sierra 2018

1.7.7. Programas informáticos

1.7.7.1. HEC RAS

(HIDROLOGIC ENGINEERING CENTER - RIVER ANALYSIS SYSTEM).

Este software, del Centro de Ingeniería e Hidrología del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU., surge como una evolución del conocido y dinámico HEC-2, con varias mejoras con respecto a este, entre las cuales la interfaz gráfica de usuario (GUI) que facilita las tareas previas y posteriores al proceso.

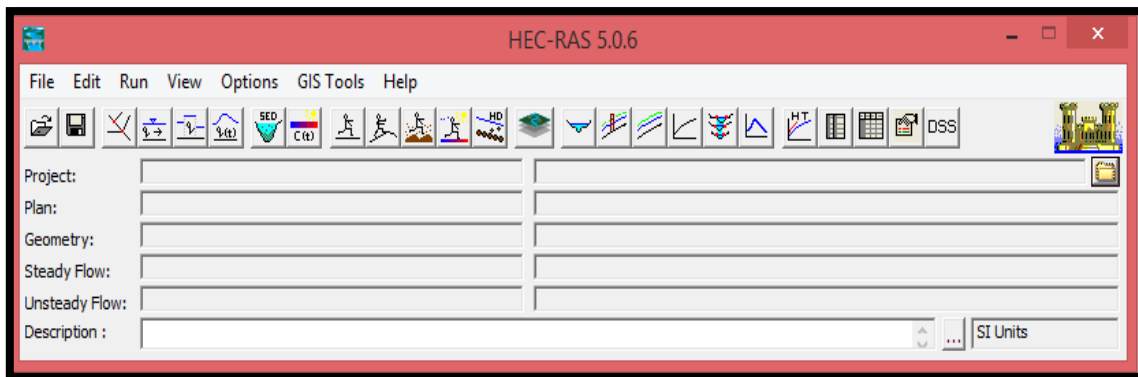


Figura 1.17. Ventana principal HEC RAS 5.0.6
 Fuente: HEC RAS

1.7.7.2. ARCGIS

ARCGIS es un Sistema de Información Geográfico con sus siglas en inglés SIG, más completo del Environmental Systems Research Institute (ESRI). Se utiliza para visualizar, crear, manipular y analizar datos geográficos, en este momento, ARCGIS proporciona la conversión de datos georreferenciada más completa de cualquier SIG.

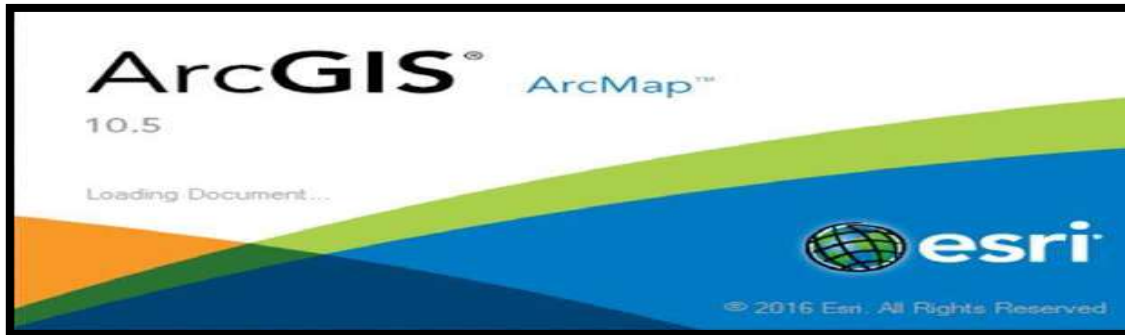


Figura 1.18. Pantalla de Inicio del ARCGIS
Fuente: ARCGIS

1.7.7.3. AUTOCAD CIVIL 3D

AutoCAD Civil 3D es un poderoso software de computadora utilizado para el cálculo y diseño de diversas infraestructuras, principalmente relacionadas con el movimiento de tierras, la topografía y redes de tuberías. Es un producto de Autodesk, por lo que comparte muchas herramientas con AutoCAD 2D y 3D, una herramienta utilizada por muchos topógrafos e ingenieros.

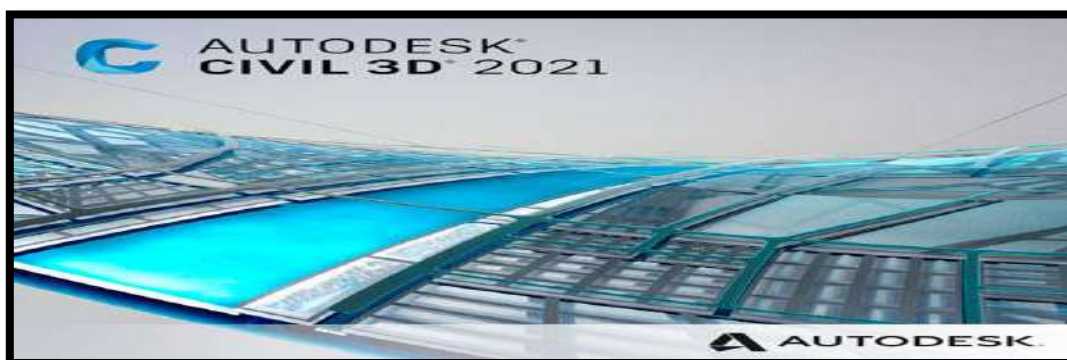


Figura 1.19. Pantalla de Inicio del CIVIL 3D 2021
Fuente: AUTODESK

1.7.7.4. RIVER

El programa RIVER está dirigido a profesionales e instituciones que participan en los trabajos de protección de los cauces o defensas ribereñas.

El programa RIVER fue elaborado por el ingeniero Emilse Benavides C., especialista profesional de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) del Ministerio de Agricultura.

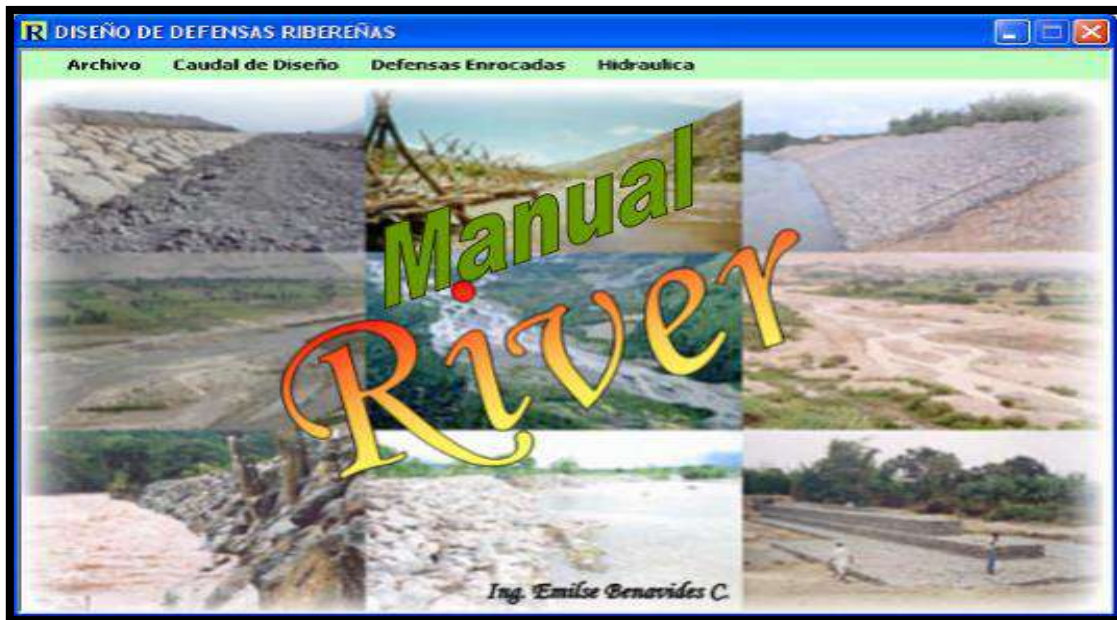


Figura 1.20. Pantalla de Inicio del RIVER
Fuente: RIVER

1.7.7.5. HIDROESTA 2

HIDROESTA 2, representa una contribución de suma importancia a los cálculos hidrológicos. Los estudios hidrológicos requieren del análisis de cuantiosa información hidrometeorológica; esta información puede consistir de datos de precipitación, caudal, temperatura, evaporación, etc.



Figura I.21. Pantalla de Inicio de HIDROESTA
Fuente: HIDROESTA

Los datos recopilados solo representan información en bruto, pero si se identifican, organizan y analizan adecuadamente, proporcionan al hidrólogo una herramienta muy útil que le permite tomar decisiones en el diseño de estructuras hidráulicas.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1.TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es una Investigación Descriptiva, porque describe el comportamiento del perfil hidráulico de un tramo del río Jequetepeque y los niveles de socavación con diferentes caudales que permiten realizar un modelamiento hidráulico, definiendo el comportamiento del río. A la vez es inductivo, porque se toma como referencia un tramo del río Jequetepeque y se puede emplear en los diferentes tramos con características similares; se empleó periodos de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años que se toma como la probabilidad de repetirse iguales o mayores fenómenos extremos.

2.1.1. Variables

Variable Independiente –Puente Libertad.

Variable Dependiente – Socavación.

2.1.1.1.Operacionalización de variables

Tabla II.1

Operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional		
		Dimensión	Indicador	Unidad o Índice
Puente Libertad	Estructura de luz mayor o igual a 6.00 metros que se levanta sobre una depresión del terreno (río, canal, foso, etc.) o en otro sitio para comunicar dos lados.	Estudio Topográfico	Secciones transversales	m
		Estudio Hidrológico	Longitud de Cauce	km
			Área de cuenca	km ²
			Caudal de diseño	m ³ /s
			Pendiente	m/m
			Periodo de retorno	años
		Estudio Geotécnico	Perímetro de cuenca	km
			Coefficiente de Uniformidad	m/m
			Coefficiente de Curvatura	m/m
			Curva Granulométrica	-

			Clasificación SUCS	-
			D ₉₅	mm
			D ₅₀	mm
			D _m	mm

Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional		
		Dimensión	Indicador	Unidad o Índice
Socavación	Fenómeno hidrodinámico que genera una excavación profunda causada por el agua durante el paso de las avenidas.	Ancho estable	B	m
		Tirante de Agua	y	m
		Dimensiones del puente	Altura	m
		Socavación general y local	Profundidad	m

2.1.1.2. Población y muestra

a. Población.

Rio Jequetepeque, distrito de San José, Pacasmayo, La Libertad.

b. Muestra.

Rio Jequetepeque progresiva 13+410 (progresiva donde se emplaza el puente Libertad).

2.1.1.3. Zona de Estudio

Región : LA LIBERTAD

Provincia : PACASMAYO

Distrito : SAN JOSE

Latitud Sur : 7° 19' 37.8" S (-7.32715503000)

Longitud Oeste : 79° 28' 49.6" W (-79.48044452000)

Altitud : 60 msnm

Nuestra zona de estudio involucra la Cuenca Jequetepeque, rio Jequetepeque y el lugar de emplazamiento del puente Libertad (progresiva 13+410). El área donde se realizó

el análisis está ubicado a unos kilómetros del distrito de San José, provincia de Pacasmayo, específicamente, se localiza entre los centros poblados Ciudad de Dios y Cruce de San José en el kilómetro 693 de la carretera Panamericana Norte.

2.1.1.3.1. *Ubicación de la cuenca Jequetepeque.*

a. Ubicación Política.

Políticamente, la cuenca del río Jequetepeque se encuentra en las regiones de La Libertad y Cajamarca, abarcando la región de Cajamarca el 67% y la región de La Libertad el 33%.

Tabla II.2

Provincias y distritos que comprende la cuenca Jequetepeque

N°	Departamento	Provincia	Distrito	Distrito	
1	Cajamarca		Cajamarca	Chetilla	
2				Asunción	
3				San Juan	
4				Magdalena	
5				Jesús	
6				Cajamarca	
7				Cospan	
8			San Pablo	San Pablo	
9				Tumbaden	
10				San Bernardino	
11			San Luis		
12			San Miguel	San Miguel	
13				Calquis	
14				San Silvestre de Cochan	
15				Llapa	
16				San Gregorio	
17				El Prado	
18				Unión Agua Blanca	
19			Contumazá	Contumazá	
20				Cupisnique	
21				Chilete	
22				Guzmango	
23				Santa Cruz Toledo	
24				Tantarica	
25			Yonán		
26			La Libertad	Chepén	Chepén
27					Guadalupe
28				Pacasmayo	San José
29					Jequetepeque

(Fuente: SEDALIB S.A.)

b. Ubicación Hidrográfica.

Los límites hidrográficos de la cuenca del río Jequetepeque son:

- ✓ Norte: Cuenca Zaña y cuenca Chancay-Lambayeque.
- ✓ Sur: Cuenca Chicama.
- ✓ Este: Cuenca Crisnejas e intercuenca Alto Marañón IV.
- ✓ Oeste: Océano Pacífico.

2.1.1.4. Estructuras existentes

2.1.1.4.1. Puente Libertad.

a. Ubicación del puente Libertad.

Distrito	:	San José
Provincia	:	Pacasmayo
Región	:	La Libertad
Ubigeo	:	130705
Latitud Sur	:	7° 19' 37.8" S (-7.32715503000)
Longitud Oeste	:	79° 28' 49.6" W (-79.48044452000)
Altitud	:	60 msnm
Longitud	:	212.00m
Ancho	:	7.60m
Número de pilares	:	9
Ancho de pilares	:	0.80m
Altura de pilares	:	4.00m
Peralte de vigas	:	1.20m
Forma de pilares	:	cuadrado

2.1.1.4.2. Represa Gallito Ciego.

Con la finalidad de aprovechar el agua para fines agrícolas y de generación eléctrica se construyó la represa Gallito Ciego la cual empezó sus operaciones con un volumen útil inicial aproximado de 427 MMC, más adelante, según estudios batimétricos realizados en el año 2010, se determinó que el volumen útil del embalse era de 371.63 MMC, tres años más tarde un nuevo estudio batimétrico indica que este se redujo a 366.60 MMC (Proyecto Especial Jequetepeque-Zaña -PEJEZA-).

La represa Gallito Ciego es el tercer embalse de aguas con mayor capacidad del país, teniendo un volumen útil inicial de 427 MMC que contribuye al desarrollo agrícola y a la generación de energía eléctrica. La construcción de la represa Gallito Ciego culminó en el año 1988, mientras que la central hidroeléctrica inició sus operaciones en 1997. Estudios batimétricos determinaron que el embalse perdió un volumen útil de 34.78 MMC desde su puesta en operaciones en febrero de 1988 hasta el año 2000. Posteriormente en un nuevo estudio realizado en el año 2013 se determinó que el volumen útil perdido llegó a 60.62 MMC y el total de sedimentos rodeaba los 104 MMC (PEJEZA).

Tabla II.3

Características principales represa Gallito Ciego

Embalse Gallito Ciego – Niveles y Áreas	
Nivel máximo de crecidas - NAME	410.30 m.s.n.m
Nivel máximo de embalse útil - NAMO	404.00 m.s.n.m
Nivel mínimo de explotación - NAMINO	361.00 m.s.n.m
Altura de la corona	105.40 m
Longitud de la corona	797.00 m
Área del embalse en nivel 404.00 m.s.n.m.	14.20 Km ²
Área del embalse en nivel 361.00 m.s.n.m.	5.60 Km ²
Vertedero nivel corona	404.00 m.s.n.m.
Ancho de embalse en nivel 404 m.s.n.m.	0.50 y 2.00 km
Represa Gallito Ciego – volúmenes	
Volumen total inicio de operaciones	638.10 MMC
Volumen total libre de sedimentos	533.53 MMC
Volumen de crecidas	93.15 MMC
Volumen útil inicial	426.80 MMC
Volumen útil al 2013	366.60 MMC
Volumen inactivo inicial (espacio sin sedimentos)	117.90 MMC
Volumen inactivo 2013 (espacio restante sin sedimentos)	73.79 MMC
Volumen sedimentos en espacio útil - 2013	60.20 MMC
Volumen sedimentos en espacio inactivo - 2013	44.11 MMC
Volumen sedimentos en espacio crecidas - 2013	0.25 MMC
Volumen total de sedimentos	104.56 MMC

FUENTE: ANA, 2019.

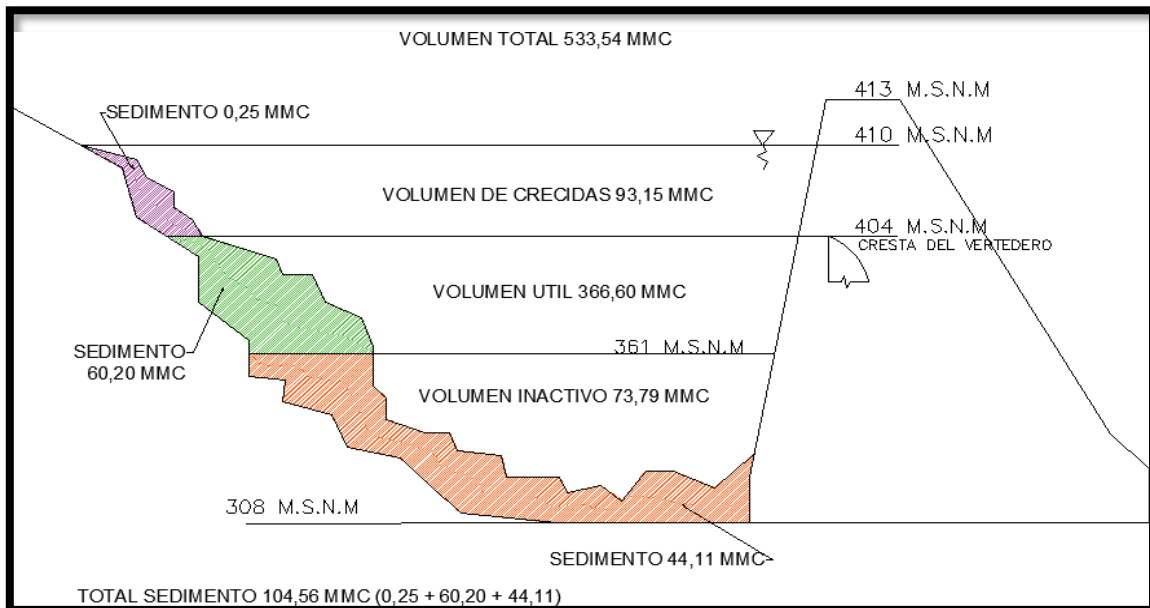


Figura II.2. Esquema del embalse Gallito Ciego.

Fuente: PEJEZA 2019.

2.2.MATERIALES, INSTRUMENTOS Y MÉTODOS

2.2.1. Materiales

2.2.1.1. Información pluviométrica e hidrométrica

A continuación, se muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas de la cuenca Jequetepeque.

Tabla II.4

Ubicación de estaciones meteorológicas de la cuenca Jequetepeque

Nº	NOMBRE ESTACIÓN	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LONGITUD OESTE	LATITUD SUR	ALTITUD (m.s.n.m)	FUENTE
1	AUGUSTO W	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	78°29'5.28	07°09'59.8	2660	SENAMHI
2	CHEPEN	LA LIBERTAD	CHEPEN	CHEPEN	79°26'1	07°14'1	114	SENAMHI
3	CHILETE	CAJAMARCA	SAN PABLO	SAN BERNARDINO	78°50'15.36	07°13'27.12	850	SENAMHI
4	CONTUMAZA	CAJAMARCA	CONTUMAZA	CONTUMAZA	78°49'49	07°21'21	2610	SENAMHI
5	GRANJA PORCON	CAJAMARCA	SAN PABLO	TUMBADEN	78°37'36	07°02'2	3061	SENAMHI
6	JEQUETEPEQUE	LA LIBERTAD	PACASAMAYO	JEQUETEPEQUE	79°34'1.00	07°20'1.00	20	SENAMHI
7	LIVES	CAJAMARCA	SAN MIGUEL	UNION AGUA BLANCA	79°02'0.00	07°05'0.00	1800	SENAMHI
8	LLAPA	CAJAMARCA	SAN MIGUEL	LLAPA	78°49'49	06°59'59	2900	SENAMHI
9	MAGDALENA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	MAGDALENA	78°39'9.10	07°15'12.40	1257	SENAMHI
10	NAMORA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	NAMORA	78°20'20	07°12'12	2782	SENAMHI
11	SAN JOSE	LA LIBERTAD	PACASAMAYO	SAN JOSE	79°27'1	07°21'1	100	SENAMHI
12	SAN JUAN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	SAN JUAN	78°29'44.90	07°17'26.60	2469	SENAMHI
13	TALLA	LA LIBERTAD	CONTUMAZA	Y ONAN	79°25'24	07°16'16	105	SENAMHI
14	TEMBLADERA	CAJAMARCA	CONTUMAZA	Y ONAN	79°08'1.00	07°15'1.00	433	SENAMHI

(Fuente: ANA, 2019)

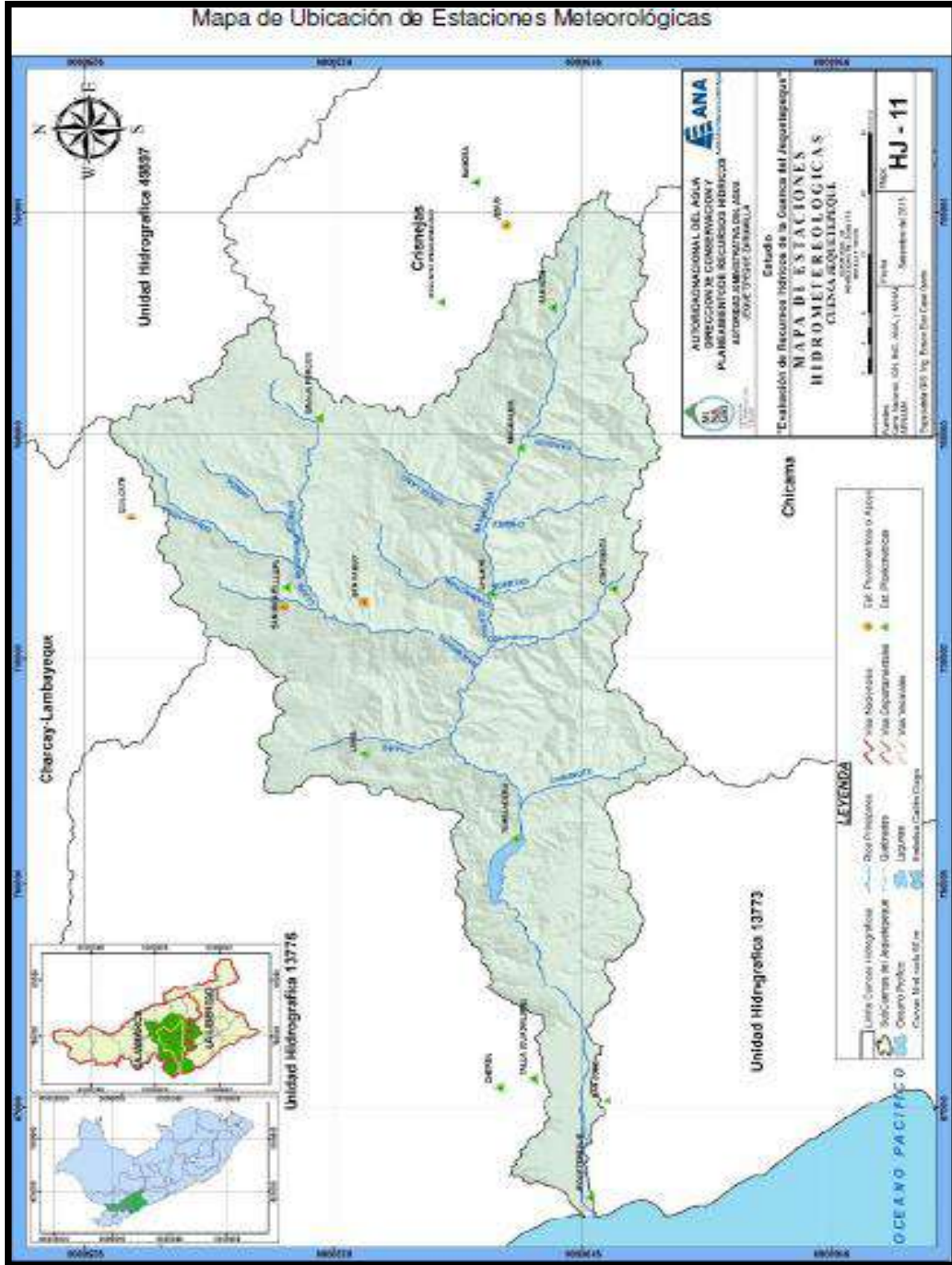


Figura II.3 Mapa de Ubicación de estaciones meteorológicas.
 (Fuente: ANA, 2019)

Tabla II.5

Estaciones Hidrométricas de la cuenca Jequetepeque

Nro	CÓDIGO DE ESTACIÓN	NOMBRE DE ESTACIÓN	RESPONSABLE DE INFORMACIÓN	ESTADO	DESDE	HASTA	NOMBRE DE CUENCA
1	201204	YONAN	<u>PEJEZA</u>	Funcional	1975/10	2019/01	Cuenca Jequetepeque
2	201207	PUENTE CHILETE	<u>SENAMHI</u>	Funcional	1969/04	2009/01	Cuenca Jequetepeque
3	201212	BARRANCA 3	<u>SENAMHI</u>	Cerrada	1969/03	1976/07	Cuenca Jequetepeque
4	201211	BARRANCA 1	<u>SENAMHI</u>	Funcional	1969/02	1976/05	Cuenca Jequetepeque

Fuente: ANA, 2020

Según el portal web de la AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA la única estación que registra información hidrométrica de la cuenca Jequetepeque es la estación Yonán por lo que en esta tesis se ha utilizado el registro histórico de caudales máximos diarios de los años de 1965 al 2017 de esta estación.

Tabla II.6

Ubicación de la estación Hidrométrica Yonán

ESTACION HIDROMETRICA YONAN						
NOMBRE DE CUENCA	ALTITUD	LATITUD SUR	LONGITUD OESTE	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
Cuenca Jequetepeque	428	-7.25000	-79.10000	Cajamarca	Contumazá	Yonán

Fuente: ANA, 2020

Tabla II.7

Estación Hidrométrica Yonán (Caudales Máximos Diario)

AÑO	CAUDAL m ³ /s	AÑO	CAUDAL m ³ /s
1965	199.00	1991	251.80
1966	102.10	1992	110.90
1967	239.80	1993	244.60
1968	57.00	1994	319.40
1969	122.20	1995	146.90
1970	139.90	1996	294.30
1971	344.30	1997	174.30
1972	376.00	1998	509.50
1973	239.90	1999	379.60
1974	134.80	2000	340.00
1975	197.50	2001	409.40
1976	130.70	2002	333.70
1977	246.70	2003	128.30
1978	37.90	2004	106.60
1979	205.50	2005	194.50
1980	52.20	2006	331.60
1981	237.90	2007	194.90
1982	76.10	2008	393.00
1983	692.40	2009	338.90
1984	512.10	2010	264.20
1985	40.30	2011	219.40
1986	145.30	2012	311.90
1987	335.20	2013	270.70
1988	102.20	2014	135.70
1989	205.40	2015	438.20
1990	102.60	2017	983.85

(Fuente: Estación Hidrológica Yonán, 2020)

2.2.1.2. Información Topográfica

La información topográfica fue proporcionada por el Ing. Sixto Stalin Bejarano Barrios, el levantamiento topográfico se realizó con la finalidad de ejecutar el modelamiento hidráulico del río Jequetepeque para el diseño de defensas rivereñas y prevención de inundaciones causados por el fenómeno de El Niño.

El levantamiento topográfico consta de 48,320 m desde la progresiva 48+320 (represa Gallito Ciego) hasta la progresiva 0+000 (orilla del mar).

Para la realización del levantamiento topográfico se necesitó una estación total con su respectivo prisma y un GPS, con el cual se confirman las coordenadas de los BM (puntos geodésicos) proporcionados por el ANA, se inició el levantamiento topográfico en la represa Gallito Ciego y se procedió aguas abajo hasta la orilla del mar.

La técnica utilizada para enlazar los puntos de control o BM fue la poligonal abierta que es la más utilizada para este tipo de trabajo, se levantó el río en toda su extensión cada 50m, del borde hasta su faja marginal, llegando a levantar hasta 500 m a ambos lados del eje del río, se tomaron en cuenta todos los detalles existentes (diques, canales, puentes, etc.). Esta información se empleó para la generación de secciones transversales en el software CIVIL 3D, los mismos que son necesarios para el modelamiento hidráulico en HEC RAS.

Coordenadas UTM WGS84 de la ubicación del levantamiento topográfico.

Tabla II.8

Coordenadas del levantamiento topográfico

Progresiva	Norte	Este
0+000	9189241.94	655711.35
0+48320	9199094.18	696837.84

Fuente: Elaboración propia

2.2.1.3. Materiales para recolección y procesamiento de datos

a. Materiales para recolección.

- ✓ Celular.
- ✓ 01 pico.
- ✓ 01 palana.
- ✓ 01 wincha de 50 m.
- ✓ 01 cámara fotográfica.
- ✓ Bolsas de muestreo.
- ✓ 03 peones.

b. Materiales para procesamiento de datos.

- ✓ Laptop
- ✓ Mallas granulométricas (3”-N° 200)

2.2.2. Instrumentos de recolección y análisis de datos

a. Instrumentos de Recolección de datos.

✓ Cartas nacionales de IGN

Las Cartas nacionales de IGN a escala 1/100 000 se obtienen de diversas paginas como las del Ministerio del Ambiente o del Instituto Geográfico Nacional del Perú.

✓ La información hidrométrica de caudales máximos diarios

De la data histórica de la estación hidrométrica Yonán de los años de 1965 – 2017.

✓ Estudios granulométricos del material del lecho del rio Jequetepeque

Se realizaron 3 calicatas de 1.5 m de profundidad en puntos cercanos a los pilares y estribos del puente Libertad, las cuales se analizaron en el laboratorio para el

estudio granulométrico con la finalidad de obtener parámetros geotécnicos como D_{50} , D_{95} , etc.

b. Instrumentos de análisis de datos.

✓ **HIDROESTA.**

Se empleó para calcular caudales de diseño por métodos estadísticos.

✓ **RIVER.**

Se empleó para calcular caudales de diseño por métodos estadísticos y el diseño de obras de protección.

✓ **CIVIL 3D.**

✓ Este software permitió analizar la información topográfica para la generación la geometría usada por el HEC RAS.

✓ **ARCGIS 10.5.**

Este programa se utilizó para conocer parámetros geomorfológicos de la cuenca en estudio, para ser usados en el estudio hidrológico.

✓ **HEC-RAS 5.0.6**

Se utilizó para el estudio del comportamiento hidráulico del río y cálculo de socavación general y local en el río y puente.

✓ **MICROSOFT EXCEL 2016.**

Realiza diversos cálculos matemáticos y la edición de tablas.

✓ **MICROSOFT OFFICE 2016.**

Se empleó para el tipeo de este documento.

2.2.3. Métodos

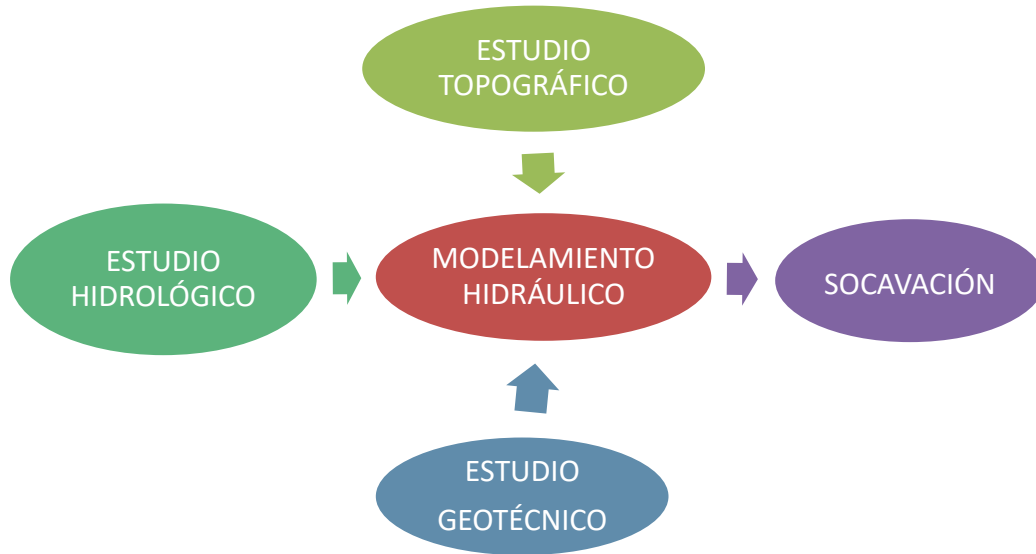


Figura II.4. Estudios necesarios para el cálculo de socavación
(Fuente: Elaboración Propia)

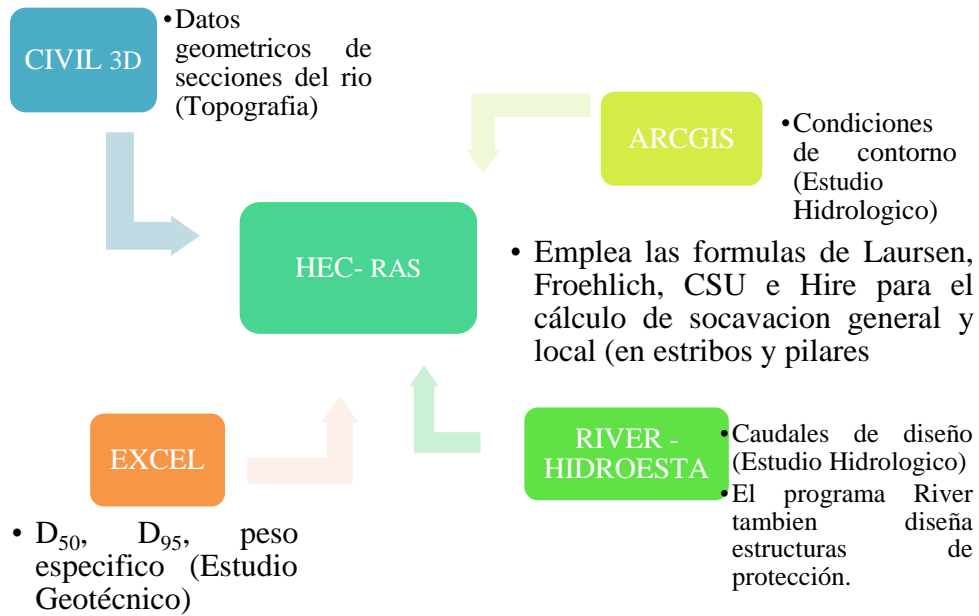


Figura II.5. Programas informáticos.
(Fuente: Elaboración Propia)

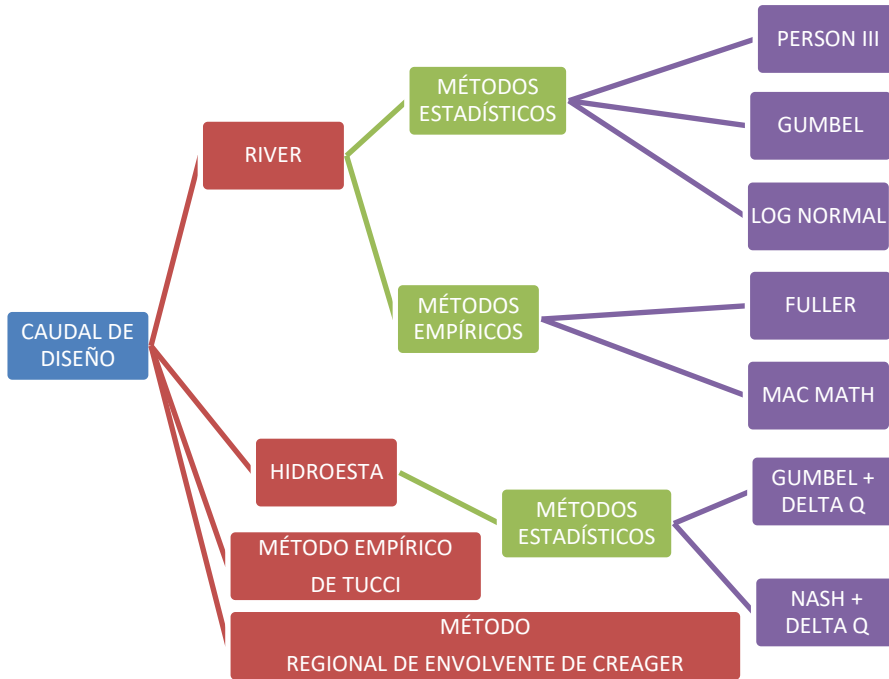


Figura II.6. Métodos para el cálculo del caudal de diseño.
 (Fuente: Elaboración Propia)

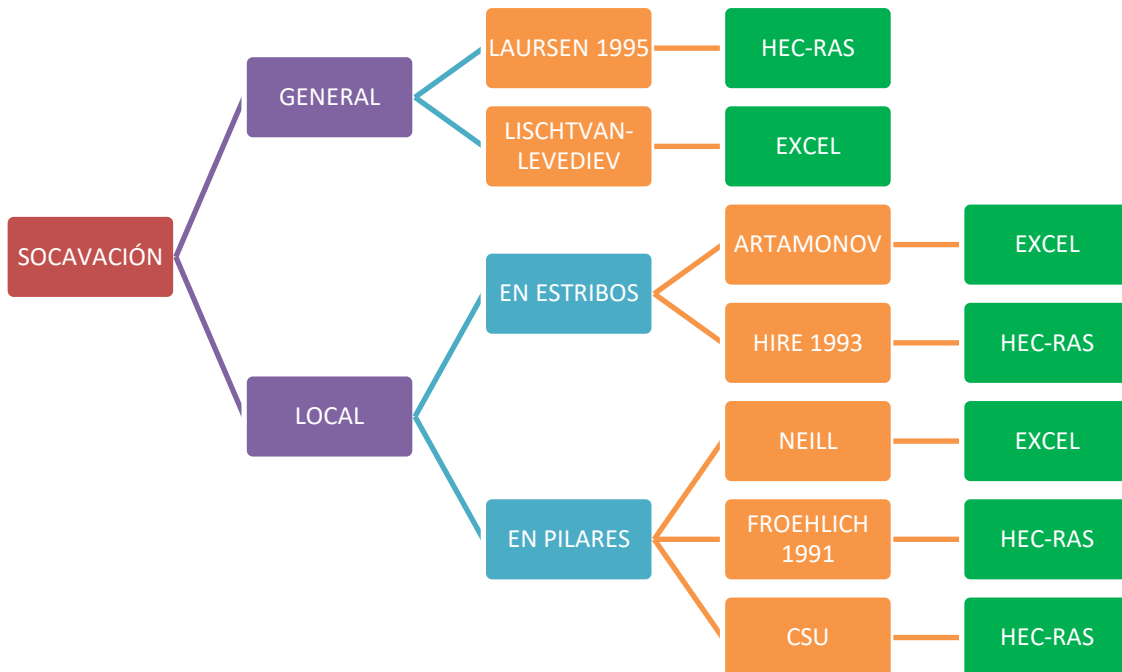


Figura II.7. Metodologías empleadas para calcular la socavación.
 (Fuente: Elaboración Propia)



Figura II.8. Métodos para diseñar obras de protección.
(Fuente: Elaboración Propia)

2.2.3.1. Resumen de metodologías para el cálculo de la socavación

En la Tabla II.9 se presenta un resumen de las metodologías utilizadas en esta investigación para la estimación de la socavación general, socavación local en estribos y pilares.

Tabla II.9

Resumen de las expresiones matemáticas empleadas para el cálculo de la socavación

MÉTODO Y FECHA	ECUACIÓN	TIPO DE SOCAVACIÓN	CONSIDERACIONES
Lischtvan Levediev	<p>a) Para suelos granulares:</p> $H_s = \left[\frac{\alpha h^{\frac{5}{3}}}{0.68 \beta \mu \varphi D_m^{0.28}} \right]^{\frac{1}{1+z}}$ <p>b) Para suelos cohesivos:</p> $H_s = \left[\frac{\alpha h^{\frac{5}{3}}}{0.60 \beta \mu \varphi \gamma_s^{0.18}} \right]^{\frac{1}{1+x}}$ <p>Hs-h: Profundidad de socavación, m. h: Tirante de agua, m. Dm: Diámetro característico del lecho, m. B, μ, φ: Factores.</p>	Socavación general incluyendo por efecto del puente.	Método propuesto por Lischtvan – Levediev, se fundamenta en el equilibrio que debe existir entre la velocidad media real de la corriente y la velocidad media erosiva.
Laursen (1995)	<p>a) Socavación por contracción en lecho móvil:</p> $\frac{H_s}{h_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^{\frac{6}{7}} \left(\frac{B_1}{B_2} \right)^{k_1}$ <p>Hs-h2: Profundidad media de socavación por contracción, m. Hs: Profundidad media del flujo, m. h1: Profundidad media de flujo en el cauce principal, aguas arriba del puente, m. h2: Profundidad media de flujo en la sección contraída, m. Q1: Caudal aguas arriba, m³/s. Q2: Caudal en la sección contraída, m³/s. B1: Ancho del cauce aguas arriba, m.</p>	Socavación general incluyendo por efecto del puente.	Considera los casos de socavación por efecto de contracción en lecho móvil o en agua clara. Es el método más usado en los EUA(HEC-18, 1993, 1995)

	<p>B2: Ancho del cauce en la sección contraída, restando ancho de pilares, m. K1: Exponente en función del modo de transporte de sedimentos b) Socavación por contracción en agua clara:</p> $H_s = \left(\frac{0.025Q_2^2}{D_m^{2/3} B_2^2} \right)^{3/7}$ <p>Dm: Diámetro medio efectivo del material del lecho, m.</p>		
Neill (1964)	<p>$Y_S = 1.5 * (a')^{0.7} * h^{0.3}$ ys: Profundidad de socavación, m. a': Ancho proyectado del pilar, m. h: Tirante de flujo aguas arriba del pilar, m.</p>	Socavación local en pilares	Ecuación resultante del ajuste de datos experimentales obtenidos por Laursen y Toch para socavación en pilares circulares y rectangulares.
Froehlich (1991)	<p>$y_s = 0.32K_f (a')^{0.62} h^{0.47} Fr^{0.22} D_{50}^{-0.09} + a$ ys: Profundidad de socavación, m. Kf: Factor de corrección por forma del pilar. a': Ancho proyectado del pilar, m. a: Ancho del pilar, m. h: Profundidad de flujo aguas arriba del pilar, m. Fr: Número de Froude, aguas arriba del pilar. D50: Diámetro de la partícula del lecho, m.</p>	Socavación local en pilares	Ecuación desarrollada por el Dr. David Froehlich es usada por el programa HEC-RAS (1998) como una alternativa a la ecuación de la Universidad Estatal de Colorado (CSU).
CSU	<p>$\frac{y_s}{h} = 2.0K_f K_\phi K_c K_a \left(\frac{h}{a}\right)^{0.65} Fr^{0.43}$ ys: Profundidad de socavación, m. h: Profundidad de flujo aguas arriba del pilar, m. Kf: Factor de corrección por forma del pilar. Kφ: Factor de corrección por ángulo de ataque del flujo. Kc: Factor de corrección por forma del lecho. Ka: Factor de corrección por acorazamiento del lecho. a: Ancho del pilar, m. Fr: Número de Froude, aguas arriba del pilar.</p>	Socavación local en pilares	Ecuación desarrollada por la Universidad Estatal de Colorado (CSU) para el cálculo de la socavación local en pilares tanto en agua clara como en lecho móvil. Esta ecuación fue desarrollada con base en análisis dimensional de los parámetros que afectan la socavación y análisis de datos de laboratorio. Es el método más usado en los Estados Unidos de América (HEC-18, 1993, 1995) y es una de las dos que usa el programa HEC-RAS (1998).
Artamonov	<p>$HT = k_\theta * K_Q * K_m * h$ HT : Profundidad de agua al pie del estribo. P_θ: Coeficiente función del ángulo que hace la corriente con el eje longitudinal del puente. P_Q: Coeficiente función de la relación de gasto. Pr: Coeficiente función del talud que los lados del estribo. h : Tirante de agua en la zona cercana al estribo.</p>	Socavación local en estribos	Ecuación que permite determinar no solamente la profundidad de socavación que se produce al pie de estribos sino también al pie de espolones o espigones.
Hire (1993)	<p>$y_s = 4h \left(\frac{K_f}{0.55} \right) k_\theta Fr^{0.33}$ ys: Profundidad de socavación, m. h: Profundidad de flujo aguas arriba en el cauce principal, m. Fr: Número de Froude basado en la velocidad y profundidad al pie justo aguas arriba del estribo. Kf: Coeficiente de corrección por forma de estribo. Kθ : Coeficiente función del ángulo de ataque.</p>	Socavación local en estribos	Ecuación desarrollada a partir de los datos obtenidos de otra ecuación del US ARMY de los EUA para la socavación que se produce en la punta de los espigones construidos en el río Mississippi.

Fuente: Elaboración Propia, adaptado del Manual de Hidrología y Drenaje del MTC 2019.

2.3.PROCEDIMIENTO

2.3.1. Estudio Topográfico

La información Topográfica con la que se cuenta consta de un levantamiento topográfico del cauce y áreas adyacentes del Río Jequetepeque, desde la desembocadura en el mar (progresiva 0+000) hasta el pie de la represa Gallito Ciego (progresiva 48+320), distrito de Yonán, provincia de Contumazá, departamento de Cajamarca haciendo un total de 48,320 m.

El levantamiento topográfico permitió obtener la información del cauce de río, relieve del suelo, y detalles adyacentes necesarios para obtener la superficie, alineamiento horizontal, alineamiento vertical y secciones transversales, mediante la siguiente secuencia:

- ✓ Ordenamiento de datos en Excel y exportación en archivo .CSV (archivo de valores delimitado por comas.
- ✓ Importar el archivo .CSV al software Civil 3D.
- ✓ Generación de la superficie del terreno.
- ✓ Generación del alineamiento horizontal del río.
- ✓ Generar el alineamiento vertical o perfil del río.
- ✓ Obtención de las secciones transversales a cada 50 m.

2.3.2. Estudio Geotécnico

Este estudio de mecánica de suelos se emplea para adquirir información técnica necesaria para la estimación de la socavación general y local del Puente en estudio, el mismo que se ha efectuado por medio de trabajos de exploración de campo y ensayos de laboratorio; necesarias para definir la constitución del lecho del río y determinar el D_{50} y D_{95} de la granulometría de las partículas del río. La secuencia realizada es la siguiente

- ✓ Se realizó 3 calicatas, de 1.5 m de profundidad.
- ✓ Se identificó el perfil estratigráfico para cada calicata.
- ✓ Se obtuvieron muestras sueltas, 5 Kg de cada una.
- ✓ Se realizó el ensayo de granulometría.
- ✓ Finalmente se obtuvieron los siguientes datos: distribución y tamaño de partículas, Coeficientes de uniformidad (Cu) y curvatura (Cc), curva granulométrica y el tamaño máximo nominal.

2.3.3. Estudio Hidrológico

Se determinó los caudales de diseño del cauce principal del río Jequetepeque para periodos de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años, empleando la data histórica de caudales máximos diarios, de los años 1965-2017, y características geomorfológicas de la cuenca Jequetepeque.

Para determinar los caudales de diseño se compararon los resultados de los métodos estadísticos (Log Normal, Gumbel, Pearson III, Gumbel + Delta Q y Nash + Delta Q), y métodos empíricos (Mac Math, Regional de la envolvente de Creager, método de Fuller y el método de Tucci).

La secuencia empleada es la siguiente:

- ✓ Se obtuvieron las características geomorfológicas, de la cuenca Jequetepeque, mediante la información de las cartas del IGN a escala 1/100 000, aplicando el software Arc Gis.
- ✓ Se obtuvo información Vectorial de la cuenca Jequetepeque, en formatos Shapefile (Shp), tales como: Cartas Nacionales, la cuenca está delimitada en los cuadrantes 14e, 14f, 15d, 15e, 15f y 15g.; así como límites de cuencas hidrográficas; límites departamentales, provinciales y distritales; entre otros.

- ✓ Se delimitó la cuenca Jequetepeque.
- ✓ Se obtuvieron los siguientes datos: área, perímetro, cotas, longitud del cauce principal y pendiente, índice de compacidad, factor de forma.
- ✓ Con los datos geomorfológicos se calculó de caudal de diseño por método empírico Mac Math en el programa River.
- ✓ Con la data histórica de máximos caudales diarios se calculó el caudal de diseño por los métodos estadísticos Log Normal, Gumbel, Pearson III en el software River y los métodos Gumbel + Delta Q y Nash + Delta Q en el software Hidroesta.
- ✓ El método de Fuller se realizó en el programa River empleando datos hidrométricos y geomorfológicos.
- ✓ EL método Regional de la envolvente de Creager se realizó en Excel empleando datos geomorfológicos.
- ✓ El método de Tucci se realizó en Excel y empleando datos geomorfológicos y datos de máximo caudal diario de eventos climatológicos extraordinarios.

2.3.4. Modelamiento Hidráulico

2.3.4.1. Simulación hidráulica mediante HEC RAS v5.0.6

Se utilizó el software HEC - RAS v5.0.6, para determinar el comportamiento hidráulico del río Jequetepeque por el paso del flujo a través del río y de la sección del puente Libertad.

Se determinaron algunos datos para la correcta simulación hidráulica:

- ✓ Características hidráulicas del cauce (pendientes longitudinales, superficie de agua, y propiedades del material de cauce).
- ✓ Coeficiente de rugosidad de Manning, el cual se obtuvo mediante el Método de Cowan.

- ✓ La topografía del río y su geométrica (estación y elevación) a través de la importación de las secciones transversales desde el programa Civil 3D.
- ✓ La Geometría del puente ingresando datos de su superestructura y subestructura.
- ✓ Caudales de diseño para un periodo de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años.
- ✓ Ejecutar la simulación hidráulica para la condición de flujo supercrítico, para flujo subcrítico y/o mixto.

2.3.5. Análisis de la socavación

POR HEC - RAS				POR EXCEL		
Socavación general	socavación local en estribos	socavación local en pilares	socavación local en pilares	Socavación general	Socavación local en estribos	Socavación local en pilares
Laursen 1995	Hire 1993	CSU	Froehlich 1991	Lischtvan-Levediev	Artamonov	Neill

2.3.6. Propuesta de Obras de Protección

OBRAS DE PROTECCIÓN		
Enrocados		Protección de pilares y estribos
Maynord	Isbahs	HEC-18

2.3.7. Esquema de la investigación

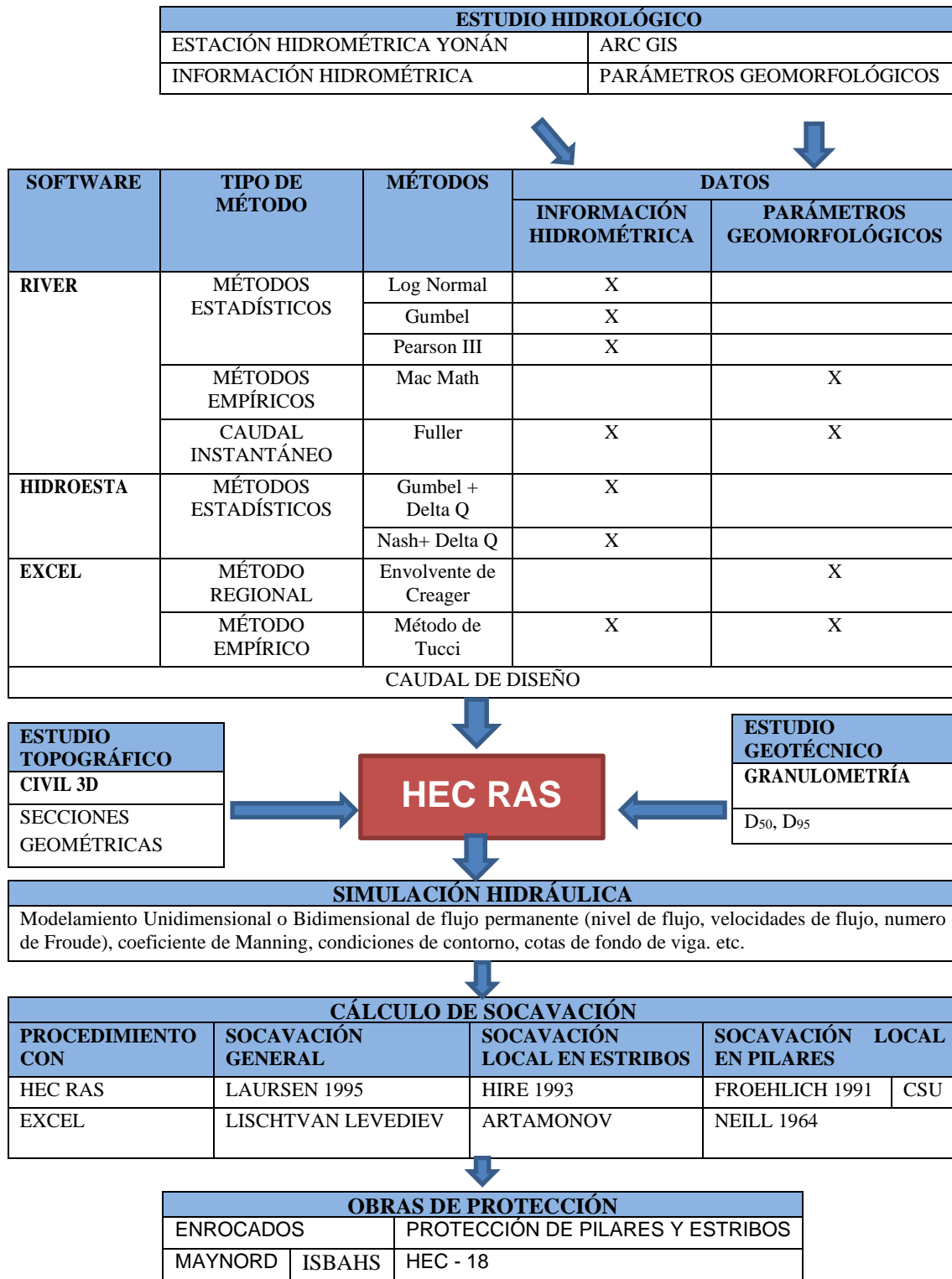


Figura II.9. Esquema de la Investigación
Fuente: Elaboración Propia

2.3.8. Procedimiento técnico ilustrativo

A continuación, se muestra de manera resumida el proceso desarrollado con los distintos programas informáticos, los estudios completos se adjuntan en los anexos de este documento.

2.3.8.1. Análisis de topografía con CIVIL 3D

Los datos del levantamiento topográfico se transformaron a archivos de formato. GEO en el programa CIVIL 3D, el formato. GEO compatible con el programa HEC RAS



Figura II.10. Gestión de datos topográficos en Civil 3D
(Fuente: Elaboración propia)

2.3.8.2. Obtención de parámetros geomorfológicos con el programa ARCGIS

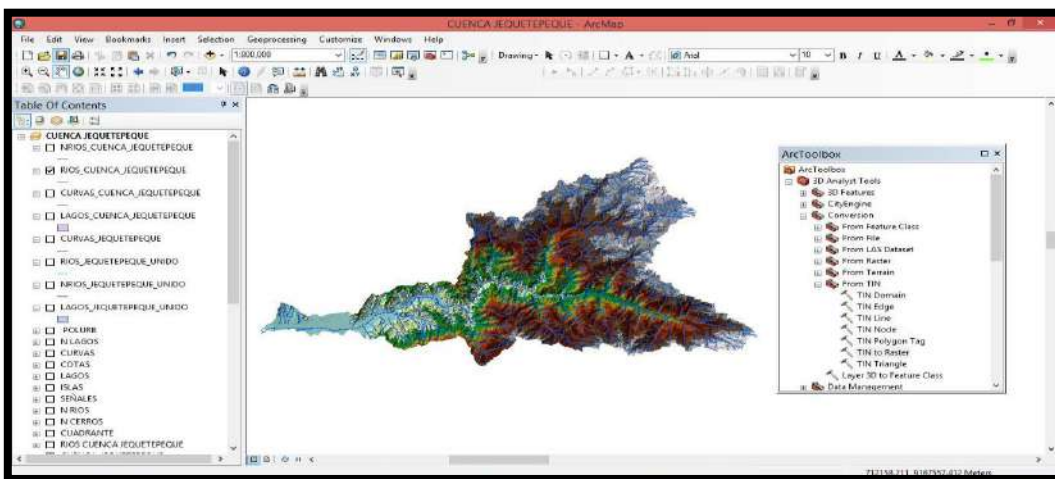


Figura II.11. Gestión de datos vectoriales en ARCGIS
Fuente (Elaboración propia)

2.3.8.3. Determinación de caudal de diseño con RIVER e HIDROESTA

El caudal de diseño se obtuvo al analizar la data histórica de caudales máximos diarios de la estación Yonán, procesados en los softwares Hidroesta y River.



Figura II.12. Cálculo del Caudal de Diseño con el programa River
(Fuente: Elaboración propia)

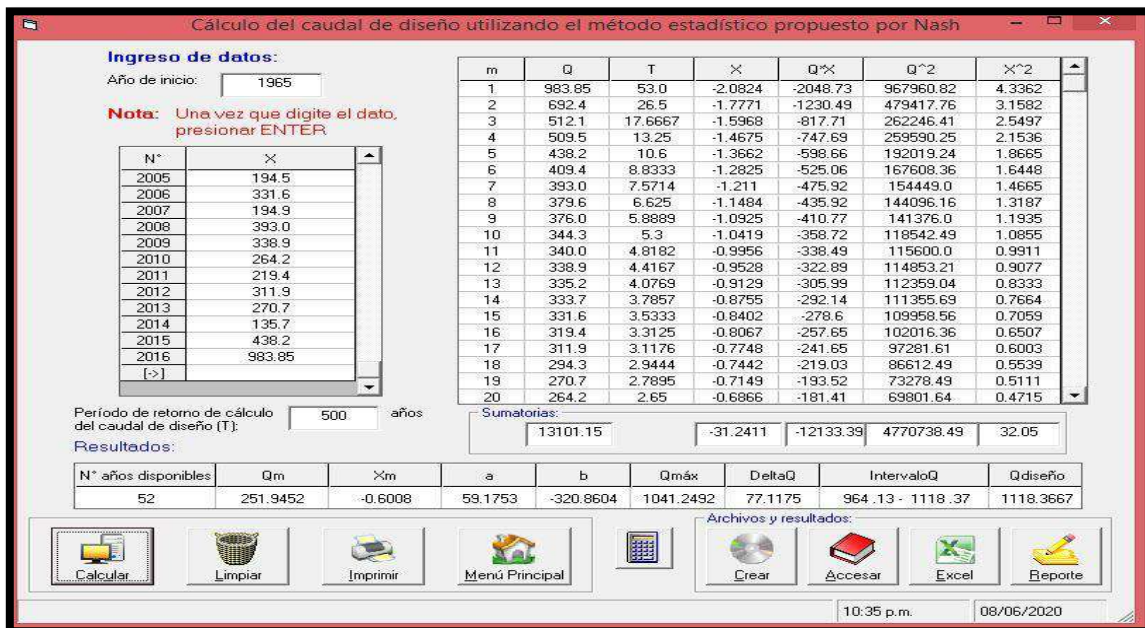


Figura II.13. Cálculo del Caudal de Diseño con el programa Hidroesta.
(Fuente: Elaboración propia)

2.3.8.4. Determinación de la constitución del lecho del río Jequetepeque

Se analizó en el laboratorio las muestras extraídas de las calicatas, sometiéndolas a un análisis granulométrico bajo los parámetros de la Norma ASTM D-422.

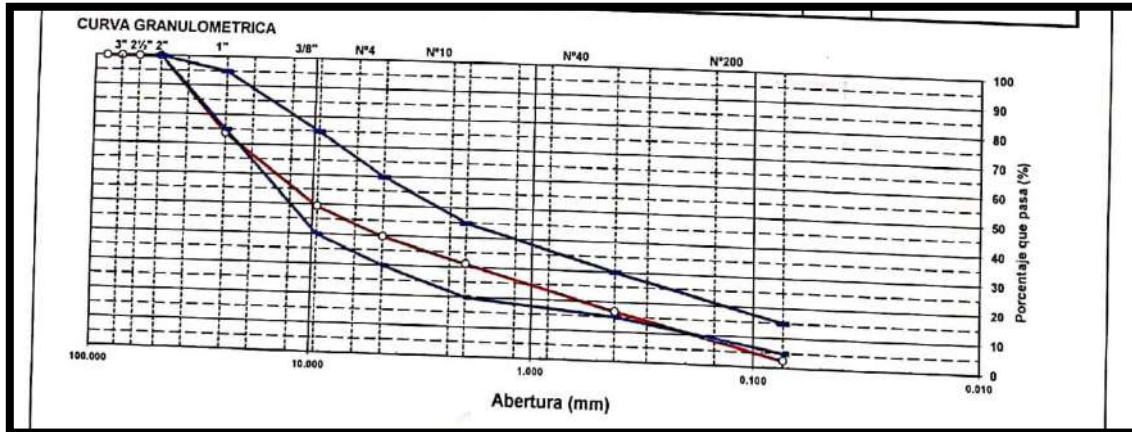


Figura II.14. Análisis granulométrico
(Fuente: Elaboración propia)

2.3.8.5. Simulación Hidráulica con HEC RAS

Se procesó en el programa HEC-RAS v5.0.6 los datos obtenidos de la geometría del terreno y caudal de diseño.

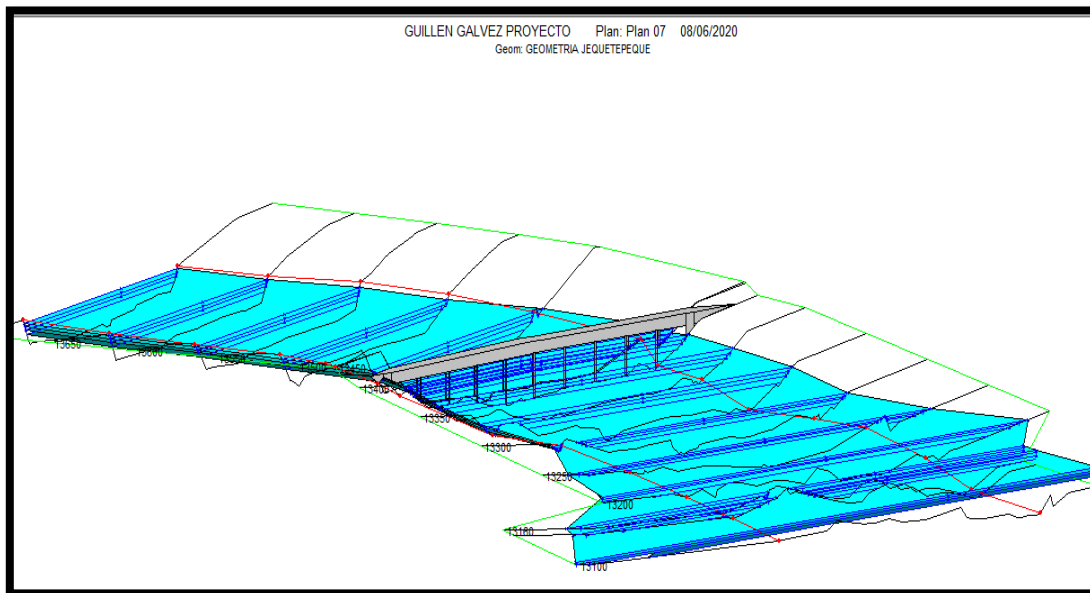


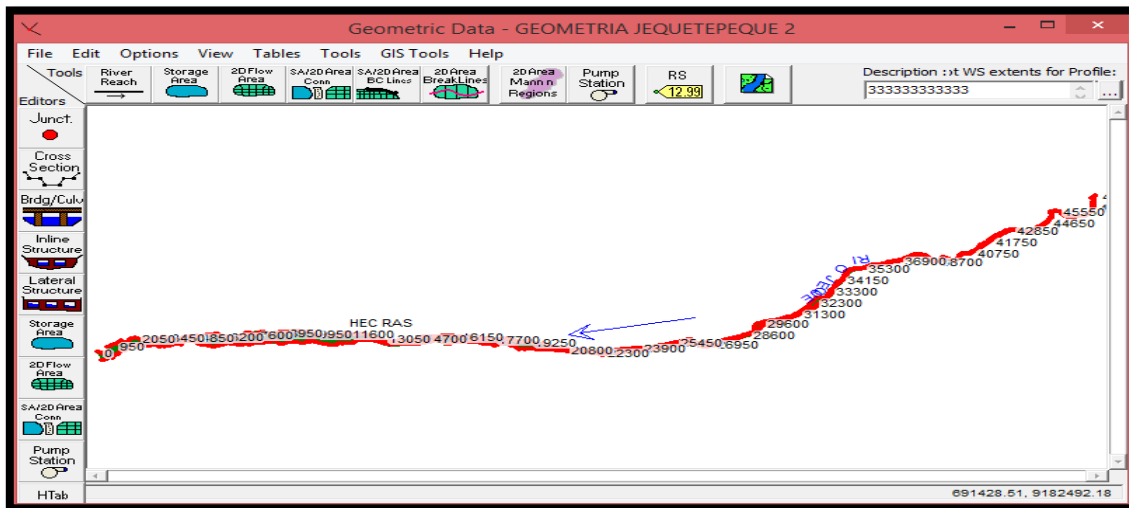
Figura II.15. Simulación Hidráulica con HEC RAS
(Fuente: Elaboración propia)

2.3.8.6. Cálculo de socavación con HEC RAS

La socavación en HEC-RAS tiene tres componentes: la socavación general (contraction), socavación en pilares (pier), y socavación en estribos (abutment). Las ecuaciones de socavación están basadas en los métodos de Ingeniería Hidráulica, (*Hydraulic Reference Manual 5.0*, febrero del 2016).

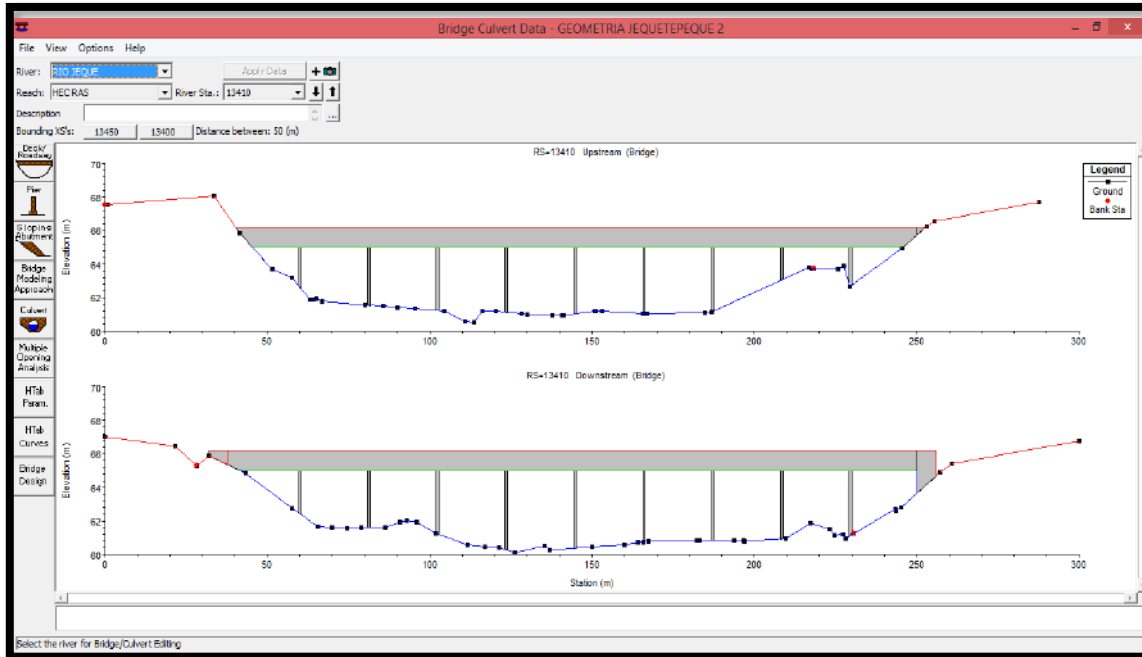
Nos enfocaremos en el capítulo 5, 10 y 12 del *Hydraulic Reference Manual 5.0*; el capítulo 5 *General Modeling Guidelines* nos da las pautas generales de modelamiento hidráulico, el capítulo 12 *Stable Channel Design Functions*, nos da alcances de diseño en canal estable y el capítulo 10 *Estimating Scourt at Bridges*, se centra en la socavación general, en pilares y estribos.

Datos geométricos



Sistema Esquemático de río

En el tramo del río Jequetepeque progresiva 13+410, introducimos el puente Libertad seleccionando la opción **Bridge/Culv** icono en el lado izquierdo del **Editor of Data Geometric**. Esto activa la opción **Puente/Culvert Editor Data**, la información del puente, *deck/roadway*, *piers*, *sloping abutments*, el puente tiene 212.00 m de longitud posee 9 pilares de 0.80m de ancho, 4.00 m de altura y de forma cuadrada.



Puente/Culvert Editor de Datos

Datos de flujo

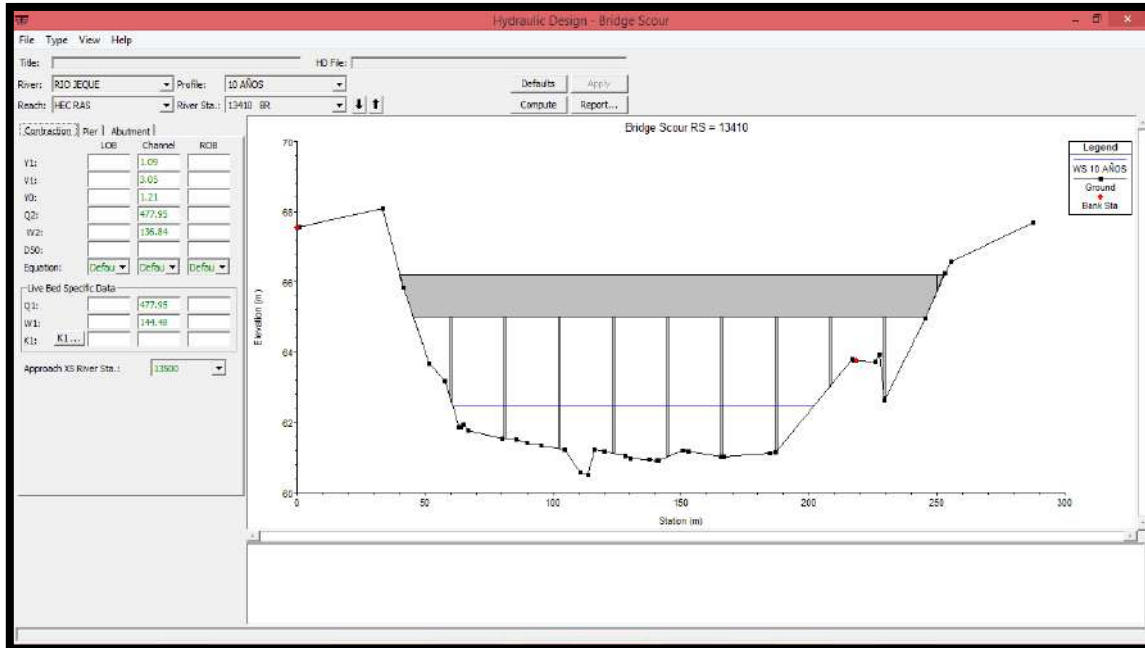
Para introducir los datos de flujo (*steady flow data*), de la ventana de programa principal *Edit* y seleccionamos la opción *Steady Flow Data*. Esto activa el *Steady Flow Data Editor* y un perfil con un valor de flujo para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años.

Análisis de Flujo constante

Después de introducir datos de geometría y flujo, se corre el programa. Esto activa el *Editor de Distribución del Flujo* mostrando la cantidad de secciones, en nuestro estudio contamos con 966 secciones productos de las secciones topográficas ingresados.

Diseño hidráulico

Después de realizar el análisis de flujo, se selecciona las opciones *Run*, *Hydraulic Design Functions*, *Functions*, y *Scour at Bridges*. Esto activa la opción *Bridge Scour Editor* como se muestra en la figura siguiente:



Diseño Hidráulico: editor de datos para socavación general por contracción

La parte superior del editor suele seleccionar el *Río*, *Estación del Río*, y número de perfil para el registrar análisis. El puente está localizado en la estación 13410.

Las demás pestañas están divididas en tres áreas: tabuladores de datos de entrada, un gráfico, y una ventana de resultados. Hay tres tabuladores, uno para cada uno de los tres tipos de socavación: general, en pilares, y estribos. Cuando se selecciona la opción **Computar**, los resultados se muestran gráficamente en la ventana de resultados.

Socavación general (contraction)

El usuario puede ingresar el D_{50} , la temperatura de agua para el factor $K1$, y seleccionar la ecuación para ser utilizada en el análisis.

Para nuestros cálculos, el D_{50} es de 12.351 mm, para el LOB, canal principal, y ROB.

D50:	<input type="text" value="12.35"/>	<input type="text" value="12.35"/>	<input type="text" value="12.35"/>
Equation:	<input type="button" value="Clear"/>	<input type="button" value="Clear"/>	<input type="button" value="Clear"/>

Para introducir la temperatura de agua al seleccionar **K1** se activa el **K1 Editor of Data**. Al introducir la temperatura el programa automáticamente determina que el valor de K1 valores 0.69, 0.64, y 0.59 para el LOB, canal principal, y ROB, respectivamente.

	LOB	Channel	ROB
S1 :	1.000000	0.004152	0.004152
V* (m/s):	5.17	0.33	0.13
Water Temp (C):		16.0	
w (m/s):	0.4724	0.4724	0.4724
V*/w :	10.944	0.699	0.275
K1 :	0.690	0.640	0.590

OK Cancel

EG slope in approach section

K1 Editor de Datos

Finalmente, al seleccionar la opción **Computar** en la parte superior del editor, los resultados aparecen en forma tabular en la esquina derecha del editor y también gráficamente. Como revisión de los resultados para la Socavación general, la velocidad crítica (V_c) para el LOB estuvo determinado en 4.17 m/s, por la ecuación de Laursen.

$$V_C = K_u y_1^{1/6} D_{50}^{1/3}$$

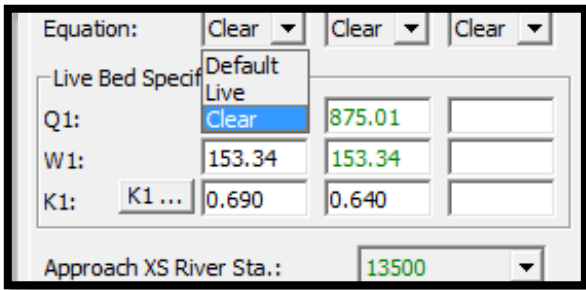
Donde:

V_C = Velocidad crítica por encima de qué material de tamaño D_{50} y más pequeño será transportado, (m / s)

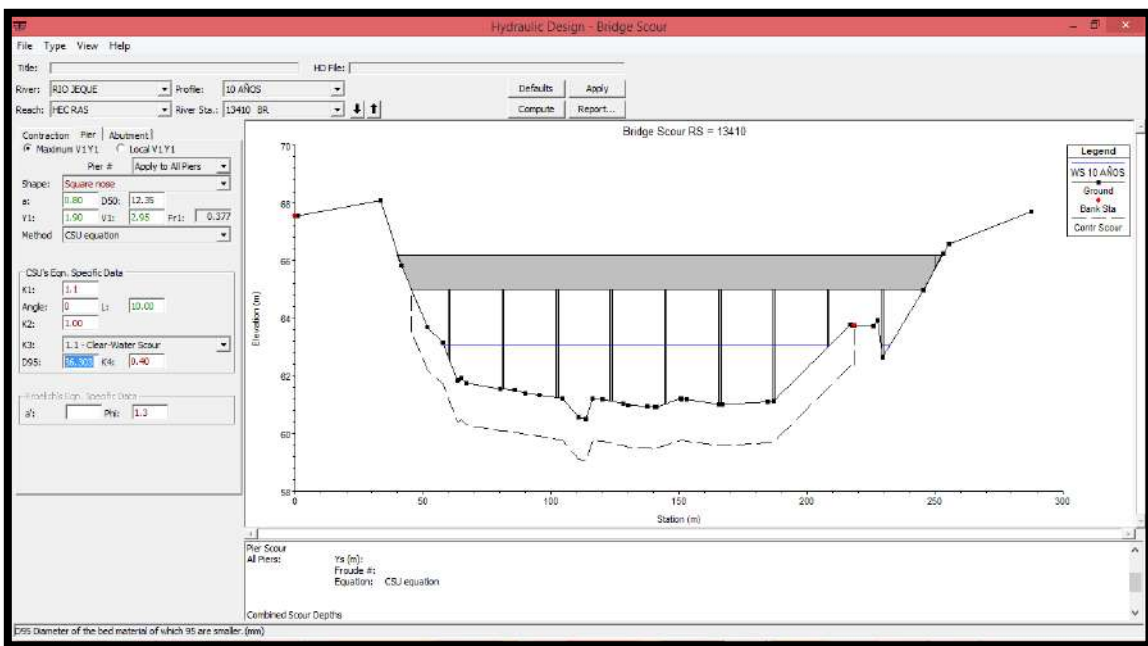
y_1 = Profundidad promedio de flujo en el canal principal o en el área del banco superior en la sección de aproximación, (m)

D_{50} = Tamaño de partícula del material del lecho en una mezcla de los cuales 50% son más pequeños, (m)

- Selección de ecuación o dejarlo en default

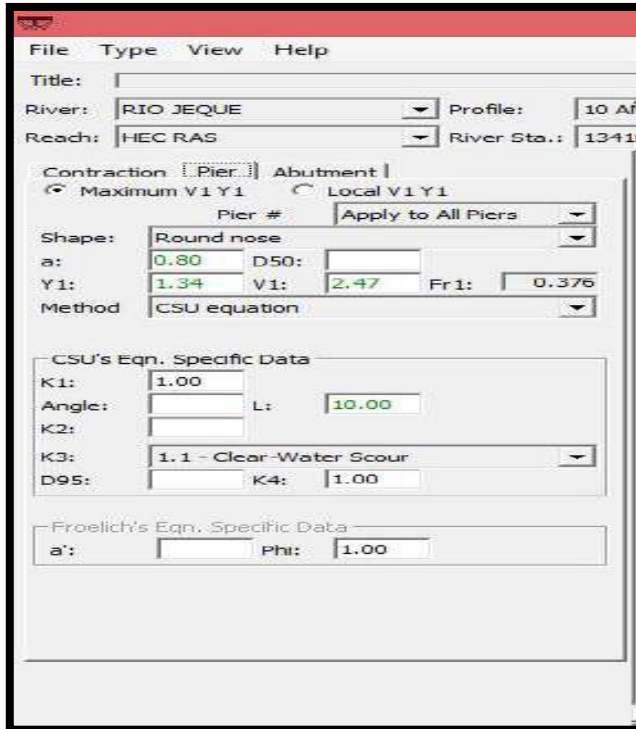


Finalmente, la socavación general (Y_s) se determinó en 2.78 y 2.78 metros para el LOB y canal principal, respectivamente. Como nota final, se tiene una socavación insignificante de 0.03m para el ROB porque el Estribo derecho extendió el canal principal. Esta socavación es mostrada en la exhibición gráfica.



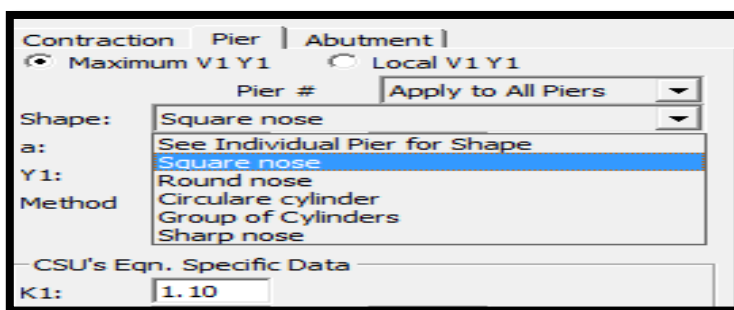
Socavación en pilares

Seleccionar la pestaña **Pier**, el modelo tiene la opción de utilizar la ecuación de CSU o de Froehlich. El usuario puede reemplazar cualquiera de estos valores en el campo apropiado.

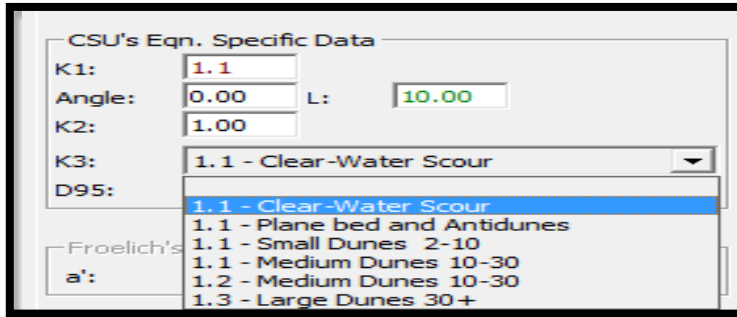


Diseño Hidráulico: editor de datos para socavación local en pilares

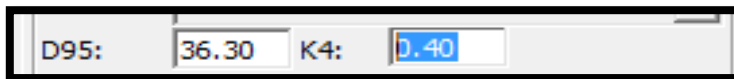
En esta investigación, el $V1$ y $Y1$ estuvieron seleccionados para informar al programa que debe utilizar las profundidad y valores de velocidades independiente para cada estribo. el método seleccionado por defecto es el “CSU equation.” Luego, la Forma de los *piers* estuvo seleccionado como “nariz cuadrada” puesto que el $K1$ tiene valor de 1.10.



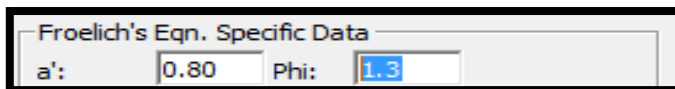
El D_{50} es de 12.351 mm, el ángulo 0 grados puesto que el valor de $K2$ es 1.00. Luego, la condición de cama se selecciona como “sección de agua clara” (este conjunto $K3 = 1.1$)



El D₉₅ es 36.303mm.



- Factor de seguridad por la forma del pilar para la ecuación de Froelich, es añadido automáticamente.



Esto completa la entrada de datos requeridos, entonces al **Computar**, los resultados se muestran gráficamente. El *pier* registra una profundidad de socavación (Ys) para cada pilar, como ejemplo, la profundidad para el pilar número 3 es de 1.12m.

Socavación en Estribos

Para la socavación en estribos el programa puede utilizar la ecuación de Froehlich o la ecuación de Hire. Las variables para las ecuaciones aparecen en el lado izquierdo del tabulador y sus valores son obtenidos de los análisis hidráulicos.

Se tiene que introducir la forma del estribo, el ángulo de ataque de la corriente, y seleccionar la ecuación para ser utilizada. Para nuestra investigación, se seleccionó (K1) “Nariz cuadrada”.

Verticalidad del estribo

K1:	1.00 - Vertical abutment
Skew (deg):	1.00 - Vertical abutment
K2:	0.82 - Vert. with wing walls
Equation:	0.55 - Spill-through abutment
	HIRE

El ángulo de ataque de la corriente es 90 grados dando un K2 de 1.00

Angulo de ataque del flujo.

Skew (deg):	90.00	90.00
K2:	1.00	1.00

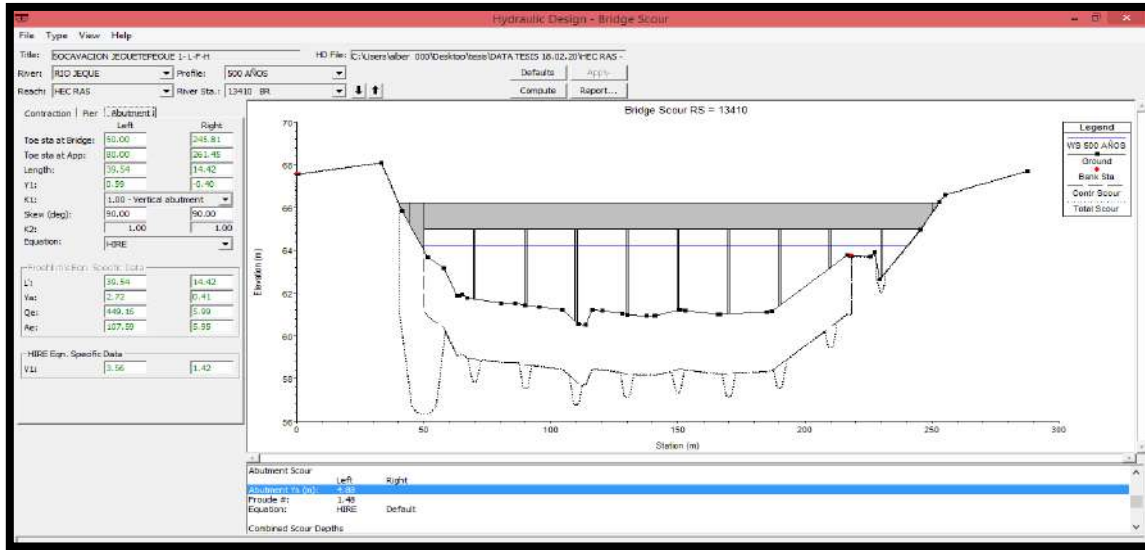
Para ambos pilares el izquierdo y derecho. Finalmente, la Ecuación se seleccionó en “Default.” Con esta selección, el programa calculará el L/y_1 para determinar que ecuación utilizará.

Elección de ecuación o dejarlo en default.

Equation:	HIRE
	Default
	Froehlich
	HIRE

El modelamiento está referido al capítulo 10 *Estimating Scour at Bridges* del *Hydraulic Reference Manual 5.0*.

Los resultados se muestran gráficamente, se usó la ecuación de Hire y la socavación es de 4.88m y 0m, respectivamente para el estribo izquierdo y derecho. Además, la tabla de resumen mostró los valores del Froude que se utilizaron en el cálculo.

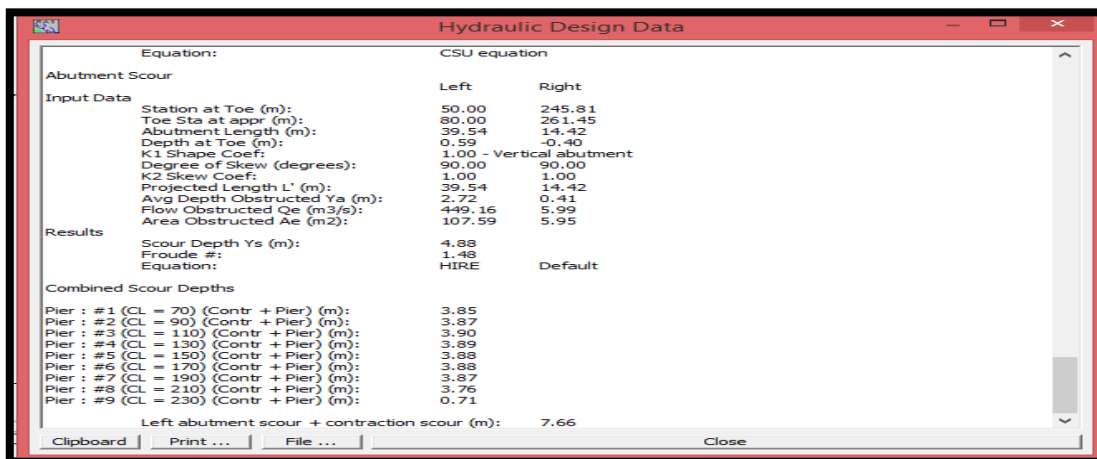


Diseño Hidráulico: editor de datos para socavación local en estribos

Socavación Total

La socavación total del puente es una combinación de la socavación general (contraction scour) y local (pier o abutment). Se puede visualizar la tabla de resumen.

Esta tabla se obtiene seleccionando la opción *Copy table to Clipboard*.



Equation:		CSU equation	
Abutment Scour			
Input Data		Left	Right
Station at Toe (m):		50.00	245.81
Toe Sta at appr (m):		80.00	261.45
Abutment Length (m):		39.54	14.42
Depth at Toe (m):		0.59	-0.40
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):		39.54	14.42
Avg Depth Obstructed Ya (m):		2.72	0.41
Flow Obstructed Qe (m3/s):		449.16	5.99
Area Obstructed Ae (m2):		107.59	5.95
Results			
Scour Depth Ys (m):		4.88	
Froude #:		1.48	
Equation:		HIRE	Default
Combined Scour Depths			
Pier : #1 (CL = 70) (Contr + Pier) (m):		3.85	
Pier : #2 (CL = 90) (Contr + Pier) (m):		3.87	
Pier : #3 (CL = 110) (Contr + Pier) (m):		3.90	
Pier : #4 (CL = 130) (Contr + Pier) (m):		3.89	
Pier : #5 (CL = 150) (Contr + Pier) (m):		3.88	
Pier : #6 (CL = 170) (Contr + Pier) (m):		3.88	
Pier : #7 (CL = 190) (Contr + Pier) (m):		3.87	
Pier : #8 (CL = 210) (Contr + Pier) (m):		3.76	
Pier : #9 (CL = 230) (Contr + Pier) (m):		0.71	
Left abutment scour + contraction scour (m):		7.66	

Resumen de los resultados para socavación en el puente

Los primeros tres resultados de la tabla muestran la socavación general, en pilares, y en estribos, en la parte final de la tabla se muestra la combinación de profundidades. Para este caso, la socavación local en pilares y la socavación general es de 7.66 metros (= 4.88 + 2.78) para el estribo izquierdo y 0.03 metros (= 0 + 0.03)

para el estribo derecho. Además, el total de socavación en el pilar numero 3 es de 3.9 m (1.12+2.78).

Finalmente, la socavación se muestra gráficamente, la línea gruesa representa la socavación general y la línea delgada retrata la socavación total. Este gráfico se obtiene seleccionado *Copy Plot to Clipboard* del menú.

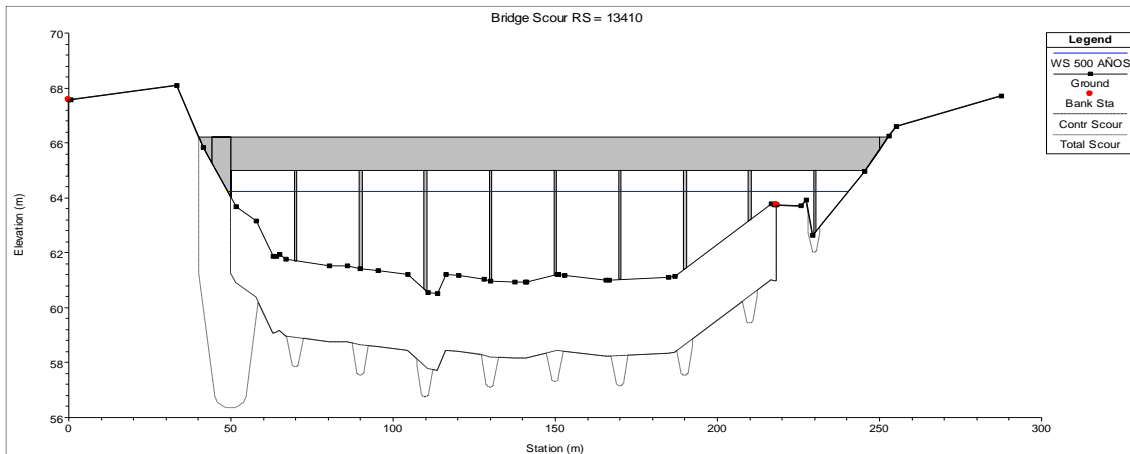


Figura II.16. Cálculo de la profundidad de Socavación Total en HEC RAS
 (Fuente: Elaboración propia)

Resumen

Para computar la socavación en los puentes el usuario primero tiene que desarrollar un modelo del sistema de río para determinar los parámetros hidráulicos. Entonces, el programa automáticamente incorporará los resultados hidráulicos al *Bridge Scour Editor*. El usuario puede ajustar cualquiera de los valores que el programa ha seleccionado. Para cada registro de socavación, el modelador está preparado para introducir sólo una cantidad mínima de datos adicionales. Los resultados de socavación son mostrados tabulada y gráficamente. Finalmente, el usuario puede seleccionar *The Detail Report* del *Bridge Scour Editor* para obtener una tabla que muestra un listado con los datos de entrada utilizados y los resultados del análisis.

2.3.8.7. Diseño de obras de protección en RIVER

Se procesó la información obtenida del estudio geotécnico, hidrológico y modelamiento hidráulico para poder diseñar diques laterales y mallas de escollera para protección de pilares y estribos.

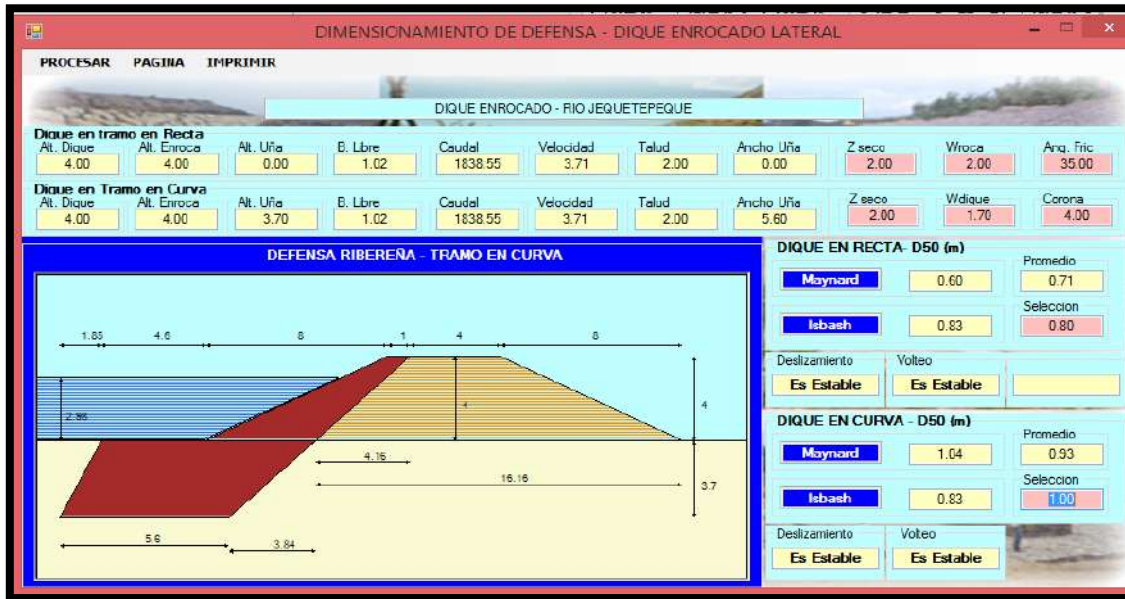


Figura II.17. Diseño de Enrocados con RIVER
 (Fuente: Elaboración propia)

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. DEL PROCESAMIENTO DE DATOS

3.1.1. Estudio Topográfico

El levantamiento topográfico consta de 48,320m partiendo desde la orilla del mar (0+000) hasta la represa Gallito Ciego (48+320), el puente Libertad se ubica en la progresiva 13+410.

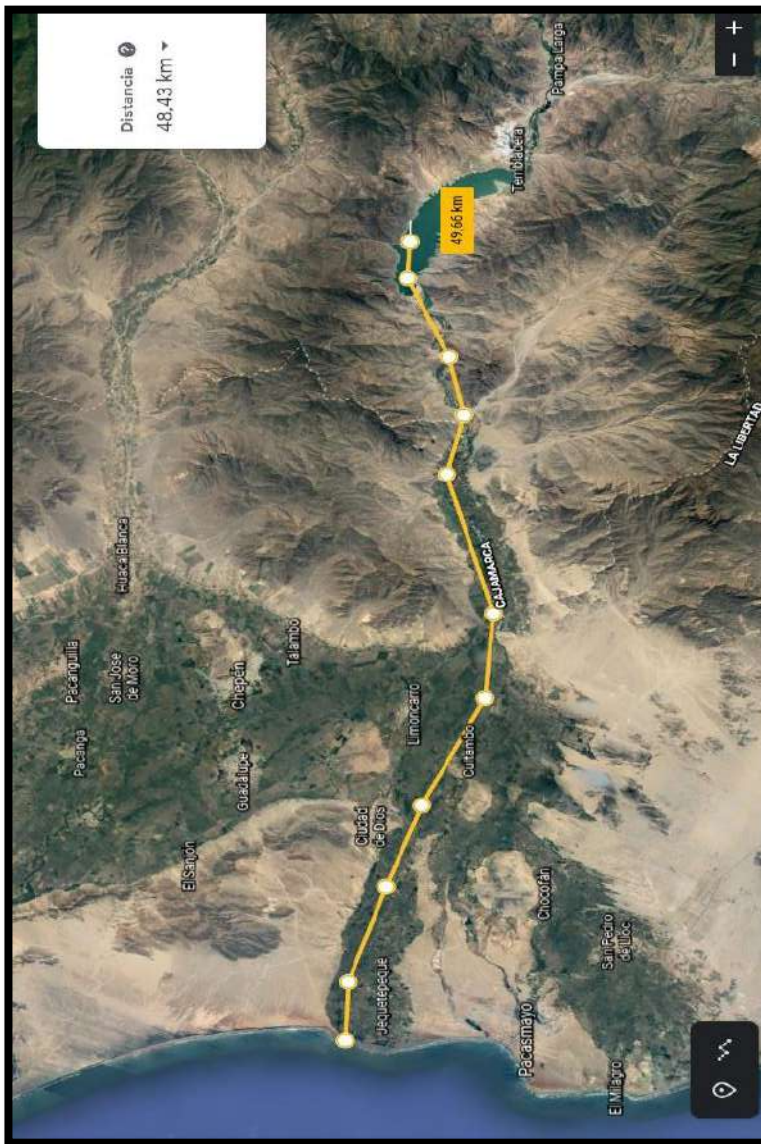


Figura III.1. Tramo del levantamiento topográfico
(Fuente: Elaboración Propia)

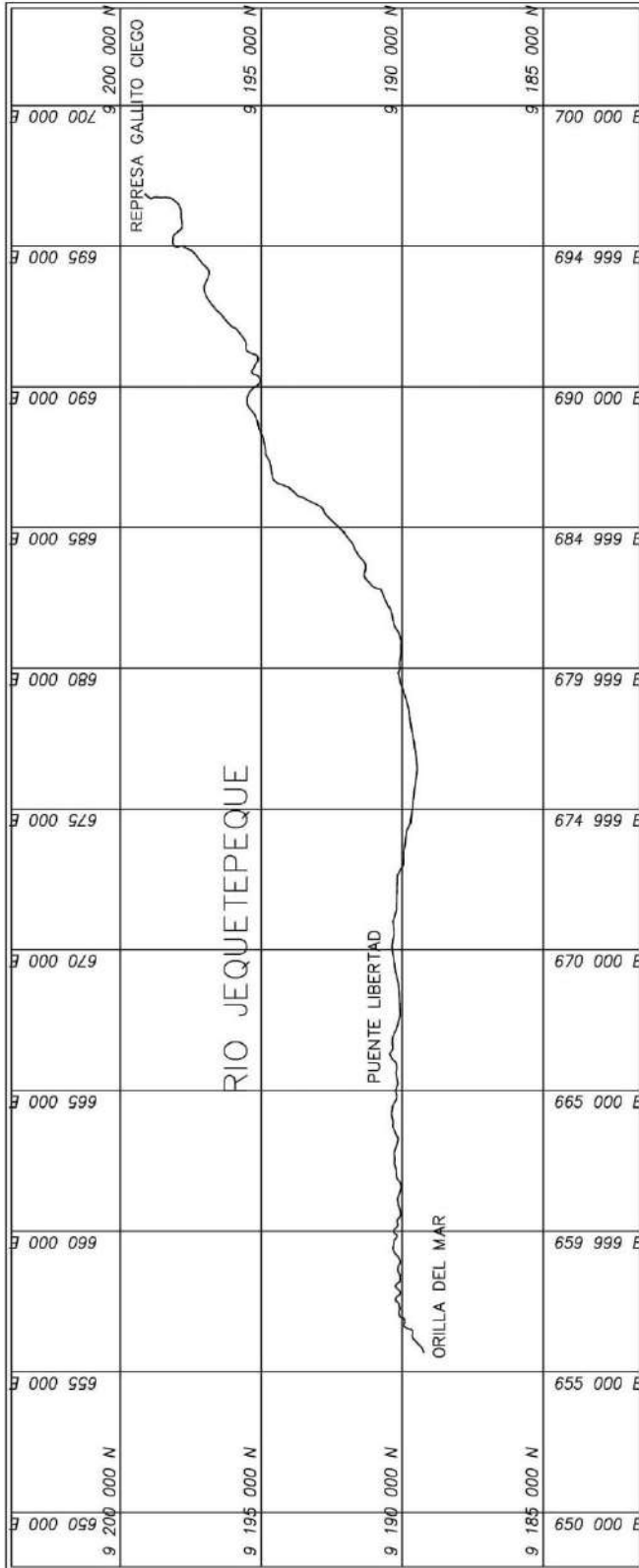


Figura III.2. Plano del levantamiento topográfico
 (Fuente: Elaboración Propia)

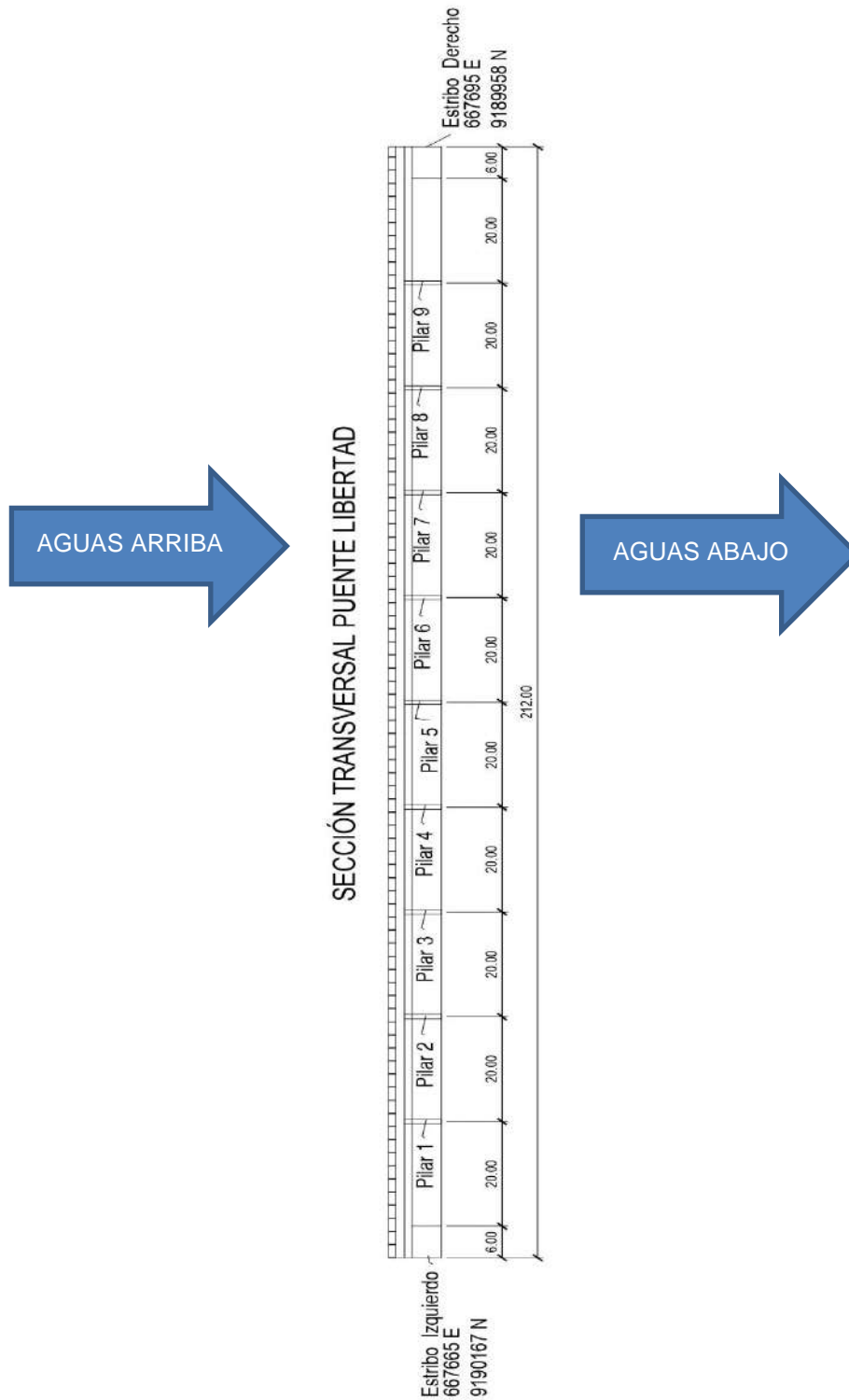


Figura III.3. Sección transversal del puente Libertad
 (Fuente: Elaboración Propia)

3.1.2. Estudio Geotécnico

3.1.2.1. Granulometría

Las 6 muestras fueron analizadas por separado (ver ANEXO 6), y también analizadas de manera promediada dando como resultado el siguiente cuadro granulométrico.

Tabla III.1

Análisis granulométrico del material del río Jequetepeque

TAMIZ (N°)	Apertura Tamiz(mm)	Peso retenido (g)	Peso retenido acumulado (g)	retenido %	Reten. acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.5	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	353.27	353.27	35.33	35.33	64.67
3/4"	19.05	55.83	409.10	5.58	40.91	59.09
1/2"	12.7	84.65	493.75	8.46	49.37	50.63
3/8"	9.525	57.37	551.12	5.74	55.11	44.89
N° 4	4.76	93.57	644.69	9.36	64.47	35.53
N° 8	2.38	46.70	691.39	4.67	69.14	30.86
N° 10	2	8.82	700.21	0.88	70.02	29.98
N° 16	1.19	15.78	715.99	1.58	71.60	28.40
N° 30	0.59	30.42	746.41	3.04	74.64	25.36
N° 40	0.426	44.11	790.51	4.41	79.05	20.95
N° 50	0.297	38.63	829.14	3.86	82.91	17.09
N° 100	0.149	113.26	942.40	11.33	94.24	5.76
N° 200	0.074	36.77	979.17	3.68	97.91	2.09
- N° 200	-	20.86	1000.00	2.09	100.00	0.00

Tamaño máximo nominal: 1”.

De este cuadro se obtiene la curva granulométrica, clasificación SUCS y los diámetros de partículas necesarios para el cálculo de socavación.

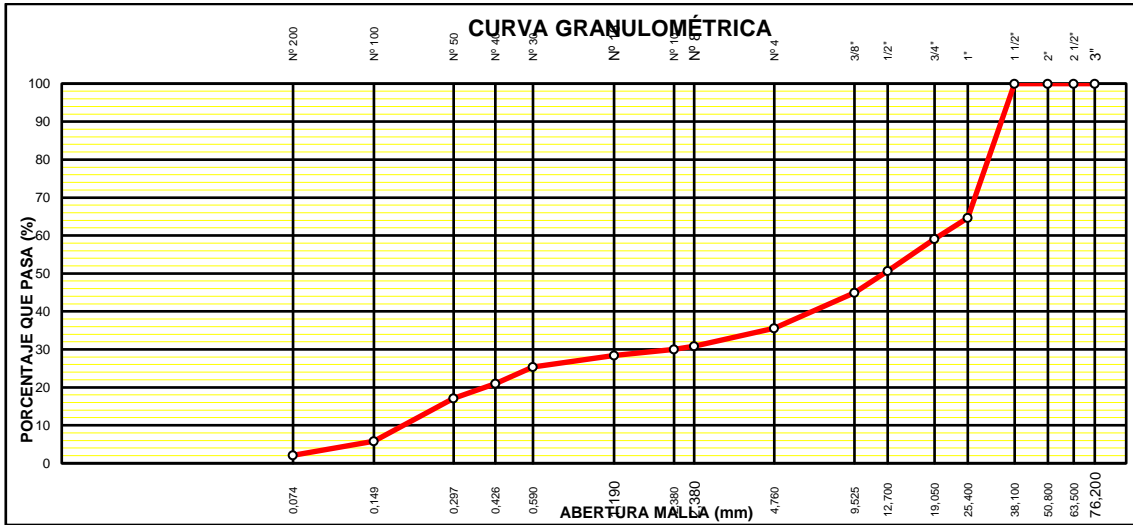


Figura III.4. Curva Granulométrica
(Fuente: Elaboración Propia)

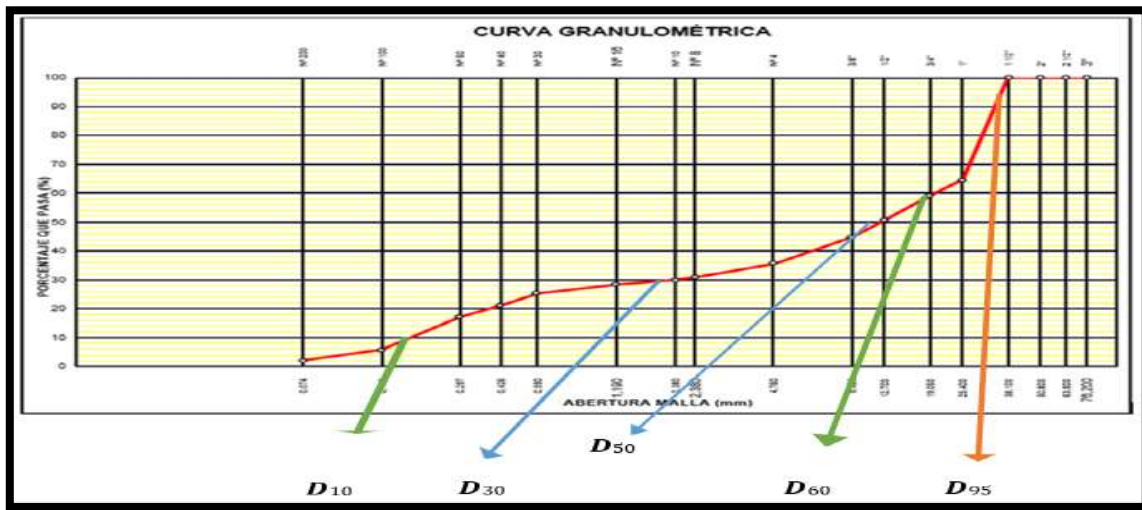


Figura III.5. Diámetros representativos del material del suelo
(Fuente: Elaboración Propia)

Resultados:

Tabla III.2

Diámetros (mm) representativos del material del río

D ₁₀	D ₃₀	D ₅₀	D _m	D ₆₀	D ₉₅	C _c	C _u
0.204	2.009	12.351	12.319	20.086	36.303	0.99	98.461

SW (arena bien graduada) : $C_u > 6$; $1 < C_c < 3$

GW (grava bien graduada) : $C_u > 4$; $1 < C_c < 3$

Clasificación SUCS: GP (GRAVA POBREMENTE GRADUADA CON ARENA).

Resultados:

Tabla III.3

Parámetros geomorfológicos de la cuenca Jequetepeque

Parámetros Geomorfológicos de la cuenca Jequetepeque	
Area	3935.42 km ²
Perímetro	466.55 km
Cota máxima	4201.00
Cota mínima	0.00
Longitud cauce principal	173.29km
Pendiente del cauce principal	0.0242m/m
Índice de compacidad	2.097
Factor de forma	0.131
Pendiente del tramo evaluado	0.0085m/m

3.1.3.2. Caudal de diseño

Tabla III.4

Información Hidrométrica Estación Yonán

AÑO	CAUDALES MÁXIMOS DIARIOS (m³/s)	AÑO	CAUDALES MÁXIMOS DIARIOS (m³/s)
1965	199.00	1991	251.80
1966	102.10	1992	110.90
1967	239.80	1993	244.60
1968	57.00	1994	319.40
1969	122.20	1995	146.90
1970	139.90	1996	294.30
1971	344.30	1997	174.30
1972	376.00	1998	509.50
1973	239.90	1999	379.60
1974	134.80	2000	340.00
1975	197.50	2001	409.40
1976	130.70	2002	333.70
1977	246.70	2003	128.30
1978	37.90	2004	106.60
1979	205.50	2005	194.50
1980	52.20	2006	331.60
1981	237.90	2007	194.90
1982	76.10	2008	393.00
1983	692.40	2009	338.90
1984	512.10	2010	264.20
1985	40.30	2011	219.40
1986	145.30	2012	311.90
1987	335.20	2013	270.70
1988	102.20	2014	135.70
1989	205.40	2015	438.20
1990	102.60	2017	983.85

(fuente: Estación Hidrológica Yonán)

a. Caudal de diseño por método estadísticos

✓ Según River:

Tabla III.5

Caudal de Diseño según métodos estadístico con RIVER

T.R. (años)	Método Estadístico (m ³ /s)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
2	204.273	224.056	214.754
5	363.166	374.089	366.491
10	490.602	473.424	471.834
25	676.120	598.934	605.921
50	831.780	692.045	704.924
100	1002.186	784.468	802.357
150	1109.198	838.362	858.711
300	1305.479	930.336	954.022
500	1461.489	998.043	1023.456
1000	1689.532	1089.862	1116.587
Coef. R2	0.98779	0.97880	0.98115

✓ Según Hidroesta

Tabla III.6

Caudal de diseño según métodos estadísticos con HIDROESTA

CAUDAL DE DISEÑO (m ³ /s)		
T.R. (años)	GUMBEL + DELTA Q	NASH + DELTA Q
500	1247.64	1118.37

b. Caudal de diseño por métodos Empíricos con River

Tabla III.7

Caudal de diseño por métodos Empíricos con River

T.R.	Método Empírico Mac Math	Caudal de Diseño (m ³ /s)
2	117	117
5	126	126
10	206	206
25	289	289
50	371	371
100	476	476
500	836	836

✓ Caudal Instantáneo

Tabla III.8

Caudal de diseño por el método de Fuller

T.R.	Q. Instantáneo
2	478.60
5	704.28
10	875.01
25	1100.69
50	1271.42
75	1371.28
100	1442.14
300	1712.73
500	1838.55
1000	2009.27

✓ **Caudal de diseño por el método Regional de Envolvente de Creager**

Tabla III.9

Caudal de diseño por el método Regional de Envolvente de Creager

T	Log (T)	Am(A ⁻ⁿ)	Q. max
2	0.30	429.82	226.43
5	0.70	429.82	525.76
10	1.00	429.82	752.19
25	1.40	429.82	1051.51
50	1.70	429.82	1277.94
75	1.88	429.82	1410.40
100	2.00	429.82	1504.38
150	2.18	429.82	1636.83
300	2.48	429.82	1863.26
500	2.70	429.82	2030.13
1000	3.00	429.82	2256.56

✓ **Caudal de diseño por el método de Tucci:**

Tomando como referencia el máximo caudal registrado en el fenómeno de El Niño 2017

se calcula el caudal de diseño con el método de Tucci.

$$Q_{md2017} = 983.85 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Área de Cuenca} = 3935.43 \text{ Km}^2$$

$$Q_{max} = Q_{md}(1+1.2*3935.43^{-0.036})$$

$$Q_{max} = 1860.23 \text{ m}^3/\text{s}.$$

c. Resumen del cálculo de caudal de diseño

Tabla III.10

Resumen del cálculo de caudal de diseño

CAUDAL DE DISEÑO m ³ /s									
T.R.	Método Estadístico					Método Empírico	Caudal Instantáneo	Regional Creager	ENOS El Niño 2017
	Log Normal	Gumbel	Pearson III	Gumbel + Delta Q	Nash + Delta Q	Método de Mac Math	Método de Fuller		Método de Tucci
2	204.273	224.056	214.754	-	-	117	478.60	226.43	1860.23
5	363.166	374.089	366.491	-	-	126	704.28	525.76	
10	490.602	473.424	471.834	-	-	206	875.01	752.12	
25	676.12	598.934	605.921	-	-	289	1100.69	1051.51	
50	831.78	692.045	704.924	-	-	371	1271.42	1277.95	
75	-	-	-	-	-	-	1371.28	1410.40	
100	1002.186	784.468	802.357	-	-	476	1442.14	1504.38	
150	1109.198	838.362	858.711	-	-	-	-	1636.83	
300	1305.479	930.336	954.022	-	-	-	1712.73	1863.26	
500	1461.489	998.043	1023.456	1247.64	1118.37	836	1838.55	2030.13	
1000	1689.532	1089.862	1116.587	-	-	-	2009.27	2256.56	
Coef. R2	0.9878	0.9788	0.9812						

✓ Encontramos que el método más apropiado a emplear en esta investigación es el método Fuller, debido a que emplea datos geomorfológicos e hidrométricos, además, En base a lo que se menciona en el Manual de hidrología y drenaje (2019) del MTC “se debe dar un tratamiento especial en la zona de influencia de la Vertiente del Pacífico del Perú, departamentos de Piura y Tumbes”, es el que arroja resultados más cercanos al método Tucci, considerando así la ocurrencia de fenómenos extremos.

✓ El método Log Normal es nuestra segunda opción a emplear por tener un Coeficiente de correlación R2 mayor en comparación a los demás métodos estadísticos, sin embargo, consideramos que en los caudales históricos empleados como data están incluidos caudales de años en los que hubo sequía, lo que mermaría el caudal a diseñar teniendo en cuenta el constante aumento de temperatura atmosférica causado por el cambio climático.

d. Caudal de Diseño

Tabla III.11
Elección del Caudal de Diseño

T.R. (AÑOS)	CAUDAL DE DISEÑO (m ³ /s)
2	478.60
5	704.28
10	875.01
25	1100.69
50	1271.42
75	1371.28
100	1442.14
300	1712.73
500	1838.55
1000	2009.27

3.1.4. Simulación Hidráulica con HEC RAS

3.1.4.1. Sección geométrica de emplazamiento del puente Libertad, 13+410

Tabla III.12

Geometría del lecho del rio, progresiva 13+410 aguas arriba del puente

ESTACION – ELEVACION DEL LECHO DEL RIO - AGUAS ARRIBA									
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	67.55	.815	67.56	33.41	68.09	41.421	65.82	51.572	63.68
57.706	63.16	63.216	61.85	64.076	61.86	65.047	61.93	66.838	61.75
80.243	61.54	85.827	61.51	90.016	61.40	95.411	61.34	104.44	61.21
110.78	60.56	113.62	60.5	116.25	61.21	120.23	61.17	128.24	61.04
130.13	60.97	137.69	60.94	140.73	60.92	141.20	60.92	150.79	61.20
150.90	61.2	151.05	61.20	152.99	61.17	165.59	61.01	166.82	61.01
184.82	61.11	186.95	61.13	216.81	63.78	217.56	63.75	217.81	63.74
218.36	63.74	225.88	63.72	227.59	63.91	229.41	62.63	245.54	64.95
253.08	66.26	255.37	66.58	287.69	67.69				

Tabla III.13

Geometría del lecho del rio, progresiva 13+410 aguas abajo del puente

ESTACION – ELEVACION DEL LECHO DEL RIO - AGUAS ABAJO									
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	67.02	21.393	66.46	28.2	65.28	28.215	65.28	32.092	65.91
43.284	64.86	57.639	62.77	65.407	61.67	69.763	61.60	74.505	61.55
78.916	61.58	86.315	61.61	90.972	61.93	92.941	62.05	96.098	61.92
101.77	61.26	111.62	60.54	116.96	60.44	121.25	60.43	126.17	60.08
135.32	60.53	136.95	60.27	150	60.44	159.99	60.57	163.96	60.73
165.92	60.73	167.30	60.77	182.20	60.84	183.11	60.82	193.78	60.81
196.53	60.80	196.73	60.79	209.65	60.92	217.32	61.85	223.09	61.51
224.62	61.16	227.21	61.21	228.03	60.95	230.7	61.26	243.39	62.72
243.58	62.59	245.26	62.83	257.13	64.89	260.72	65.4	300	66.75

Tabla III.14
Geometría del tablero

ESTACION- ELEVACION DEL TABLERO					
Aguas arriba			Aguas abajo		
Estación	Elevación superior de tablero (m)	Elevación inferior de tablero (m)	Estación (m)	Elevación superior de tablero (m)	Elevación inferior de tablero (m)
0	66.2	65	0	66.2	65
38	66.2	65	38	66.2	65
250	66.2	65	250	66.2	65
300	66.2	65	300	66.2	65

Tabla III.15
Geometría de los estribos

ESTACION- ELEVACION DEL TABLERO							
Estribo Izquierdo				Estribo derecho			
Estación (m)	Elevación (m)	Estación (m)	Elevación (m)	Estación (m)	Elevación (m)	Estación (m)	Elevación (m)
44	66.2	44	66.2	256	66.2	256	66.2
50	66.2	50	66.2	250	66.2	250	66.2

Tabla III.16
Geometría de los pilares

ESTACION- ELEVACION DE LOS PILARES					
PILAR	ESTACION (m)	ANCHO (m)	ELEVACION (m)	ANCHO (m)	ELEVACION (m)
1	70	0.8	65	0.8	60
2	90	0.8	65	0.8	60
3	110	0.8	65	0.8	60
4	130	0.8	65	0.8	60
5	150	0.8	65	0.8	60
6	170	0.8	65	0.8	60
7	190	0.8	65	0.8	60
8	210	0.8	65	0.8	60
9	230	0.8	65	0.8	60

3.1.4.2. Parámetros hidráulicos del tramo 13+000 al 14+000

✓ Rugosidad de Manning

$n_0 = 0.024$ Grava fina

$n_1 = 0.005$ Irregularidad menor

$n_3 = 0.000$ Variación gradual

$n_4 = 0.005$ Vegetación baja

$m_5 = 1.00$ No existen meandros

$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 = 0.034$

Tabla III.17

Parámetros hidráulicos, tramo 13+000 al 14+000, $T=10$ años

River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
14000	T=10	875.01	65.21	67.3		67.74	0.004623	2.95	296.42	198.74	0.77
13950	T=10	875.01	65.12	66.79	66.79	67.42	0.008229	3.51	249.35	198.79	1
13900	T=10	875.01	63.04	65.09	65.53	66.59	0.034631	5.42	161.45	197.03	1.91
13850	T=10	875.01	62.4	65.59	64.79	65.86	0.001763	2.3	380.64	179.81	0.5
13800	T=10	875.01	62.74	64.86	64.86	65.65	0.007763	3.93	222.37	142.95	1.01
13750	T=10	875.01	61.93	64.56	64.31	65.15	0.004717	3.41	256.57	142.13	0.81
13700	T=10	875.01	61.75	64.45		64.92	0.003411	3.03	288.49	147.56	0.69
13650	T=10	875.01	61.71	64.23		64.73	0.003942	3.13	279.63	152.16	0.74
13600	T=10	875.01	61.52	64.12		64.53	0.003035	2.85	306.57	157.52	0.65
13550	T=10	875.01	61.13	63.78		64.33	0.00476	3.28	266.49	155.72	0.8
13500	T=10	875.01	61.31	63.47		64.07	0.005461	3.44	254.09	153.34	0.85
13450	T=10	875.01	60.5	63.34	62.86	63.78	0.003248	2.92	301	162.22	0.67
13410	T=10	Bridge									
13400	T=10	875.01	60.09	63.16		63.42	0.00177	2.31	387.28	192.1	0.51
13350	T=10	875.01	59.61	63		63.31	0.002259	2.53	357.97	186.32	0.57
13300	T=10	875.01	59.61	62.48	62.33	63.06	0.005715	3.42	263.05	174.2	0.87
13250	T=10	875.01	59.62	62.26	62.05	62.78	0.004793	3.24	281.2	214.84	0.8
13200	T=10	875.01	59.61	62.09		62.51	0.004961	3.03	320.12	274.21	0.8
13160	T=10	875.01	58.24	61.71	61.71	62.26	0.006882	3.38	275.69	256.35	0.93
13150	T=10	875.01	58.18	61.57	61.62	62.18	0.007806	3.55	261.87	247.68	0.98
13100	T=10	875.01	58.13	61.54	61.05	61.76	0.002279	2.2	433.54	342.37	0.55
13050	T=10	875.01	58.13	61.09	61.09	61.54	0.007956	3.11	295.92	319.4	0.96
13000	T=10	875.01	57.95	60.99	60.49	61.21	0.002152	2.19	441.85	339.55	0.54

(Fuente: Elaboración Propia)

Perfil de flujo para T=10 años

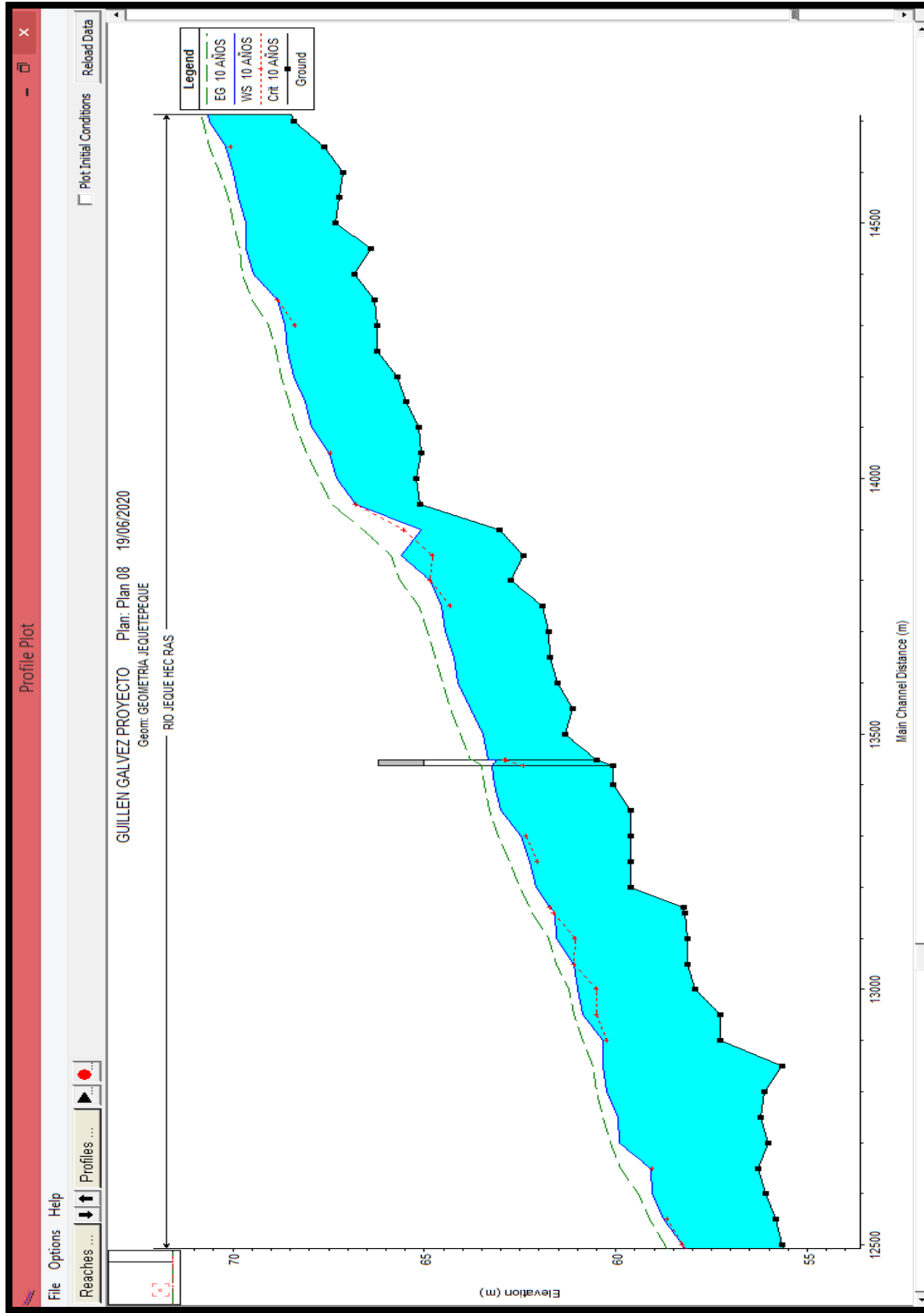


Figura III.7. Perfil de flujo, progresiva 12+500-14+500, T 10 años
(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla III.18

Parámetros hidráulicos, tramo 13+000 al 14+000, T=50 años

River Sta	Profile	Q	Min	W.S.	Crit	E.G.	E.G.	Vel	Flow	Top	Froude
		Total	Ch El	Elev	W.S.	Elev	Slope	Chnl	Area	Width	#
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	Chl
14000	T=50	1271.42	65.21	67.67	67.42	68.27	0.00479	3.43	370.73	206.24	0.81
13950	T=50	1271.42	65.12	67.15	67.15	67.95	0.007624	3.95	322.26	203.45	1
13900	T=50	1271.42	63.04	65.35	65.89	67.17	0.029578	5.99	212.33	198.11	1.85
13850	T=50	1271.42	62.4	66.17	65.18	66.52	0.001709	2.61	486.79	185.26	0.51
13800	T=50	1271.42	62.74	65.32	65.32	66.3	0.007122	4.38	290.41	149.02	1
13750	T=50	1271.42	61.93	64.51	64.77	65.83	0.010799	5.09	250.17	141.61	1.21
13700	T=50	1271.42	61.75	64.92	64.45	65.56	0.003577	3.55	358.05	149.63	0.73
13650	T=50	1271.42	61.71	64.7		65.37	0.003946	3.61	352.05	154.44	0.76
13600	T=50	1271.42	61.52	64.6		65.16	0.003111	3.31	383.57	160.23	0.68
13550	T=50	1271.42	61.13	64.25		64.96	0.004635	3.73	341.14	161.46	0.82
13500	T=50	1271.42	61.31	64.01		64.73	0.004585	3.75	339.38	161.22	0.82
13450	T=50	1271.42	60.5	63.93	63.32	64.45	0.002995	3.21	402.07	187.97	0.67
13410	T=50	Bridge									
13400	T=50	1271.42	60.09	63.71		64.05	0.001738	2.63	494.84	199.05	0.52
13350	T=50	1271.42	59.61	63.56		63.94	0.002242	2.82	468.56	207.39	0.58
13300	T=50	1271.42	59.61	62.8	62.75	63.63	0.006663	4.11	319.9	183.56	0.96
13250	T=50	1271.42	59.62	62.52	62.52	63.3	0.005999	3.99	339.64	236.45	0.92
13200	T=50	1271.42	59.61	62.39	62.26	62.94	0.005175	3.5	403.9	282.95	0.84
13160	T=50	1271.42	58.24	62.04	62.04	62.69	0.006887	3.71	364.85	284.33	0.95
13150	T=50	1271.42	58.18	61.91	61.96	62.61	0.00758	3.86	352.55	283.85	0.99
13100	T=50	1271.42	58.13	61.85	61.39	62.15	0.002425	2.55	542.45	350	0.58
13050	T=50	1271.42	58.13	61.36	61.36	61.92	0.007786	3.38	383.12	336.3	0.97
13000	T=50	1271.42	57.95	61.36	60.85	61.63	0.002101	2.46	566.03	345.67	0.55

(Fuente: Elaboración Propia)

Perfil de flujo para T=50 años

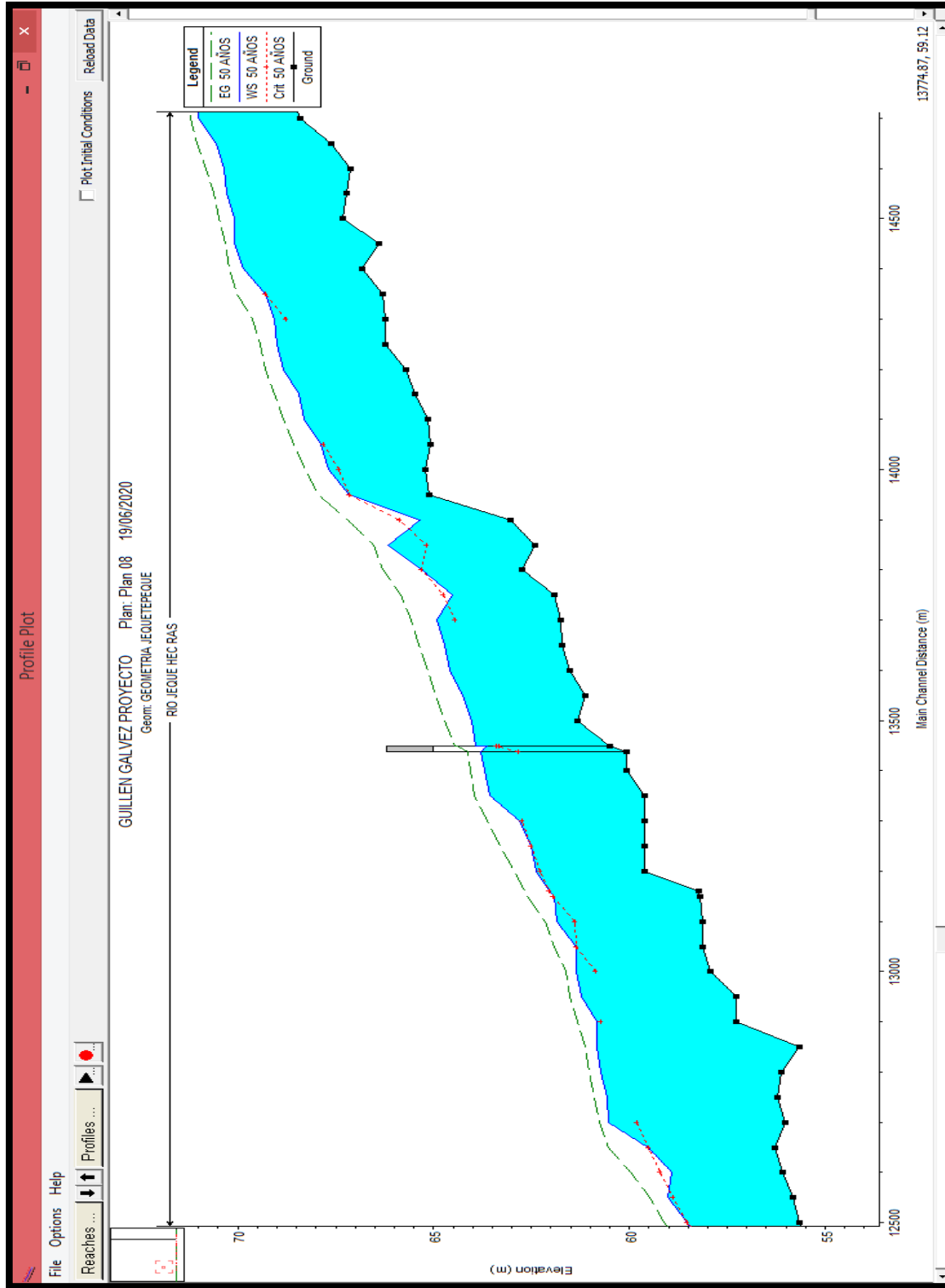


Figura III.8. Perfil de flujo, progresiva 12+500-14+500, T 50 años
 (Fuente: Elaboración Propia)

Tabla III.19

Parámetros hidráulicos, tramo 13+000 al 14+000, T=100 años

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 #
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	Chl
14000	T=100	1442.14	65.21	67.81	67.56	68.47	0.004847	3.6	401.87	231.55	0.83
13950	T=100	1442.14	65.12	67.3	67.3	68.16	0.007401	4.09	352.59	209.16	1
13900	T=100	1442.14	63.04	65.45	66.04	67.4	0.02792	6.18	233.28	198.66	1.82
13850	T=100	1442.14	62.4	66.39	65.33	66.77	0.001686	2.73	528.51	186.42	0.52
13800	T=100	1442.14	62.74	65.51	65.51	66.56	0.006935	4.54	317.8	151.46	1
13750	T=100	1442.14	61.93	64.68	64.94	66.1	0.010394	5.27	273.94	143.54	1.21
13700	T=100	1442.14	61.75	65.09	64.63	65.81	0.003645	3.75	384.86	150.42	0.75
13650	T=100	1442.14	61.71	64.89		65.62	0.003956	3.79	380.35	155.32	0.77
13600	T=100	1442.14	61.52	64.79		65.41	0.003138	3.49	413.77	161.29	0.69
13550	T=100	1442.14	61.13	64.44		65.21	0.004506	3.88	371.99	162.43	0.82
13500	T=100	1442.14	61.31	64.22		64.98	0.004391	3.88	373.3	165.56	0.81
13450	T=100	1442.14	60.5	64.15	63.5	64.7	0.002836	3.31	444.71	190.61	0.66
13410	T=100	Bridge									
13400	T=100	1442.14	60.09	63.92		64.3	0.001735	2.76	536.99	201.7	0.53
13350	T=100	1442.14	59.61	63.78		64.19	0.002146	2.92	514.13	210.21	0.58
13300	T=100	1442.14	59.61	62.92	62.92	63.86	0.007009	4.36	342.29	187.11	0.99
13250	T=100	1442.14	59.62	62.58	62.69	63.51	0.006871	4.37	354.36	241.57	0.99
13200	T=100	1442.14	59.61	62.46	62.38	63.1	0.005722	3.78	424.4	285.04	0.89
13160	T=100	1442.14	58.24	62.18	62.18	62.85	0.006519	3.78	405.83	292.3	0.93
13150	T=100	1442.14	58.18	62.02	62.1	62.77	0.007714	4	384.75	292.8	1.01
13100	T=100	1442.14	58.13	61.98	61.53	62.3	0.002442	2.67	586.06	350	0.59
13050	T=100	1442.14	58.13	61.45	61.45	62.07	0.007873	3.5	415.15	342.24	0.98
13000	T=100	1442.14	57.95	61.48	60.97	61.78	0.00214	2.58	609.61	347.79	0.56

(Fuente: Elaboración Propia)

Perfil de flujo para T=100 años

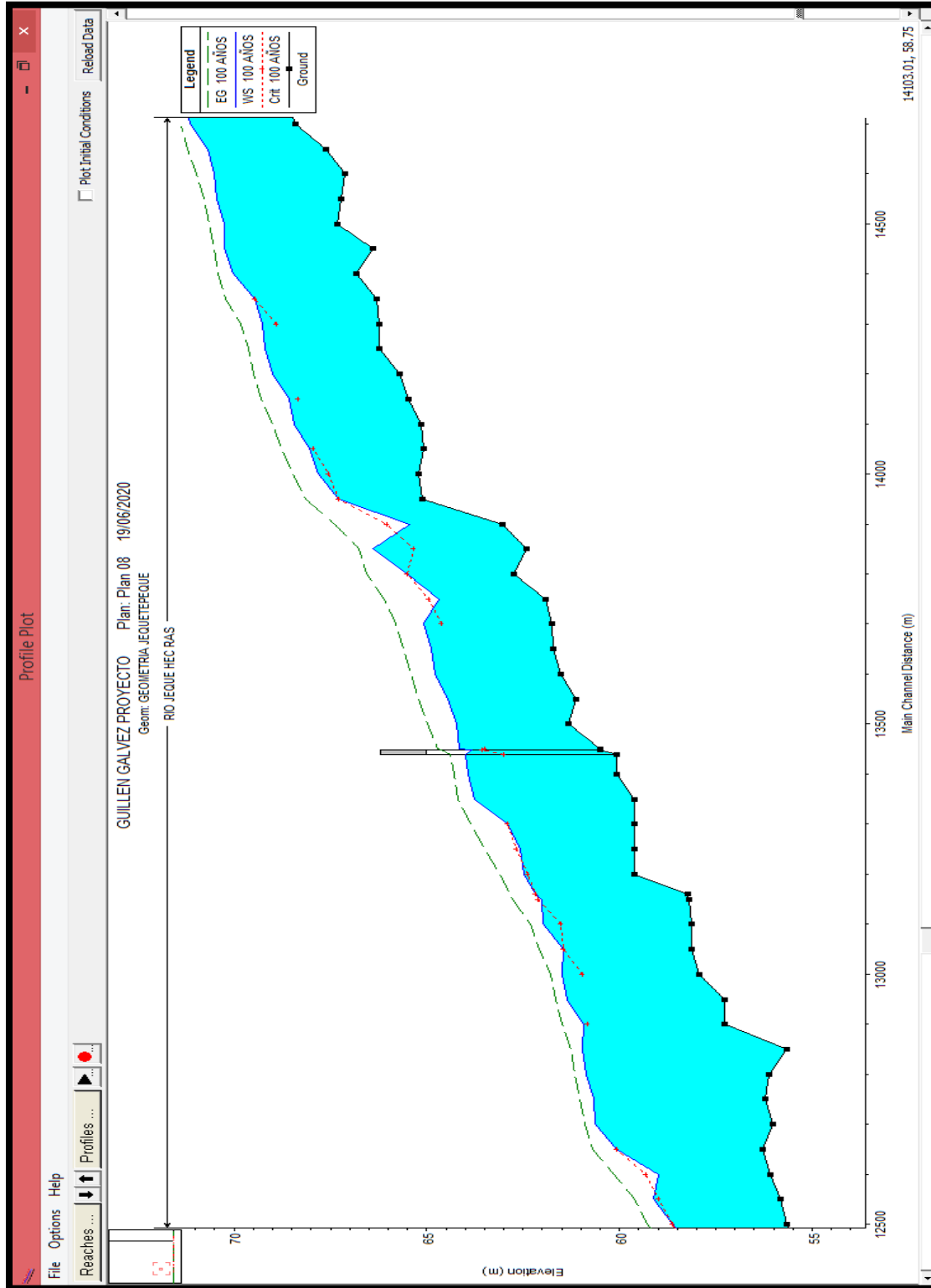


Figura III.9. Perfil de flujo, progresiva 12+500-14+500, T 100 años
 (Fuente: Elaboración Propia)

Tabla III.20

Parámetros hidráulicos, tramo 13+000 al 14+000, T=300 años

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 #
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	Chl
14000	T=300	1712.73	65.21	68.04	67.79	68.77	0.004754	3.81	459.3	261.76	0.83
13950	T=300	1712.73	65.12	67.52	67.52	68.46	0.007127	4.31	398.15	215.65	1
13900	T=300	1712.73	63.04	65.61	66.24	67.73	0.025714	6.45	265.65	199.63	1.78
13850	T=300	1712.73	62.4	66.73	65.56	67.16	0.001659	2.9	591.11	188.14	0.52
13800	T=300	1712.73	62.74	65.77	65.77	66.93	0.006748	4.78	358.6	155.02	1
13750	T=300	1712.73	61.93	64.94	65.22	66.49	0.009804	5.53	310.98	146.51	1.2
13700	T=300	1712.73	61.75	65.36	64.89	66.19	0.00375	4.04	424.48	152.23	0.77
13650	T=300	1712.73	61.71	65.16		65.99	0.003978	4.05	422.48	156.63	0.79
13600	T=300	1712.73	61.52	65.07		65.78	0.003179	3.73	458.83	162.84	0.71
13550	T=300	1712.73	61.13	64.72		65.58	0.0044	4.11	416.91	163.82	0.82
13500	T=300	1712.73	61.31	64.51		65.36	0.004237	4.09	422.12	173.61	0.81
13450	T=300	1712.73	60.5	64.46	63.78	65.07	0.002733	3.49	503.97	194.21	0.66
13410	T=300	Bridge									
13400	T=300	1712.73	60.09	64.23		64.66	0.001739	2.93	599.84	205.6	0.53
13350	T=300	1712.73	59.61	64.09		64.55	0.002049	3.08	581.58	214.33	0.57
13300	T=300	1712.73	59.61	63.13	63.13	64.2	0.007202	4.66	382.12	195.35	1.02
13250	T=300	1712.73	59.62	62.72	62.9	63.82	0.007485	4.77	389.51	252.02	1.04
13200	T=300	1712.73	59.61	62.42	62.56	63.37	0.008759	4.61	413.21	283.9	1.1
13160	T=300	1712.73	58.24	62.36	62.35	63.1	0.006444	3.97	458.82	302.29	0.94
13150	T=300	1712.73	58.18	62.18	62.29	63.01	0.007821	4.21	432.19	302.88	1.03
13100	T=300	1712.73	58.13	62.16	61.69	62.53	0.002466	2.84	650.43	350	0.6
13050	T=300	1712.73	58.13	61.59	61.59	62.29	0.007692	3.71	463.97	342.86	0.99
13000	T=300	1712.73	57.95	61.67		62.01	0.0022	2.77	673.88	350	0.58

(Fuente: Elaboración Propia)

Perfil de flujo para T=300 años

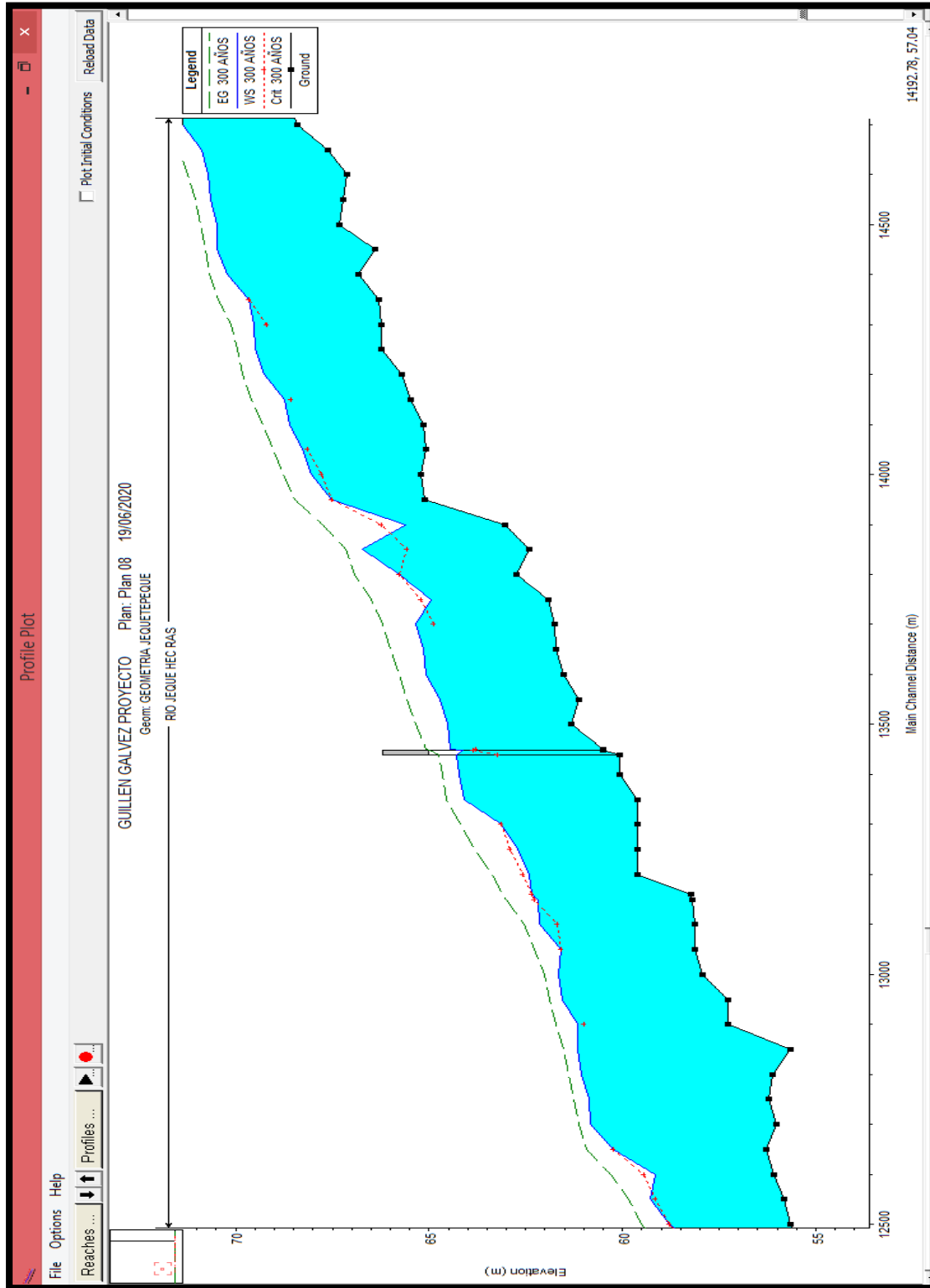


Figura III.10. Perfil de flujo, progresiva 12+500-14+500, T 300 años (Fuente: Elaboración Propia)

Tabla III.21

Parámetros hidráulicos, tramo 13+000 al 14+000, T=500 años

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 #
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	Chl
14000	T=500	1838.55	65.21	68.15	67.92	68.91	0.00469	3.87	488.6	274.32	0.83
13950	T=500	1838.55	65.12	67.61	67.61	68.6	0.006962	4.4	419.75	231.26	0.99
13900	T=500	1838.55	63.04	65.69	66.33	67.88	0.024821	6.56	280.4	200.07	1.77
13850	T=500	1838.55	62.4	66.87	65.68	67.32	0.001653	2.97	618.71	195.03	0.52
13800	T=500	1838.55	62.74	65.9	65.9	67.1	0.006697	4.85	378.82	158.92	1
13750	T=500	1838.55	61.93	65.05	65.34	66.67	0.009514	5.63	328.15	147.6	1.19
13700	T=500	1838.55	61.75	65.47	65.01	66.35	0.003784	4.16	442.19	154.32	0.78
13650	T=500	1838.55	61.71	65.27		66.16	0.003983	4.17	441.21	163.22	0.79
13600	T=500	1838.55	61.52	65.19		65.94	0.003186	3.84	478.9	164.68	0.72
13550	T=500	1838.55	61.13	64.84		65.74	0.004356	4.21	437.05	164.44	0.82
13500	T=500	1838.55	61.31	64.64		65.52	0.004152	4.17	444.92	175.75	0.81
13450	T=500	1838.55	60.5	64.6	63.89	65.23	0.002684	3.56	531.09	195.84	0.66
13410	T=500	Bridge									
13400	T=500	1838.55	60.09	64.34		64.8	0.001776	3.03	623.78	207.06	0.54
13350	T=500	1838.55	59.61	64.21		64.69	0.002072	3.18	606.06	215.8	0.58
13300	T=500	1838.55	59.61	63.27	63.27	64.35	0.006789	4.68	411.36	207.61	1
13250	T=500	1838.55	59.62	62.77	63.02	63.97	0.007963	4.99	401.01	255.06	1.08
13200	T=500	1838.55	59.61	62.49	62.63	63.49	0.008786	4.73	432.35	285.85	1.1
13160	T=500	1838.55	58.24	62.43	62.43	63.2	0.006416	4.05	482.52	306.65	0.94
13150	T=500	1838.55	58.18	62.25	62.35	63.12	0.007962	4.3	452.83	308.8	1.04
13100	T=500	1838.55	58.13	62.24	61.77	62.63	0.002496	2.92	677.1	350	0.61
13050	T=500	1838.55	58.13	61.67	61.67	62.39	0.007361	3.76	490.8	343.21	0.98
13000	T=500	1838.55	57.95	61.75		62.12	0.002215	2.84	702.63	350	0.58

(Fuente: Elaboración Propia)

Perfil de flujo para T=500 años

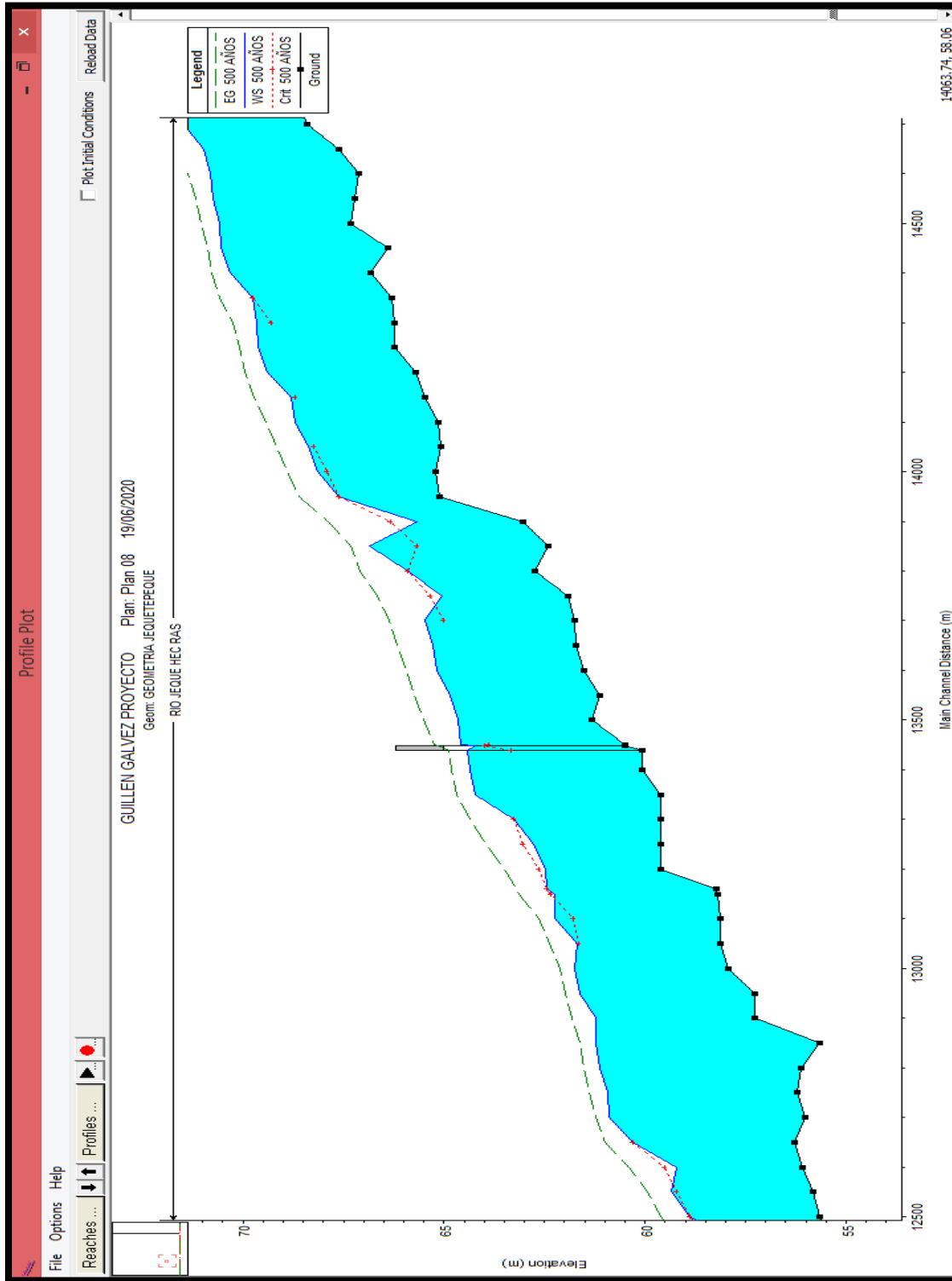


Figura III.11. Perfil de flujo, progresiva 12+500-14+500, T 500 años
 (Fuente: Elaboración Propia)

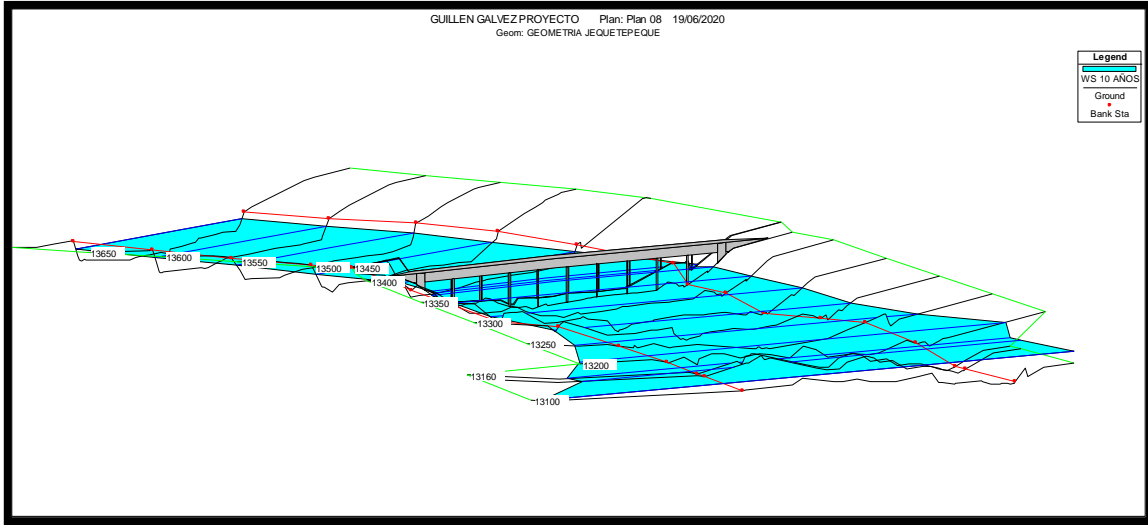


Figura III.12. Gráfico pseudo X-Y-Z para T=10 Años
(Fuente: Elaboración Propia)

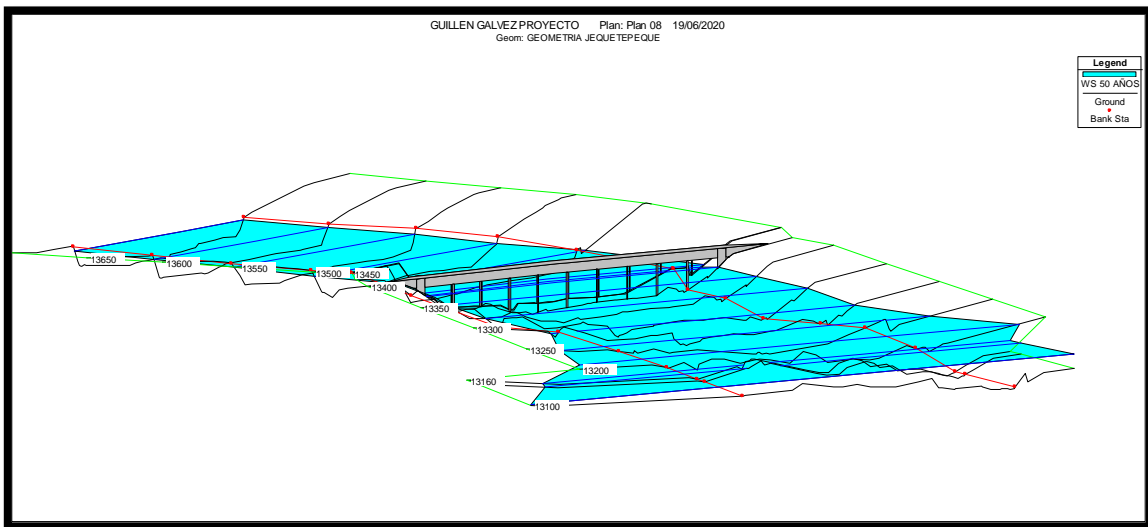


Figura III.13. Gráfico pseudo X-Y-Z para T=50 Años
(Fuente: Elaboración Propia)

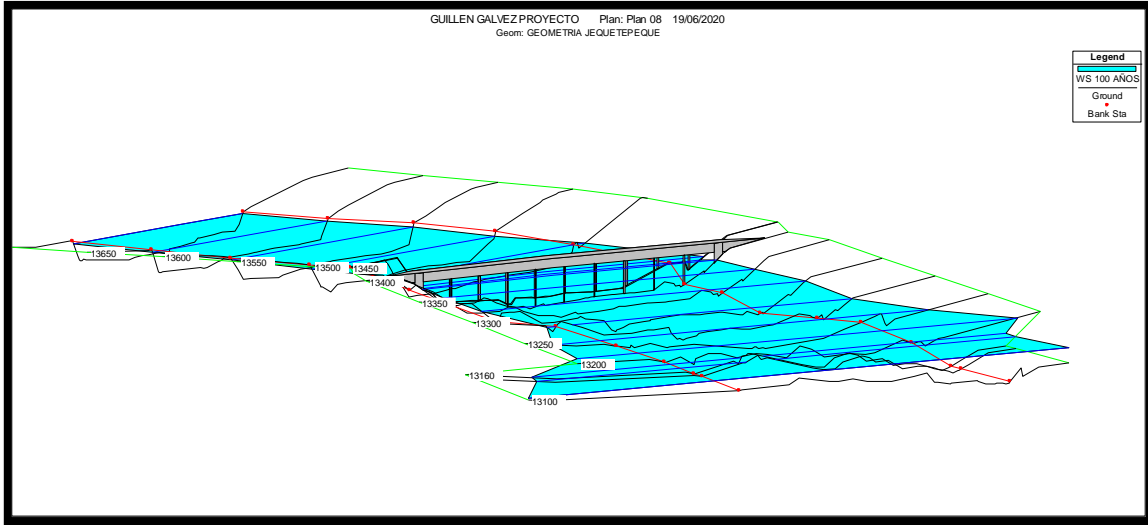


Figura III.14. Gráfico pseudo X-Y-Z para T=100 Años
 (Fuente: Elaboración Propia)

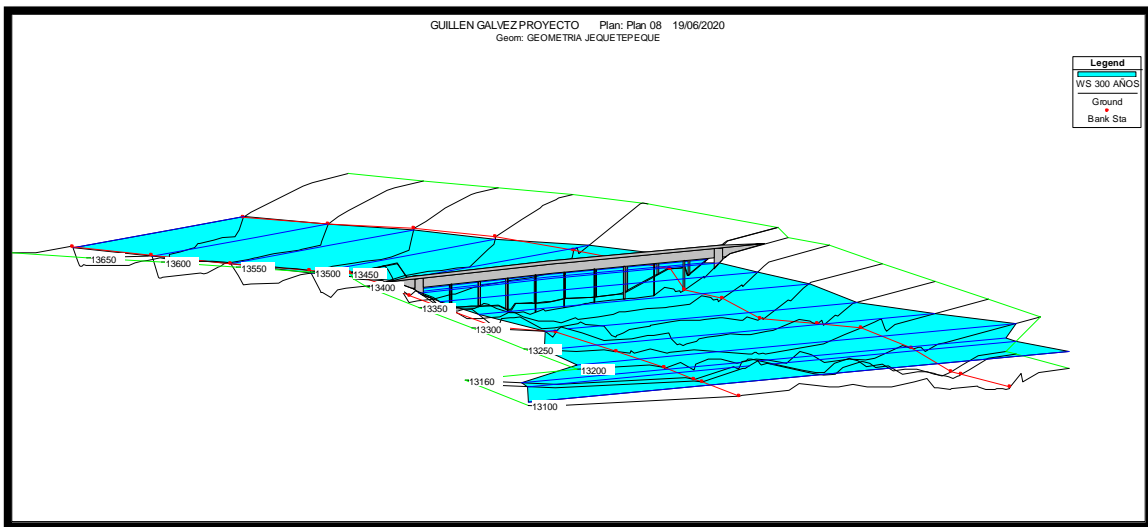


Figura III.15. Gráfico pseudo X-Y-Z para T=300 Años
 (Fuente: Elaboración Propia)

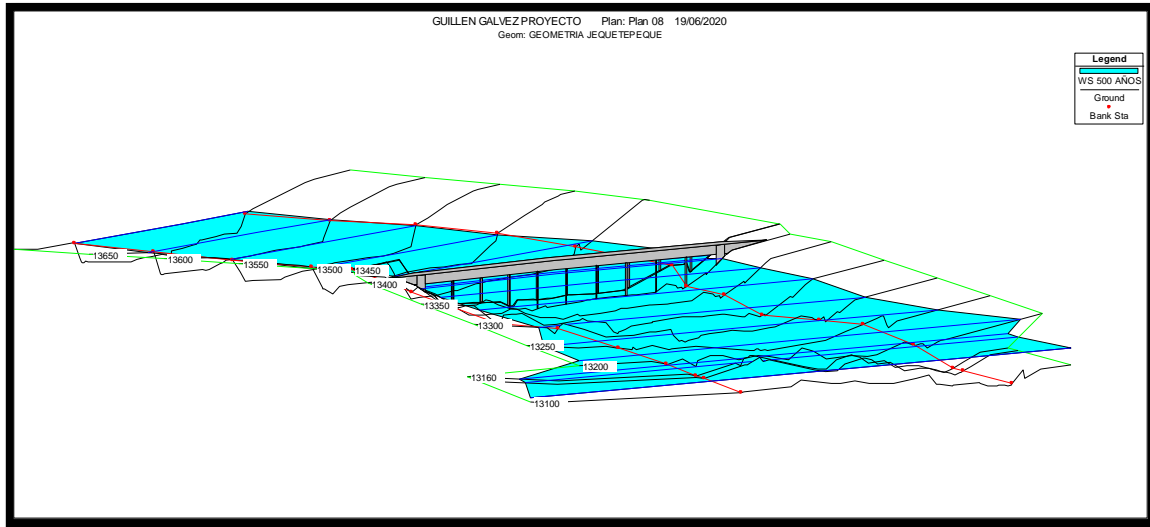


Figura III.16. Gráfico pseudo X-Y-Z para T=500 Años
(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla III.22

Resultados de Altura libre

T (AÑOS)	NIVEL INFERIOR DE TABLERO (msnm)	NIVEL DE TIRANTE (msnm)	ALTURA LIBRE (m)
10	65	63.09	1.91
50	65	63.62	1.38
100	65	63.82	1.18
300	65	64.13	0.87
500	65	64.24	0.76

(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla III.23

Resultados para la sección 13+410, periodo de retorno $T=10$ años

PROFILE 10 AÑOS - SECCION 13+410 BR U					
E.G. Elev (m)	63.72	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.63	Wt. N-Val.		0.03	0.035
W.S. Elev (m)	63.09	Reach Len. (m)	10	10	10
Crit W.S. (m)	62.91	Flow Area (m2)		249.75	0.57
E.G. Slope (m)	0.00673	Area (m2)		249.75	0.57
Q Total (m3/s)	875.01	Flow (m3/s)		874.64	0.37
Top Width (m)	148.45	Top Width (m)		145.43	3.02
Vel Total (m/s)	3.5	Avg. Vel. (m/s)		3.5	0.65
Max Chl Dpth (m)	2.59	Hydr. Depth (m)		1.72	0.19
Conv. Total (m3/s)	10662.6	Conv. (m3/s)		10658	4.6
Length Wtd. (m)	10	Wetted Per. (m)		172.41	3.94
Min Ch El (m)	60.5	Shear (N/m2)		95.67	9.62
Alpha	1	Stream Power (N/ms)		335.03	6.27
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000m3)	52.9	5874.14	59.61
C & E Loss (m)	0.18	Cum SA (1000m2)	108.7	5535.6	75.78

(Fuente: Elaboración Propia)

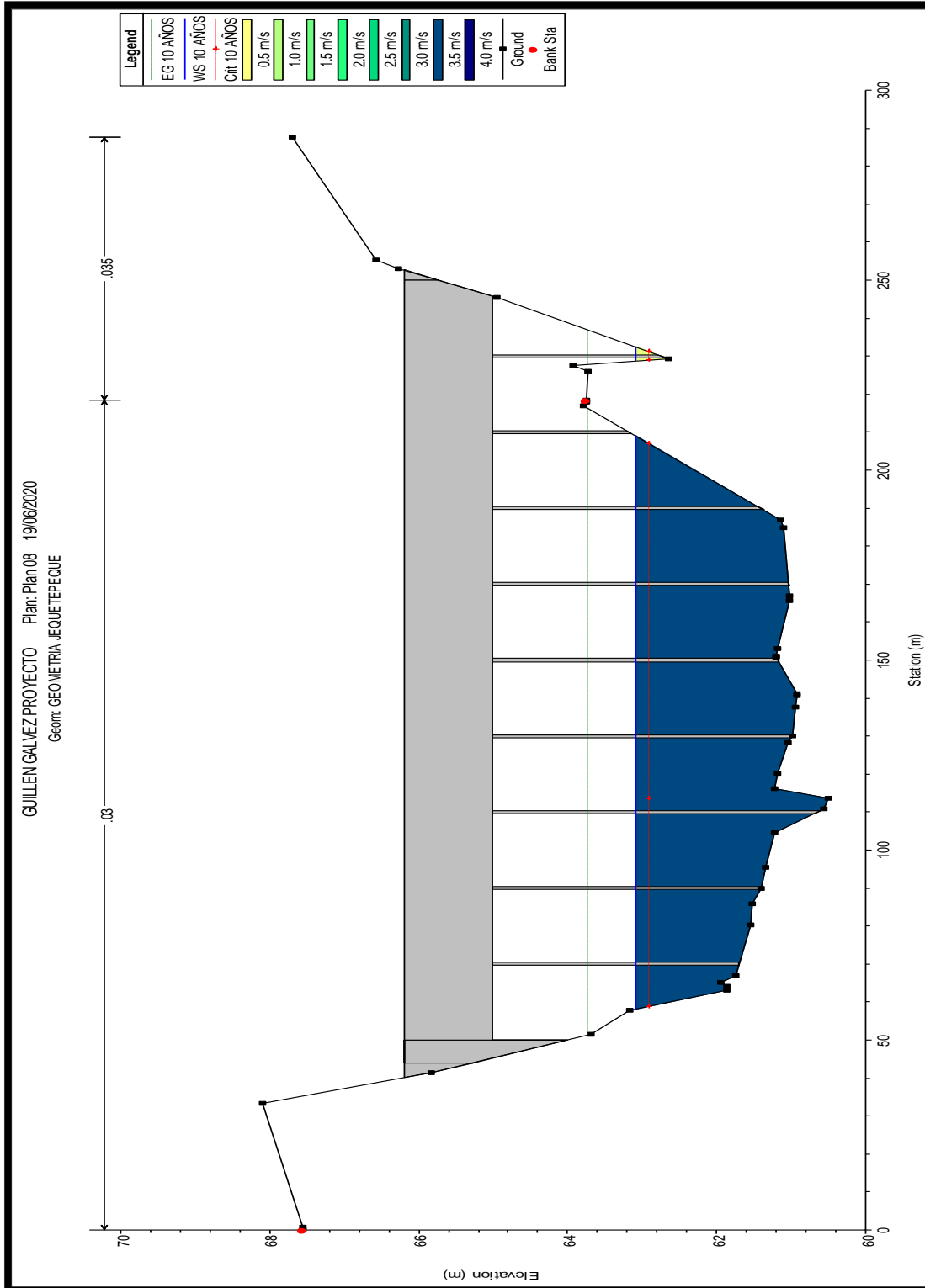


Figura III.17. Perfil de flujo en la sección 13+410 con puente Libertad, T = 10 años
 (Fuente: Elaboración Propia)

Tabla III.24

Resultados para la sección 13+410, periodo de retorno $T=50$ años

PROFILE 50 AÑOS - SECCION 13+410 BR U					
E.G. Elev (m)	64.38	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.76	Wt. N-Val.		0.03	0.035
W.S. Elev (m)	63.62	Reach Len. (m)	10	10	10
Crit W.S. (m)	63.39	Flow Area (m ²)		328.85	3.33
E.G. Slope (m)	0.0065	Area (m ²)		328.85	3.33
Q Total (m ³ /s)	1271.42	Flow (m ³ /s)		1267.63	3.79
Top Width (m)	163.7	Top Width (m)		156.26	7.44
Vel Total (m/s)	3.83	Avg. Vel. (m/s)		3.85	1.14
Max Chl Dpth (m)	3.12	Hydr. Depth (m)		2.1	0.45
Conv. Total (m ³ /s)	15764.6	Conv. (m ³ /s)		15717.5	47
Length Wtd. (m)	10	Wetted Per. (m)		191.54	9.61
Min Ch El (m)	60.5	Shear (N/m ²)		109.52	22.08
Alpha	1.01	Stream Power (N/ms)		422.15	25.18
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000m ³)	89.07	7509.49	85.82
C & E Loss (m)	0.2	Cum SA (1000m ²)	139.84	5950.9	84.06

(Fuente: Elaboración Propia)

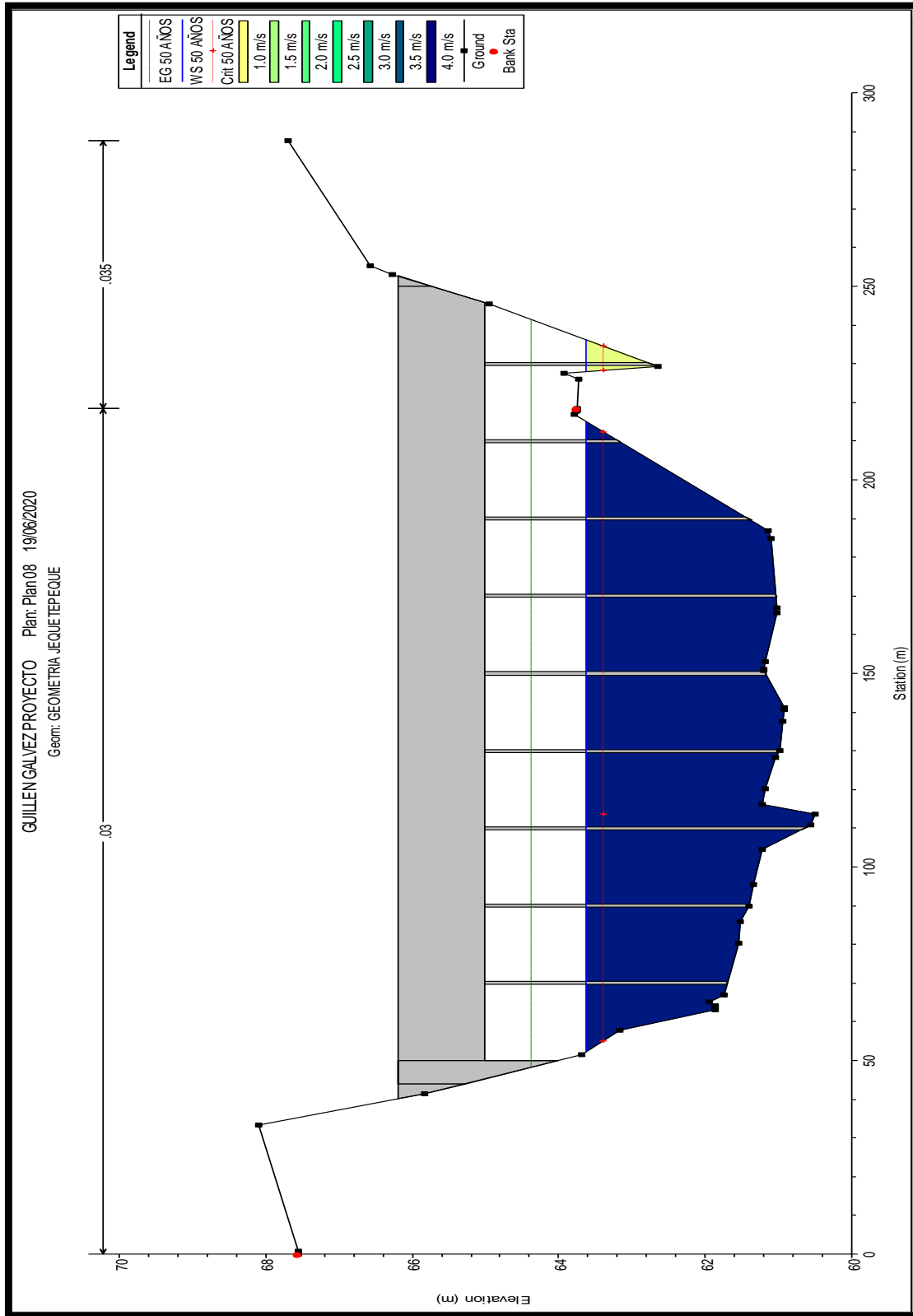


Figura III.18. Perfil de flujo en la sección 13+410 con puente Libertad, T = 50 años
 (Fuente: Elaboración Propia)

Tabla III.25

Resultados para la sección 13+410, periodo de retorno $T=100$ años

PROFILE 100 AÑOS - SECCION 13+410 BR U					
E.G. Elev (m)	64.63	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.8	Wt. N-Val.		0.03	0.035
W.S. Elev (m)	63.82	Reach Len. (m)	10	10	10
Crit W.S. (m)	63.57	Flow Area (m ²)		361.32	5.77
E.G. Slope (m)	0.00644	Area (m ²)		361.32	5.77
Q Total (m ³ /s)	1442.14	Flow (m ³ /s)		1435.25	6.89
Top Width (m)	178.65	Top Width (m)		161.07	17.58
Vel Total (m/s)	3.93	Avg. Vel. (m/s)		3.97	1.19
Max Chl Dpth (m)	3.32	Hydr. Depth (m)		2.24	0.33
Conv. Total (m ³ /s)	17972.1	Conv. (m ³ /s)		17886.3	85.9
Length Wtd. (m)	10	Wetted Per. (m)		199.64	20.24
Min Ch El (m)	60.5	Shear (N/m ²)		114.28	17.99
Alpha	1.02	Stream Power (N/ms)		453.94	21.49
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000m ³)	104.1	8152.01	95.39
C & E Loss (m)	0.21	Cum SA (1000m ²)	144.29	6086.82	86.89

(Fuente: Elaboración Propia)

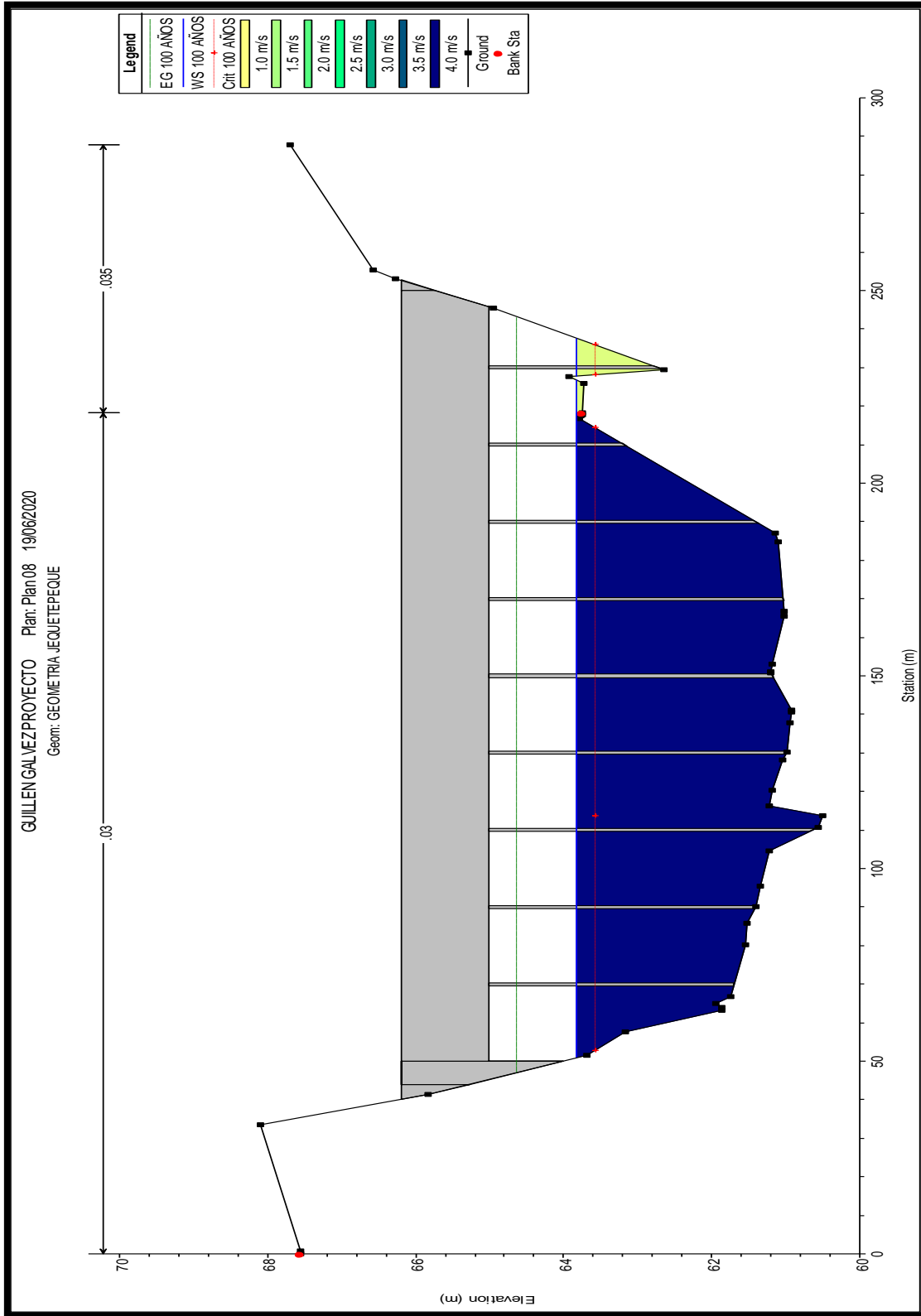


Figura III.19. Perfil de flujo en la sección 13+410 con puente Libertad, T = 100 años
 (Fuente: Elaboración Propia)

Tabla III.26

Resultados para la sección 13+410, periodo de retorno $T=300$ años

PROFILE 300 AÑOS - SECCION 13+410 BR U					
E.G. Elev (m)	64.99	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.86	Wt. N-Val.		0.03	0.035
W.S. Elev (m)	64.13	Reach Len. (m)	10	10	10
Crit W.S. (m)	63.86	Flow Area (m ²)		410.32	11.66
E.G. Slope (m)	0.00612	Area (m ²)		410.32	11.66
Q Total (m ³ /s)	1712.73	Flow (m ³ /s)		1696.32	16.41
Top Width (m)	182.59	Top Width (m)		161.96	20.63
Vel Total (m/s)	4.06	Avg. Vel. (m/s)		4.13	1.41
Max Chl Dpth (m)	3.63	Hydr. Depth (m)		2.53	0.56
Conv. Total (m ³ /s)	21895.7	Conv. (m ³ /s)		21685.9	209.8
Length Wtd. (m)	10	Wetted Per. (m)		205.52	23.96
Min Ch El (m)	60.5	Shear (N/m ²)		119.8	29.19
Alpha	1.03	Stream Power (N/ms)		495.26	41.11
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000m ³)	126.18	9116.03	109.47
C & E Loss (m)	0.21	Cum SA (1000m ²)	153.82	6227.46	94.71

(Fuente: Elaboración Propia)

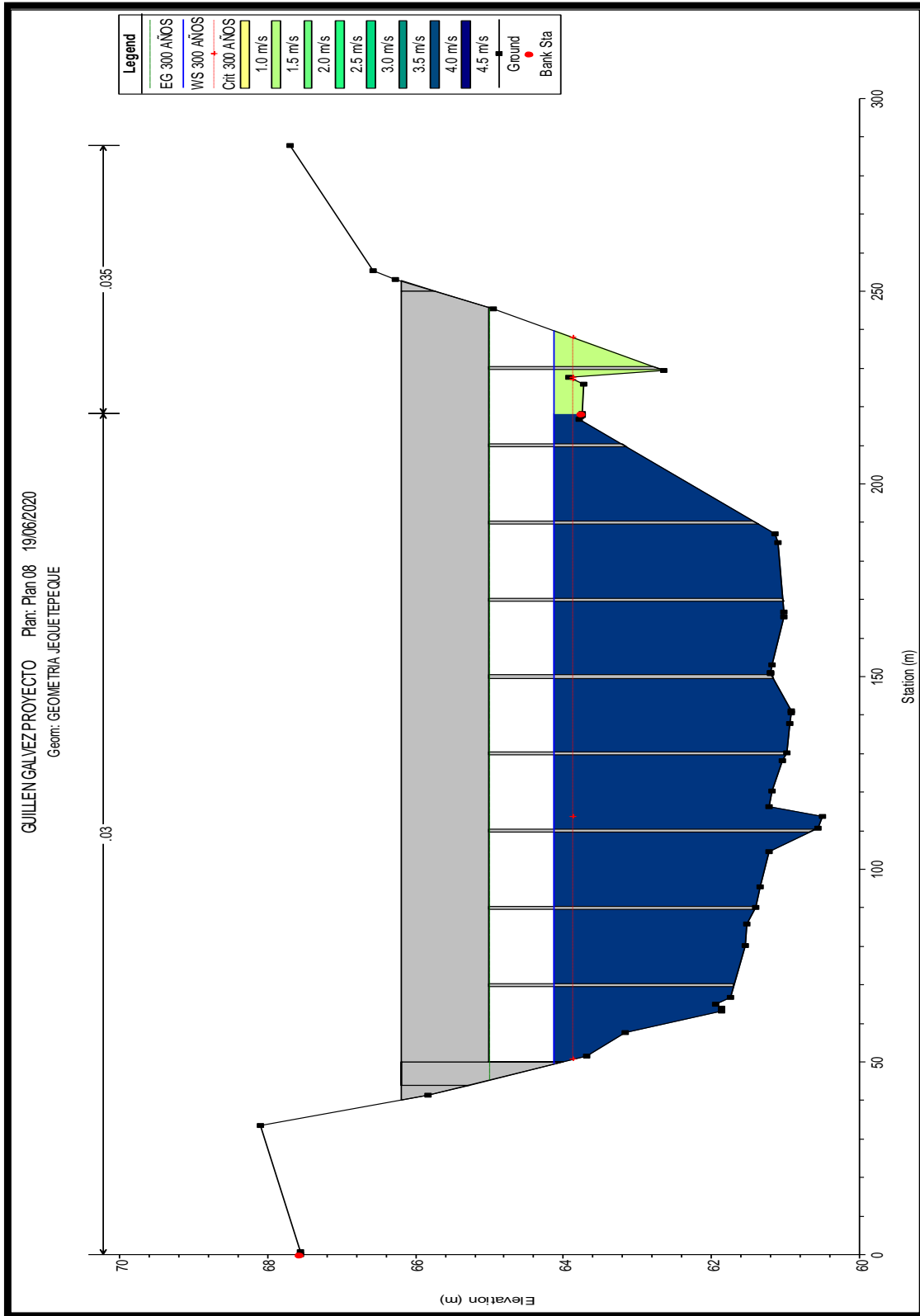


Figura III.20. Perfil de flujo en la sección 13+410 con puente Libertad, T = 300 años
 (Fuente: Elaboración Propia)

Tabla III.27

Resultados para la sección 13+410, periodo de retorno $T=500$ años

PROFILE 500 AÑOS - SECCION 13+410 BR U					
E.G. Elev (m)	65.15	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.91	Wt. N-Val.		0.03	0.035
W.S. Elev (m)	64.24	Reach Len. (m)	10	10	10
Crit W.S. (m)	63.99	Flow Area (m ²)		428.26	13.98
E.G. Slope (m)	0.00616	Area (m ²)		428.26	13.98
Q Total (m ³ /s)	1838.55	Flow (m ³ /s)		1817.06	21.49
Top Width (m)	183.37	Top Width (m)		161.96	21.4
Vel Total (m/s)	4.16	Avg. Vel. (m/s)		4.24	1.54
Max Chl Dpth (m)	3.74	Hydr. Depth (m)		2.64	0.65
Conv. Total (m ³ /s)	23421.9	Conv. (m ³ /s)		23148.1	273.8
Length Wtd. (m)	10	Wetted Per. (m)		207.4	24.96
Min Ch El (m)	60.5	Shear (N/m ²)		124.77	33.86
Alpha	1.03	Stream Power (N/ms)		529.39	52.03
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000m ³)	136.6	9548.08	116.06
C & E Loss (m)	0.22	Cum SA (1000m ²)	159.07	6295.67	96.7

(Fuente: Elaboración Propia)

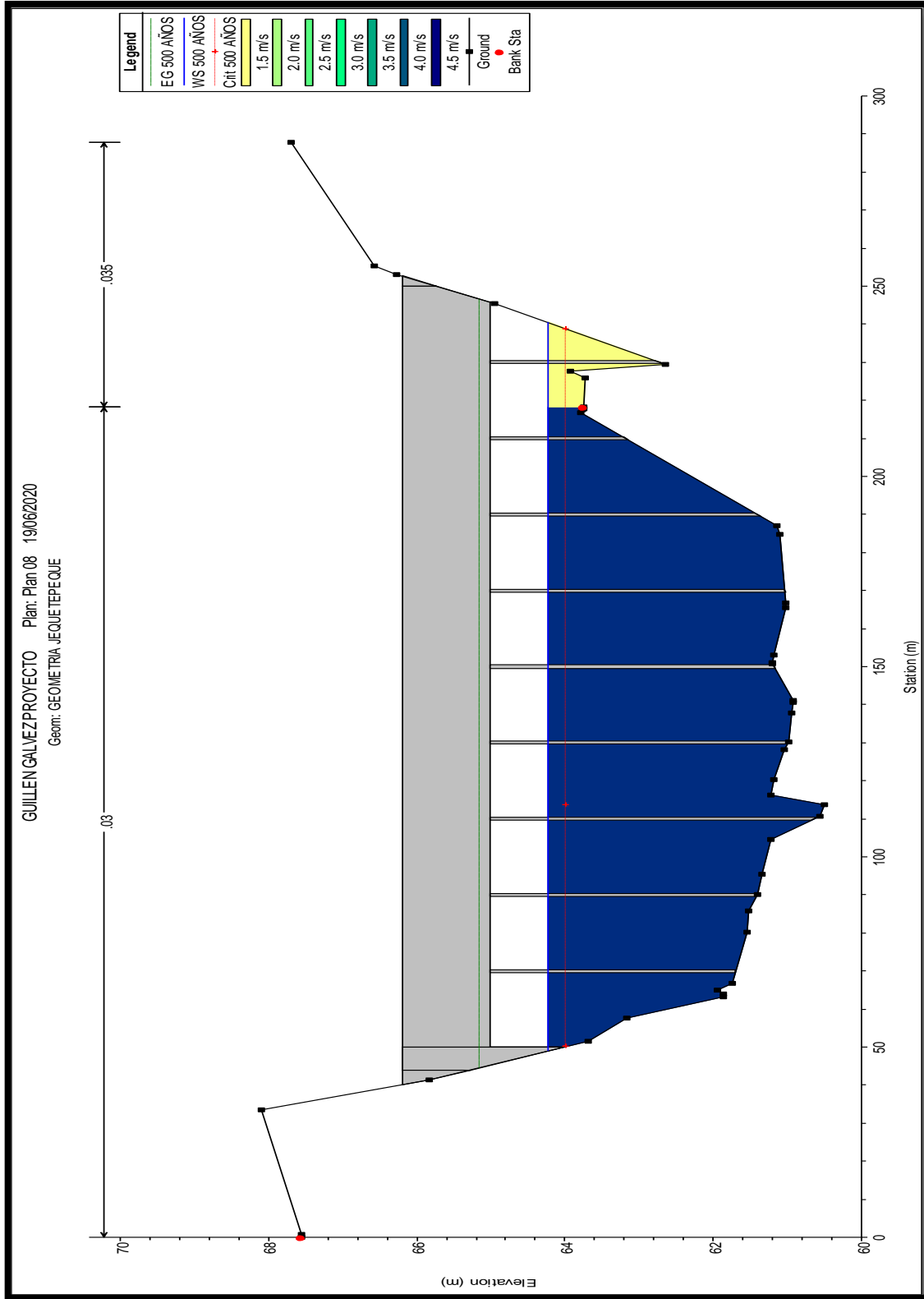


Figura III.21. Perfil de flujo en la sección 13+410 con puente Libertad, T = 500 años
 (Fuente: Elaboración Propia)

3.1.5. Resultados del cálculo de socavación con HEC RAS

3.1.5.1. Métodos de Laursen – CSU - Hire

Socavación general : Laursen
Soc. local en pilares : CSU (opción 1)
Soc. local en pilares : Froehlich (opción 2)
Soc. local en estribos : Hire

Hydraulic Design Data

Periodo de Retorno 10 años

Tabla III.28

Resultados de socavación general por contracción del cauce, T 10 años, por Laursen

Contraction Scour			
Input Data	Left	Channel	Right
Average Depth (m)	1.66	1.66	
Approach Velocity (m/s)	3.44	3.44	
Br Average Depth (m)	1.72	1.72	0.19
BR Opening Flow (m ³ /s)	874.64	874.64	0.37
BR Top WD (m)	145.43	145.43	3.02
Grain Size D50 (mm)	12.35	12.35	12.35
Approach Flow (m ³ /s)	875.01	875.01	
Approach Top WD (m)	153.34	153.34	
K1 Coefficient	0.690	0.640	
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.46	1.46	
Equation	Clear	Clear	

Tabla III.29

Resultados de socavación Local en pilares 1,2 y 3, T 10 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #1 (CL = 70)	Pier: #2 (CL = 90)	Pier: #3 (CL = 110)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	1.64	1.94	2.70
Velocity Upstream (m/s)	2.92	2.92	2.92
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.40	0.40	0.40
Results			
Scour Depth Ys (m)	0.87	0.89	0.93
Froude #	0.73	0.67	0.57
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.30

Resultados de socavación Local en pilares 4,5 y 6, T 10 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #4 (CL = 130)	Pier: #5 (CL = 150)	Pier: #6 (CL = 170)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.37	2.16	2.31
Velocity Upstream (m/s)	2.92	2.92	2.92
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.40	0.40	0.40
Results			
Scour Depth Ys (m)	0.91	0.90	0.91
Froude #	0.61	0.63	0.61
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.31

Resultados de socavación Local en pilares 7,8 y 9, T 10 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #7 (CL = 190)	Pier: #8 (CL = 210)	Pier: #9 (CL = 230)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	1.94	0.16	0.62
Velocity Upstream (m/s)	2.92	2.92	0.79
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.40	0.40	0.40
Results			
Scour Depth Ys (m)	0.89	0.64	0.43
Froude #	0.67	2.30	0.32
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.32

Combinación de socavación local en pilares + socavación general, T 10 años (Laursen+ CSU)

Combined Scour Depths	
Pier #1 (CL = 70) (Contr + Pier) (m)	2.32
Pier #2 (CL = 90) (Contr + Pier) (m)	2.34
Pier #3 (CL = 110) (Contr + Pier) (m)	2.38
Pier #4 (CL = 130) (Contr + Pier) (m)	2.37
Pier #5 (CL = 150) (Contr + Pier) (m)	2.36
Pier #6 (CL = 170) (Contr + Pier) (m)	2.37
Pier #7 (CL = 190) (Contr + Pier) (m)	2.34
Pier #8 (CL = 210) (Contr + Pier) (m)	2.09
Pier #9 (CL = 230) (Contr + Pier) (m)	0.43

Periodo de Retorno 50 años

Tabla III.33

Resultados de socavación general por contracción del cauce, T 50 años, por Laursen

Contraction Scour			
Input Data	Left	Channel	Right
Average Depth (m)	2.15	2.15	0.14
Approach Velocity (m/s)	3.75	3.75	0.52
Br Average Depth (m)	2.10	2.10	0.45
BR Opening Flow (m ³ /s)	1267.63	1267.63	3.79
BR Top WD (m)	156.26	156.26	7.44
Grain Size D50 (mm)	12.35	12.35	12.35
Approach Flow (m ³ /s)	1271.15	1271.15	0.27
Approach Top WD (m)	157.59	157.59	3.63
K1 Coefficient	0.690	0.640	0.590
Results			
Scour Depth Ys (m)	2.01	2.01	0.00
Equation	Clear	Clear	Clear

Tabla III.34

Resultados de socavación Local en pilares 1,2 y 3, T 50 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #1 (CL = 70)	Pier: #2 (CL = 90)	Pier: #3 (CL = 110)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.22	2.52	3.28
Velocity Upstream (m/s)	3.21	3.21	3.21
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.40	0.40	0.40
Results			
Scour Depth Ys (m)	0.94	0.96	0.99
Froude #	0.69	0.65	0.57
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.35

Resultados de socavación Local en pilares 4,5 y 6, T 50 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #4 (CL = 130)	Pier: #5 (CL = 150)	Pier: #6 (CL = 170)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.95	2.75	2.89
Velocity Upstream (m/s)	3.21	3.21	3.21
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.40	0.40	0.40
Results			
Scour Depth Ys (m)	0.98	0.97	0.98
Froude #	0.60	0.62	0.60
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.36

Resultados de socavación Local en pilares 7,8 y 9, T 50 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #7 (CL = 190)	Pier: #8 (CL = 210)	Pier: #9 (CL = 230)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.52	0.75	1.20
Velocity Upstream (m/s)	3.21	3.21	0.87
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.40	0.40	0.40
Results			
Scour Depth Ys (m)	0.96	0.81	0.50
Froude #	0.65	1.19	0.25
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.37

Combinación de socavación local en pilares + socavación general, T 50 años (Laursen + CSU)

Combined Scour Depths	
Pier #1 (CL = 70) (Contr + Pier) (m)	2.95
Pier #2 (CL = 90) (Contr + Pier) (m)	2.96
Pier #3 (CL = 110) (Contr + Pier) (m)	3.00
Pier #4 (CL = 130) (Contr + Pier) (m)	2.98
Pier #5 (CL = 150) (Contr + Pier) (m)	2.98
Pier #6 (CL = 170) (Contr + Pier) (m)	2.98
Pier #7 (CL = 190) (Contr + Pier) (m)	2.96
Pier #8 (CL = 210) (Contr + Pier) (m)	2.82
Pier #9 (CL = 230) (Contr + Pier) (m)	0.50

Periodo de Retorno 100 años

Tabla III.38

Resultados de socavación general por contracción del cauce, T 100 años, por Laursen

Contraction Scour			
Input Data	Left	Channel	Right
Average Depth (m)	2.33	2.33	0.25
Approach Velocity (m/s)	3.88	3.88	0.73
Br Average Depth (m)	2.24	2.24	0.33
BR Opening Flow (m ³ /s)	1435.25	1435.25	6.89
BR Top WD (m)	161.07	161.07	17.58
Grain Size D50 (mm)	12.35	12.35	12.35
Approach Flow (m ³ /s)	1441.01	1441.01	1.13
Approach Top WD (m)	159.28	159.28	6.28
K1 Coefficient	0.690	0.640	0.590
Results			
Scour Depth Ys (m)	2.21	2.21	0.00
Equation	Clear	Clear	Clear

Tabla III.39

Resultados de socavación Local en pilares, 1,2 y 3, T 100 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #1 (CL = 70)	Pier: #2 (CL = 90)	Pier: #3 (CL = 110)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.45	2.74	3.51
Velocity Upstream (m/s)	3.31	3.31	3.31
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.41	0.41	0.41
Results			
Scour Depth Ys (m)	0.99	1.01	1.04
Froude #	0.67	0.64	0.56
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.40

Resultados de socavación Local en pilares 4,5 y 6, T 100 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #4 (CL = 130)	Pier: #5 (CL = 150)	Pier: #6 (CL = 170)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	3.17	2.97	3.12
Velocity Upstream (m/s)	3.31	3.31	3.31
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.41	0.41	0.41
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.03	1.02	1.02
Froude #	0.59	0.61	0.60
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.41

Resultados de socavación Local en pilares 7,8 y 9, T 100 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #7 (CL = 190)	Pier: #8 (CL = 210)	Pier: #9 (CL = 230)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.75	0.97	1.43
Velocity Upstream (m/s)	3.31	3.31	1.08
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.41	0.41	0.41
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.01	0.88	0.57
Froude #	0.64	1.07	0.29
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.42

Resultados de socavación Local en estribos, T 100 años, por Hire

Abutment Scour		
Input Data	Left	Right
Station at Toe (m)	50.00	245.81
Toe Sta at appr (m)	80.00	261.45
Abutment Length (m)	39.04	6.28
Depth at Toe (m)	0.14	-0.85
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)	39.04	6.28
Avg Depth Obstructed Ya (m)	2.33	0.25
Flow Obstructed Qe (m3/s)	353.19	1.13
Area Obstructed Ae (m2)	91.12	1.55
Results		
Scour Depth Ys (m)	1.43	
Froude #	2.82	
Equation	HIRE	Default

Tabla III.43

*Combinación de socavación local en pilares + socavación general, T 100 años
(Laursen+CSU)*

Combined Scour Depths	
Pier #1 (CL = 70) (Contr + Pier) (m)	3.20
Pier #2 (CL = 90) (Contr + Pier) (m)	3.22
Pier #3 (CL = 110) (Contr + Pier) (m)	3.25
Pier #4 (CL = 130) (Contr + Pier) (m)	3.24
Pier #5 (CL = 150) (Contr + Pier) (m)	3.23
Pier #6 (CL = 170) (Contr + Pier) (m)	3.23
Pier #7 (CL = 190) (Contr + Pier) (m)	3.22
Pier #8 (CL = 210) (Contr + Pier) (m)	3.08
Pier #9 (CL = 230) (Contr + Pier) (m)	0.57

Tabla III.44

*Combinación de socavación local en estribos + socavación general, T 100 años
(Laursen+Hire)*

Left abutment scour + contraction scour (m)	3.64
---	------

Periodo de Retorno 300 años

Tabla III.45

Resultados de socavación general por contracción del cauce, T 300 años, Por Laursen

Contraction Scour			
Input Data	Left	Channel	Right
Average Depth (m)	2.60	2.60	0.33
Approach Velocity (m/s)	4.09	4.09	0.94
Br Average Depth (m)	2.53	2.53	0.56
BR Opening Flow (m ³ /s)	1696.32	1696.32	16.41
BR Top WD (m)	161.96	161.96	20.63
Grain Size D50 (mm)	12.35	12.35	12.35
Approach Flow (m ³ /s)	1708.82	1708.82	3.91
Approach Top WD (m)	160.92	160.92	12.70
K1 Coefficient	0.690	0.640	0.590
Results			
Scour Depth Ys (m)	2.58	2.58	0.00
Equation	Clear	Clear	Clear

Tabla III.46

Resultados de socavación Local en pilares 1,2 y 3, T 300 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #1 (CL = 70)	Pier: #2 (CL = 90)	Pier: #3 (CL = 110)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.76	3.05	3.82
Velocity Upstream (m/s)	3.49	3.49	3.49
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.42	0.42	0.42
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.06	1.07	1.10
Froude #	0.67	0.64	0.57
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.47

Resultados de socavación Local en pilares 4,5 y 6, T 300 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #4 (CL = 130)	Pier: #5 (CL = 150)	Pier: #6 (CL = 170)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	3.48	3.28	3.43
Velocity Upstream (m/s)	3.49	3.49	3.49
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.42	0.42	0.42
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.09	1.08	1.09
Froude #	0.60	0.61	0.60
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.48

Resultados de socavación Local en pilares 7,8 y 9, T 300 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #7 (CL = 190)	Pier: #8 (CL = 210)	Pier: #9 (CL = 230)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	3.05	1.28	1.74
Velocity Upstream (m/s)	3.49	3.49	1.32
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.42	0.42	0.42
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.07	0.95	0.65
Froude #	0.64	0.98	0.32
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.49

Resultados de socavación Local en estribos, T 300 años, por Hire

Abutment Scour		
Input Data	Left	Right
Station at Toe (m)	50.00	245.81
Toe Sta at appr (m)	80.00	261.45
Abutment Length (m)	39.44	12.70
Depth at Toe (m)	0.45	-0.54
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)	39.44	12.70
Avg Depth Obstructed Ya (m)	2.60	0.33
Flow Obstructed Qe (m3/s)	418.83	3.91
Area Obstructed Ae (m2)	102.44	4.17
Results		
Scour Depth Ys (m)	3.87	
Froude #	1.66	
Equation	HIRE	Default

Tabla III.50

*Combinación de socavación local en pilares + socavación general, T 300 años
(Laursen+CSU)*

Combined Scour Depths	
Pier #1 (CL = 70) (Contr + Pier) (m)	3.64
Pier #2 (CL = 90) (Contr + Pier) (m)	3.65
Pier #3 (CL = 110) (Contr + Pier) (m)	3.68
Pier #4 (CL = 130) (Contr + Pier) (m)	3.67
Pier #5 (CL = 150) (Contr + Pier) (m)	3.66
Pier #6 (CL = 170) (Contr + Pier) (m)	3.67
Pier #7 (CL = 190) (Contr + Pier) (m)	3.65
Pier #8 (CL = 210) (Contr + Pier) (m)	3.53
Pier #9 (CL = 230) (Contr + Pier) (m)	0.65

Tabla III.51

*Combinación de socavación local en estribos + socavación general, T 300 años
(Laursen+Hire)*

Left abutment scour + contraction scour (m)	6.45
---	------

Periodo de Retorno 500 años

Tabla III.52

Resultados de socavación general por contracción del cauce, T 500 años, por Laursen

Contraction Scour			
Input Data	Left	Channel	Right
Average Depth (m)	2.72	2.72	0.41
Approach Velocity (m/s)	4.17	4.17	1.01
Br Average Depth (m)	2.64	2.64	0.65
BR Opening Flow (m ³ /s)	1817.06	1817.06	21.49
BR Top WD (m)	161.96	161.96	21.40
Grain Size D50 (mm)	12.35	12.35	12.35
Approach Flow (m ³ /s)	1832.56	1832.56	5.99
Approach Top WD (m)	161.33	161.33	14.42
K1 Coefficient	0.690	0.640	0.590
Results			
Scour Depth Ys (m)	2.78	2.78	0.03
Equation	Clear	Clear	Clear

Tabla III.53

Resultados de socavación Local en pilares 1,2 y 3, T 500 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #1 (CL = 70)	Pier: #2 (CL = 90)	Pier: #3 (CL = 110)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.90	3.19	3.95
Velocity Upstream (m/s)	3.56	3.56	3.56
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.42	0.42	0.42
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.07	1.09	1.12
Froude #	0.67	0.64	0.57
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.54

Resultados de socavación Local en pilares 4, 5 y 6 T 500 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #4 (CL = 130)	Pier: #5 (CL = 150)	Pier: #6 (CL = 170)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	3.62	3.42	3.57
Velocity Upstream (m/s)	3.56	3.56	3.56
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.42	0.42	0.42
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.10	1.10	1.10
Froude #	0.60	0.61	0.60
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.55

Resultados de socavación Local en pilares 7, 8 y 9, T 500 años, por CSU

Pier Scour			
Input Data	Pier: #7 (CL = 190)	Pier: #8 (CL = 210)	Pier: #9 (CL = 230)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	3.19	1.42	1.88
Velocity Upstream (m/s)	3.56	3.56	1.42
K1 Nose Shape	1.10	1.10	1.10
Pier Angle	0.00	0.00	0.00
Pier Length (m)	10.00	10.00	10.00
K2 Angle Coef	1.00	1.00	1.00
K3 Bed Cond Coef	1.10	1.10	1.10
Grain Size D90 (mm)	36.30000	36.30000	36.30000
K4 Armouring Coef	0.42	0.42	0.42
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.09	0.97	0.68
Froude #	0.64	0.95	0.33
Equation	CSU equation	CSU equation	CSU equation

Tabla III.56

Resultados de socavación Local en estribos, T 500 años, por Hire

Abutment Scour		
Input Data	Left	Right
Station at Toe (m)	50.00	245.81
Toe Sta at appr (m)	80.00	261.45
Abutment Length (m)	39.54	14.42
Depth at Toe (m)	0.59	-0.40
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)	39.54	14.42
Avg Depth Obstructed Ya (m)	2.72	0.41
Flow Obstructed Qe (m ³ /s)	449.16	5.99
Area Obstructed Ae (m ²)	107.59	5.95
Results		
Scour Depth Ys (m)	4.88	
Froude #	1.48	
Equation	HIRE	Default

Tabla III.57

*Combinación de socavación local en pilares + socavación general, T 300 años
(Laursen+CSU)*

Combined Scour Depths	
Pier #1 (CL = 70) (Contr + Pier) (m)	3.85
Pier #2 (CL = 90) (Contr + Pier) (m)	3.87
Pier #3 (CL = 110) (Contr + Pier) (m)	3.90
Pier #4 (CL = 130) (Contr + Pier) (m)	3.89
Pier #5 (CL = 150) (Contr + Pier) (m)	3.88
Pier #6 (CL = 170) (Contr + Pier) (m)	3.88
Pier #7 (CL = 190) (Contr + Pier) (m)	3.87
Pier #8 (CL = 210) (Contr + Pier) (m)	3.76
Pier #9 (CL = 230) (Contr + Pier) (m)	0.71

Tabla III.58

*Combinación de socavación local en estribos + socavación general, T 300 años
(Laursen+Hire)*

Left abutment scour + contraction scour (m)	7.66
---	------

3.1.5.2. Análisis de socavación local en pilares por Froehlich's Equation

HEC RAS sugiere el uso del método CSU para cálculo de socavación local en pilares, como segunda opción se puede emplear el método de *Froehlich*, que añade un factor de seguridad por la forma del pilar (*Pier shape Coeff*), este factor de seguridad es añadido automáticamente.

Periodo de Retorno 10 años

Tabla III.59

Resultados de socavación Local en pilares 1, 2 y 3, T 10 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #1 (CL = 70)	Pier: #2 (CL = 90)	Pier: #3 (CL =110)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	1.64	1.94	2.70
Velocity Upstream (m/s)	2.92	2.92	2.92
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.43	1.47	1.56
Froude #	0.73	0.67	0.57
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Tabla III.60

Resultados de socavación Local en pilares 4, 5 y 6, T 10 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #4 (CL = 130)	Pier: #5 (CL = 150)	Pier: #6 (CL =170)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.37	2.16	2.31
Velocity Upstream (m/s)	2.92	2.92	2.92
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.52	1.50	1.52
Froude #	0.61	0.63	0.61
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Tabla III.61

Resultados de socavación Local en pilares 7, 8 y 9, T 10 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #7 (CL = 190)	Pier: #8 (CL = 210)	Pier: #9 (CL =230)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	1.94	0.16	0.62
Velocity Upstream (m/s)	2.92	2.92	0.79
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.47	1.08	1.14
Froude #	0.67	2.30	0.32
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Periodo de Retorno 50 Años

Tabla III.62

Resultados de socavación Local en pilares 1, 2 y 3, T 50 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #1 (CL = 70)	Pier: #2 (CL = 90)	Pier: #3 (CL =110)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.22	2.52	3.28
Velocity Upstream (m/s)	3.21	3.21	3.21
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.52	1.55	1.63
Froude #	0.69	0.65	0.57
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Tabla III.63

Resultados de socavación Local en pilares 4, 5 y 6, T 50 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #4 (CL = 130)	Pier: #5 (CL = 150)	Pier: #6 (CL =170)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.95	2.75	2.89
Velocity Upstream (m/s)	3.21	3.21	3.21
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.60	1.58	1.59
Froude #	0.60	0.62	0.60
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Tabla III.64

Resultados de socavación Local en pilares 7, 8 y 9, T 50 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #7 (CL = 190)	Pier: #8 (CL = 210)	Pier: #9 (CL =230)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.52	0.75	1.20
Velocity Upstream (m/s)	3.21	3.21	0.87
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.55	1.29	1.23
Froude #	0.65	1.19	0.25
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Periodo de Retorno 100 Años

Tabla III.65

Resultados de socavación Local en pilares 1, 2 y 3, T 100 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #1 (CL = 70)	Pier: #2 (CL = 90)	Pier: #3 (CL =110)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.45	2.74	3.51
Velocity Upstream (m/s)	3.31	3.31	3.31
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.55	1.58	1.66
Froude #	0.67	0.64	0.56
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Tabla III.66

Resultados de socavación Local en pilares 4, 5 y 6, T 100 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #4 (CL = 130)	Pier: #5 (CL = 150)	Pier: #6 (CL =170)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	3.17	2.97	3.12
Velocity Upstream (m/s)	3.31	3.31	3.31
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.63	1.61	1.62
Froude #	0.59	0.61	0.60
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Tabla III.67

Resultados de socavación Local en pilares 7, 8 y 9, T 100 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #7 (CL = 190)	Pier: #8 (CL = 210)	Pier: #9 (CL =230)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.75	0.97	1.43
Velocity Upstream (m/s)	3.31	3.31	1.08
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.58	1.34	1.28
Froude #	0.64	1.07	0.29
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Periodo de Retorno 300 Años

Tabla III.68

Resultados de socavación Local en pilares 1, 2 y 3, T 300 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #1 (CL = 70)	Pier: #2 (CL = 90)	Pier: #3 (CL =110)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.76	3.05	3.82
Velocity Upstream (m/s)	3.49	3.49	3.49
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.59	1.62	1.69
Froude #	0.67	0.64	0.57
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Tabla III.69

Resultados de socavación Local en pilares 4, 5 y 6, T 300 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #4 (CL = 130)	Pier: #5 (CL = 150)	Pier: #6 (CL =170)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	3.48	3.28	3.43
Velocity Upstream (m/s)	3.49	3.49	3.49
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.66	1.64	1.66
Froude #	0.60	0.61	0.60
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Tabla III.70

Resultados de socavación Local en pilares 7, 8 y 9, T 300 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #7 (CL = 190)	Pier: #8 (CL = 210)	Pier: #9 (CL =230)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	3.05	1.28	1.74
Velocity Upstream (m/s)	3.49	3.49	1.32
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.62	1.40	1.34
Froude #	0.64	0.98	0.32
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Periodo de Retorno 500 Años

Tabla III.71

Resultados de socavación Local en pilares 1, 2 y 3, T 500 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #1 (CL = 70)	Pier: #2 (CL = 90)	Pier: #3 (CL =110)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	2.90	3.19	3.95
Velocity Upstream (m/s)	3.56	3.56	3.56
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.61	1.64	1.71
Froude #	0.67	0.64	0.57
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Tabla III.72

Resultados de socavación Local en pilares 4, 5 y 6, T 500 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #4 (CL = 130)	Pier: #5 (CL = 150)	Pier: #6 (CL =170)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	3.62	3.42	3.57
Velocity Upstream (m/s)	3.56	3.56	3.56
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.68	1.66	1.67
Froude #	0.60	0.61	0.60
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Tabla III.73

Resultados de socavación Local en pilares 7, 8 y 9, T 500 años, por Froehlich

Input Data	Pier: #7 (CL = 190)	Pier: #8 (CL = 210)	Pier: #9 (CL =230)
Pier Shape	Square nose	Square nose	Square nose
Pier Width (m)	0.80	0.80	0.80
Grain Size D50 (mm)	12.35000	12.35000	12.35000
Depth Upstream (m)	3.19	1.42	1.88
Velocity Upstream (m/s)	3.56	3.56	1.42
Projected Width (m)	0.80	0.80	0.80
Pier shape Coeff	1.30	1.30	1.30
Results			
Scour Depth Ys (m)	1.64	1.43	1.37
Froude #	0.64	0.95	0.33
Equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation	Froehlich's equation

Resumen del método de Froehlich

Tabla III.74

Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 10 años, por Froehlich

SOCAVACION LOCAL EN PILARES POR EL METODO DE FROEHLICH			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
10	1	70	1.43
10	2	90	1.47
10	3	110	1.56
10	4	130	1.52
10	5	150	1.50
10	6	170	1.52
10	7	190	1.47
10	8	210	1.08
10	9	230	1.14
		PROMEDIO	1.41
		MAXIMO	1.56
		MINIMO	1.08

Tabla III.75

Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 50 años, por Froehlich

SOCAVACION LOCAL EN PILARES POR EL METODO DE FROEHLICH			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
50	1	70	1.52
50	2	90	1.55
50	3	110	1.63
50	4	130	1.60
50	5	150	1.58
50	6	170	1.59
50	7	190	1.55
50	8	210	1.29
50	9	230	1.23
		PROMEDIO	1.50
		MAXIMO	1.63
		MINIMO	1.23

Tabla III.76

Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 100 años, por Froehlich

SOCAVACION LOCAL EN PILARES POR EL METODO DE FROEHLICH			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
100	1	70	1.55
100	2	90	1.58
100	3	110	1.66
100	4	130	1.63
100	5	150	1.61
100	6	170	1.62
100	7	190	1.58
100	8	210	1.34
100	9	230	1.28
		PROMEDIO	1.54
		MAXIMO	1.66
		MINIMO	1.28

Tabla III.77

Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 300 años, por Froehlich

SOCAVACION LOCAL EN PILARES POR EL METODO DE FROEHLICH			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
300	1	70	1.59
300	2	90	1.62
300	3	110	1.69
300	4	130	1.66
300	5	150	1.64
300	6	170	1.66
300	7	190	1.62
300	8	210	1.40
300	9	230	1.34
		PROMEDIO	1.58
		MAXIMO	1.69
		MINIMO	1.34

Tabla III.78

Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 500 años, por Froehlich

SOCAVACION LOCAL EN PILARES POR EL METODO DE FROEHLICH			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
500	1	70	1.61
500	2	90	1.64
500	3	110	1.71
500	4	130	1.68
500	5	150	1.66
500	6	170	1.67
500	7	190	1.64
500	8	210	1.43
500	9	230	1.37
		PROMEDIO	1.60
		MAXIMO	1.71
		MINIMO	1.37

3.1.5.3. Socavación total

3.1.5.3.1. Resumen de los métodos Laursen – CSU - Hire

Tabla III.79

Resumen de resultados de socavación general, todos los periodos de retorno, por Laursen

SOCAVACION GENERAL POR EL METODO DE LAURSEN				
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	CAUDAL m3/s	SECCION IZQUIERDO DEL RIO	SECCION CENTRAL DEL RIO	SECCION DERECHA DEL RIO
10	875.01	1.46	1.46	-
50	1271.42	2.01	2.01	-
100	1442.14	2.21	2.21	-
300	1712.73	2.58	2.58	-
500	1838.55	2.78	2.78	0.03

Tabla III.80

Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 10 años, por CSU

SOCAVACION LOCAL EN PILARES POR EL METODO DE CSU			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
10	1	70	0.87
10	2	90	0.89
10	3	110	0.93
10	4	130	0.91
10	5	150	0.9
10	6	170	0.91
10	7	190	0.89
10	8	210	0.64
10	9	230	0.43
PROMEDIO			0.82
MAXIMO			0.93
MINIMO			0.43

Tabla III.81

Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 50 años, por CSU

SOCAVACION LOCAL EN PILARES POR EL METODO DE CSU			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
50	1	70	0.94
50	2	90	0.96
50	3	110	0.99
50	4	130	0.98
50	5	150	0.97
50	6	170	0.98
50	7	190	0.96
50	8	210	0.81
50	9	230	0.50
PROMEDIO			0.90
MAXIMO			0.99
MINIMO			0.50

Tabla III.82

Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 100 años, por CSU

SOCAVACION LOCAL EN PILARES POR EL METODO DE CSU			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
100	1	70	0.99
100	2	90	1.01
100	3	110	1.04
100	4	130	1.03
100	5	150	1.02
100	6	170	1.02
100	7	190	1.01
100	8	210	0.88
100	9	230	0.57
PROMEDIO			0.95
MAXIMO			1.04
MINIMO			0.57

Tabla III.83

Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 300 años, por CSU

SOCAVACION LOCAL EN PILARES POR EL METODO DE CSU			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
300	1	70	1.06
300	2	90	1.07
300	3	110	1.10
300	4	130	1.09
300	5	150	1.08
300	6	170	1.09
300	7	190	1.07
300	8	210	0.95
300	9	230	0.65
PROMEDIO			1.02
MAXIMO			1.10
MINIMO			0.65

Tabla III.84

Resumen de resultados de socavación Local en pilares, T 500 años, por CSU

SOCAVACION LOCAL EN PILARES POR EL METODO DE CSU			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
500	1	70	1.07
500	2	90	1.09
500	3	110	1.12
500	4	130	1.10
500	5	150	1.10
500	6	170	1.10
500	7	190	1.09
500	8	210	0.97
500	9	230	0.68
PROMEDIO			1.04
MAXIMO			1.12
MINIMO			0.68

Tabla III.85

Resumen de resultados de socavación Local en estribos, todos los periodos, por Hire

SOCAVACION LOCAL EN ESTRIBOS POR EL METODO DE HIRE			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	CAUDAL m3/s	ESTRIBO IZQUIERDO	ESTRIBO DERECHO
10	875.01	-	-
50	1271.42	-	-
100	1442.14	1.43	-
300	1712.73	3.87	-
500	1838.55	4.88	-

Tabla III.86

Resumen de resultados de socavación total en pilares, T 10 años, (Laursen + CSU)

COMBINACION SOCAVACION TOTAL EN PILARES (LAURSEN + CSU)			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
10	1	70	2.32
10	2	90	2.34
10	3	110	2.38
10	4	130	2.37
10	5	150	2.36
10	6	170	2.37
10	7	190	2.34
10	8	210	2.09
10	9	230	0.43
PROMEDIO			2.11
MAXIMO			2.38
MINIMO			0.43

Tabla III.87

Resumen de resultados de socavación total en pilares, T 50 años, (Laursen + CSU)

COMBINACION SOCAVACION TOTAL EN PILARES (LAURSEN + CSU)			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
50	1	70	2.95
50	2	90	2.96
50	3	110	3.00
50	4	130	2.98
50	5	150	2.98
50	6	170	2.98
50	7	190	2.96
50	8	210	2.82
50	9	230	0.50
PROMEDIO			2.68
MAXIMO			3.00
MINIMO			0.50

Tabla III.88

Resumen de resultados de socavación total en pilares l, T 100 años, (Laursen + CSU)

COMBINACION SOCAVACION TOTAL EN PILARES (LAURSEN + CSU)			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
100	1	70	3.20
100	2	90	3.22
100	3	110	3.25
100	4	130	3.24
100	5	150	3.23
100	6	170	3.23
100	7	190	3.22
100	8	210	3.08
100	9	230	0.57
PROMEDIO			2.92
MAXIMO			3.25
MINIMO			0.57

Tabla III.89

Resumen de resultados de socavación total en pilares, T 300 años, (Laursen + CSU)

COMBINACION SOCAVACION TOTAL EN PILARES (LAURSEN + CSU)			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
300	1	70	3.64
300	2	90	3.65
300	3	110	3.68
300	4	130	3.67
300	5	150	3.66
300	6	170	3.67
300	7	190	3.65
300	8	210	3.53
300	9	230	0.65
PROMEDIO			3.31
MAXIMO			3.68
MINIMO			0.65

Tabla III.90

Resumen de resultados de socavación total en pilares, T 500 años, (Laurssen + CSU)

COMBINACION SOCAVACION TOTAL EN PILARES (LAURSEN + CSU)			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NUMERO DE PILAR	ESTACION	SOCAVACION (m)
500	1	70	3.85
500	2	90	3.87
500	3	110	3.90
500	4	130	3.89
500	5	150	3.88
500	6	170	3.88
500	7	190	3.87
500	8	210	3.76
500	9	230	0.71
PROMEDIO			3.51
MAXIMO			3.90
MINIMO			0.71

Tabla III.91

Resumen de resultados de socavación total en estribos, todos los periodos, (Laurssen + Hire)

COMBINACION SOCAVACION TOTAL EN ESTRIBOS (LAURSEN + HIRE)			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	CAUDAL m ³ /s	ESTRIBO IZQUIERDO	ESTRIBO DERECHO
10	875.01	-	-
50	1271.42	-	-
100	1442.14	3.64	-
300	1712.73	6.45	-
500	1838.55	7.66	0.03

Socavación total para un periodo de retorno de 10 años.

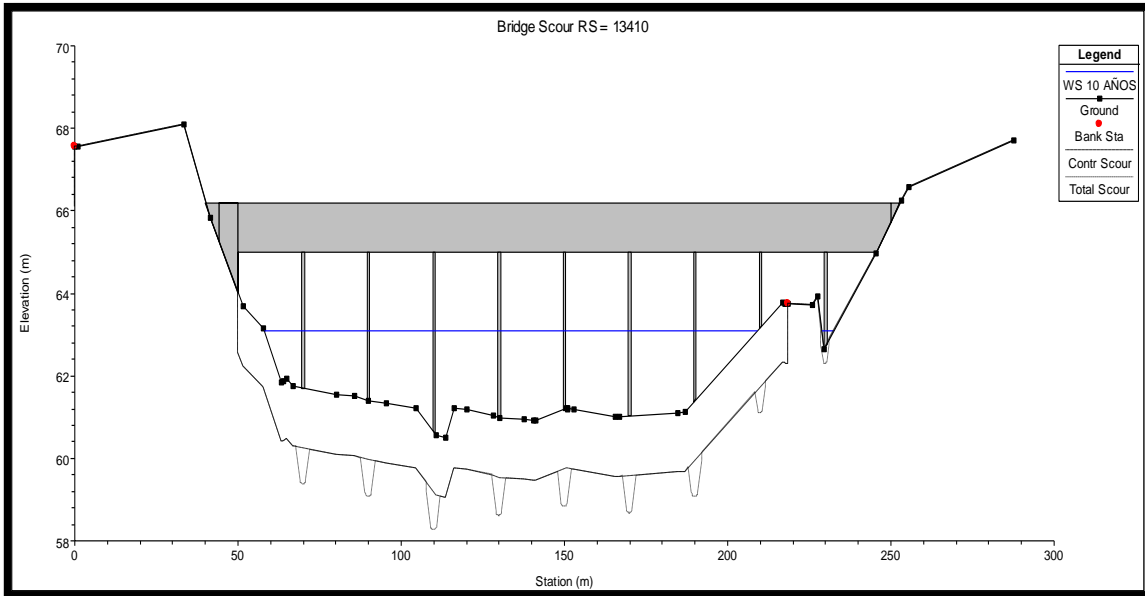


Figura III.22 Profundidad de socavación Total, T = 10 años
 (Fuente: Elaboración Propia)

Socavación total para un periodo de retorno de 50 años.

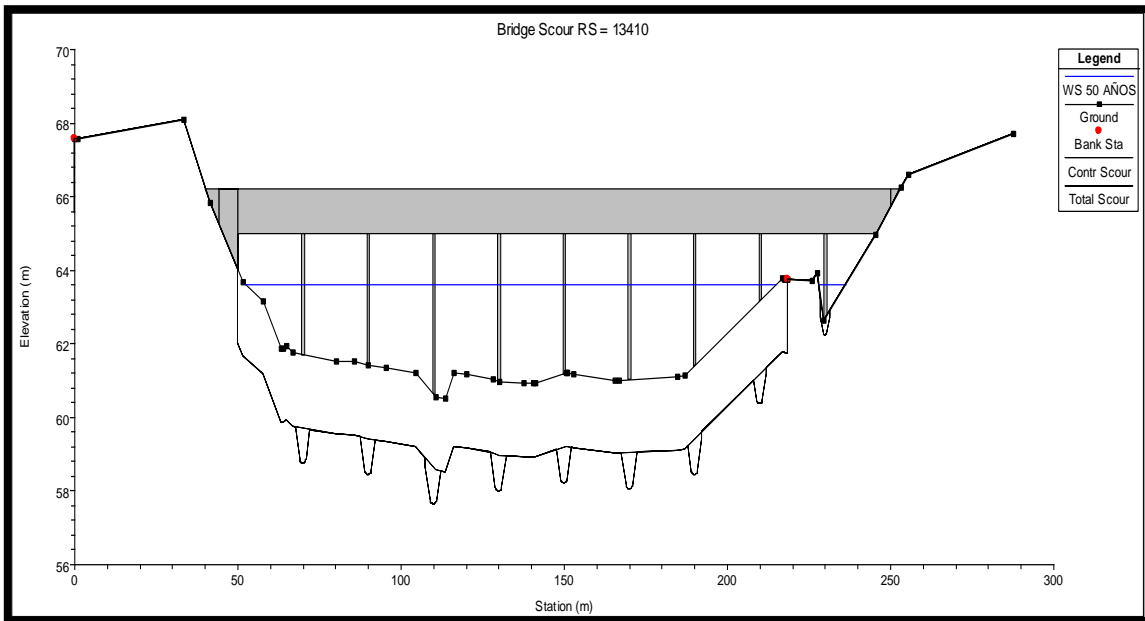


Figura III.23 Profundidad de socavación Total, T = 50 años
 (Fuente: Elaboración Propia)

Socavación total para un periodo de retorno de 100 años.

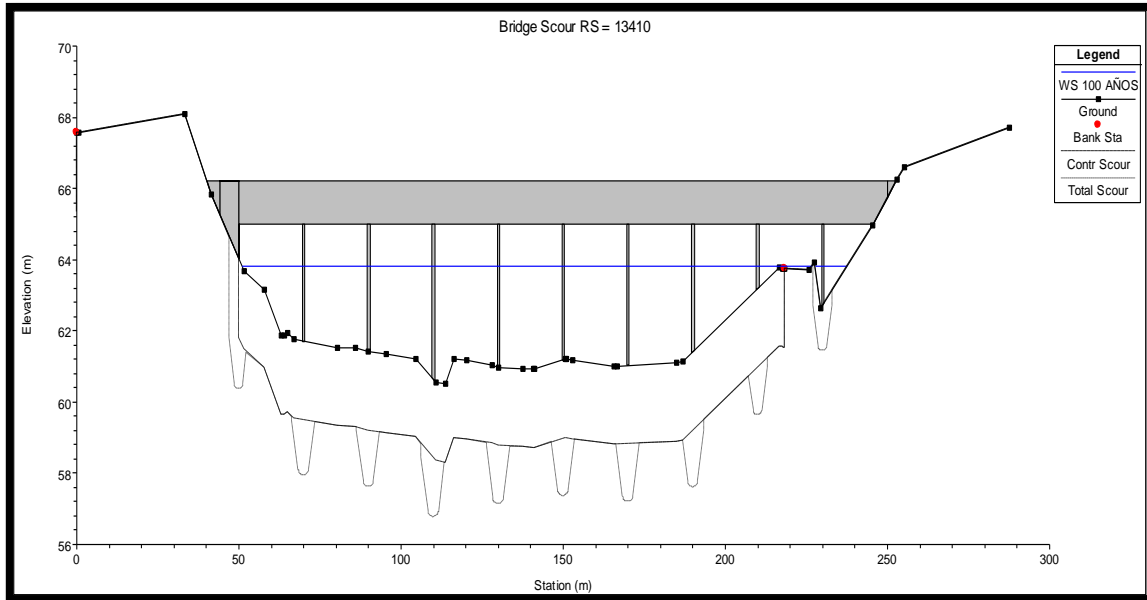


Figura III.24 Profundidad de socavación Total, T = 100 años
 (Fuente: Elaboración Propia)

Socavación total para un periodo de retorno de 300 años.

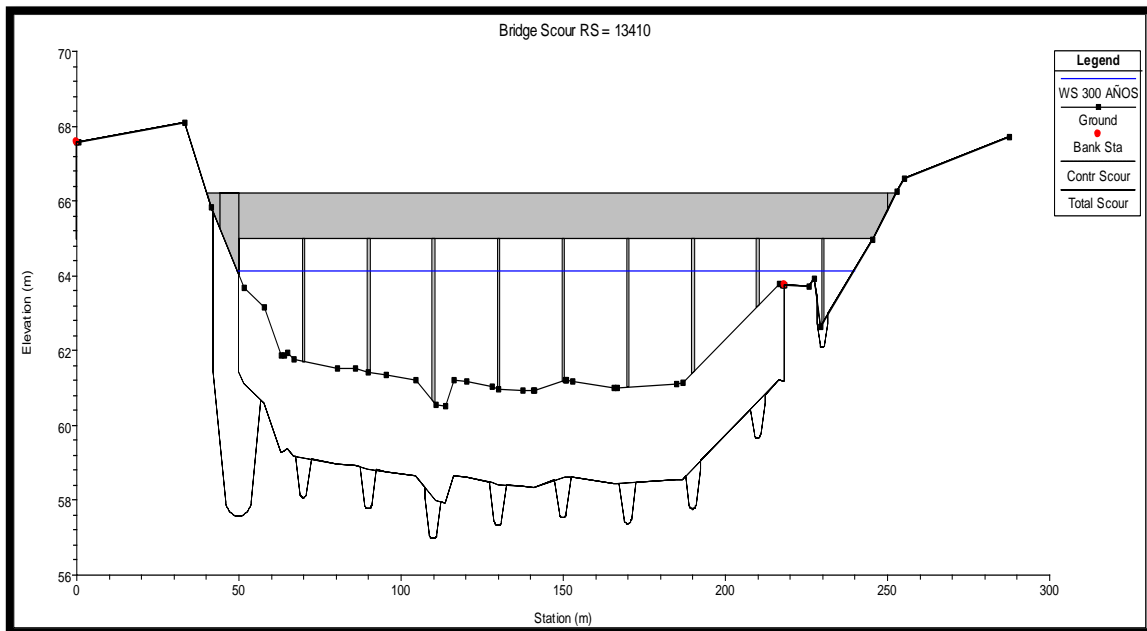


Figura III.25 Profundidad de socavación Total, T = 300 años
 (Fuente: Elaboración Propia)

Socavación total para un periodo de retorno de 500 años.

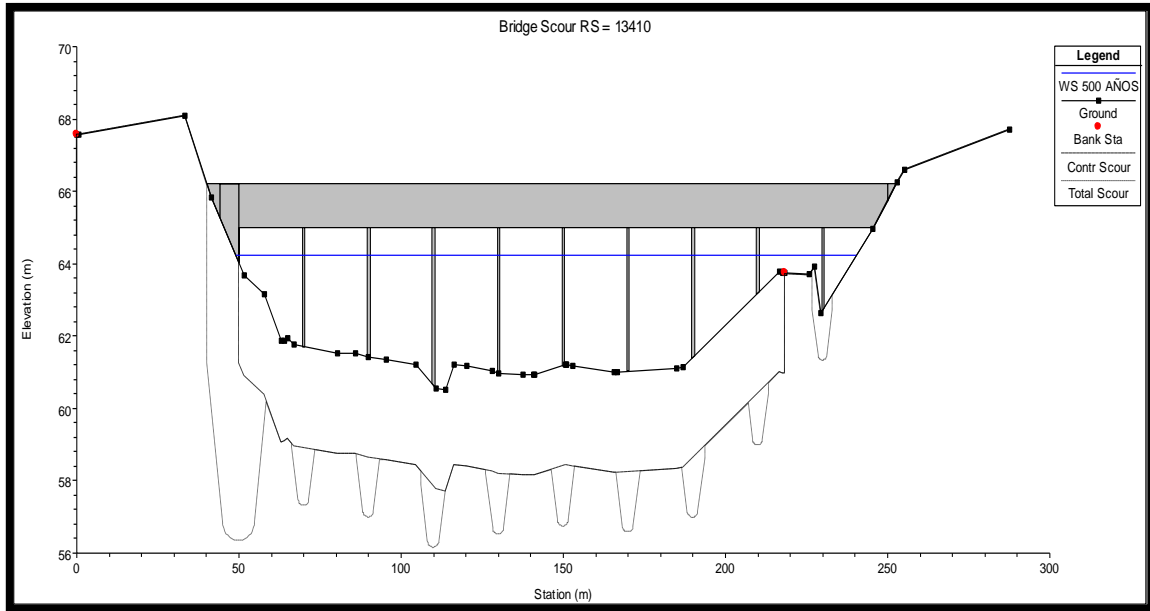


Figura III.26 Profundidad de socavación Total, T = 500 años
 (Fuente: Elaboración Propia)

3.1.6. Resultados del cálculo de socavación en Excel

3.1.6.1. Cálculo de socavación General por el método de Lishtvan Levediev

Tabla III.92

Parámetros hidráulicos para cálculo de soc. general, Lishtvan Levediev

Cálculo de la socavación general en el cauce						
Periodo de Retorno (años)	10	50	100	300	500	Unidad de medida
Qd = caudal de diseño	875.01	1271.42	1442.14	1712.73	1838.55	m ³ /seg
Be = ancho efectivo de la superficie de agua	200	200	200	200	200	m
Ho = tirante antes de la erosión	1.66	2.15	2.33	2.6	2.72	m
Vm = velocidad media en la sección	3.44	3.75	3.88	4.09	4.17	m/seg
m = coeficiente de contracción.	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93	
dm = diámetro medio	12.32	12.32	12.32	12.32	12.32	mm
x = exponente variable	0.335	0.335	0.335	0.335	0.335	
Tr = Periodo de retorno del gasto de diseño	10	50	100	300	500	años
b = coeficiente que depende de la frecuencia del caudal de diseño	0.90	0.97	1	1.03	1.05	
A = área de la sección hidráulica	250.32	332.18	367.08	421.97	442.24	m ²
Hm = profundidad media de la sección	1.25	1.66	1.84	2.11	2.21	m
a (parámetro dependiente de la sección hidráulica =	3.20	2.90	2.79	2.65	2.63	
Hs = Tirante producido por la socavación de la Socavación (m)	3.84	4.66	4.89	5.28	5.48	m

Tabla III.93

Resultados de socavación general, todos los periodos, Lishtvan Levediev

CALCULO DE SOCAVACION GENERAL DEL RIO CON EL METODO DE LISHTVAN LEVEDIEV		
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	CAUDAL (m ³ /s)	SOCAVACION (m)
10	875.01	2.18
50	1271.42	2.51
100	1442.14	2.56
300	1712.73	2.68
500	1838.55	2.76

3.1.6.2. Cálculo de socavación en pilares por el método de Neill

Cuando no se cuente con información completa se puede usar la fórmula de Neill, este método obtiene los resultados más conservadores.

Ancho de pilar: 0.80 m

Tabla III.94

Resultados de socavación local en pilares, T 10 años, por Neill

SOCAVACIÓN EN PILARES POR EL METODO DE NEILL				
PERIODO DE RETORNO	STACION	PILAR	Profundidad de flujo en cada pilar (m)	Socavación local en pilares (m)
10	STA 70	PILAR 1	1.64	1.49
10	STA 90	PILAR 2	1.94	1.57
10	STA 110	PILAR 3	2.70	1.73
10	STA 130	PILAR 4	2.37	1.66
10	STA 150	PILAR 5	2.16	1.62
10	STA 170	PILAR 6	2.31	1.65
10	STA 190	PILAR 7	1.94	1.57
10	STA 210	PILAR 8	0.16	0.74
10	STA 230	PILAR 9	0.62	1.11
PROMEDIO			1.76	1.52
MAXIMO			2.70	1.73
MINIMO			0.16	0.74

Tabla III.95

Resultados de socavación local en pilares, T 50 años, por Neill

SOCAVACIÓN EN PILARES POR EL METODO DE NEILL				
PERIODO DE RETORNO	STACION	PILAR	Profundidad de flujo (m)	Socavación local en pilares (m)
50	STA 70	PILAR 1	2.22	1.63
50	STA 90	PILAR 2	2.52	1.69
50	STA 110	PILAR 3	3.28	1.83
50	STA 130	PILAR 4	2.95	1.78
50	STA 150	PILAR 5	2.75	1.74
50	STA 170	PILAR 6	2.89	1.76
50	STA 190	PILAR 7	2.52	1.69
50	STA 210	PILAR 8	0.75	1.18
50	STA 230	PILAR 9	1.20	1.36
PROMEDIO			2.34	1.66
MAXIMO			3.28	1.83
MINIMO			0.75	1.18

Tabla III.96

Resultados de socavación local en pilares, T 100 años, por Neill

SOCAVACIÓN EN PILARES POR EL METODO DE NEILL				
PERIODO DE RETORNO	STACION	PILAR	Profundidad de flujo (m)	Socavación local en pilares (m)
100	STA 70	PILAR 1	2.45	1.68
100	STA 90	PILAR 2	2.74	1.74
100	STA 110	PILAR 3	3.51	1.87
100	STA 130	PILAR 4	3.17	1.81
100	STA 150	PILAR 5	2.97	1.78
100	STA 170	PILAR 6	3.12	1.81
100	STA 190	PILAR 7	2.75	1.74
100	STA 210	PILAR 8	0.97	1.27
100	STA 230	PILAR 9	1.43	1.43
		PROMEDIO	2.57	1.70
		MAXIMO	3.51	1.87
		MINIMO	0.97	1.27

Tabla III.97

Resultados de socavación local en pilares, T 300 años, por Neill

SOCAVACIÓN EN PILARES POR EL METODO DE NEILL				
PERIODO DE RETORNO	STACION	PILAR	Profundidad de flujo (m)	Socavación local en pilares (m)
300	STA 70	PILAR 1	2.76	1.74
300	STA 90	PILAR 2	3.05	1.79
300	STA 110	PILAR 3	3.82	1.92
300	STA 130	PILAR 4	3.48	1.87
300	STA 150	PILAR 5	3.28	1.83
300	STA 170	PILAR 6	3.43	1.86
300	STA 190	PILAR 7	3.05	1.79
300	STA 210	PILAR 8	1.28	1.38
300	STA 230	PILAR 9	1.74	1.52
		PROMEDIO	2.88	1.76
		MAXIMO	3.82	1.92
		MINIMO	1.28	1.38

Tabla III.98

Resultados de socavación local en pilares, T 500 años, por Neill

SOCAVACIÓN EN PILARES POR EL METODO DE NEILL				
PERIODO DE RETORNO	STACION	PILAR	Profundidad de flujo (m)	Socavación local en pilares (m)
500	STA 70	PILAR 1	2.90	1.77
500	STA 90	PILAR 2	3.19	1.82
500	STA 110	PILAR 3	3.95	1.94
500	STA 130	PILAR 4	3.62	1.89
500	STA 150	PILAR 5	3.42	1.86
500	STA 170	PILAR 6	3.57	1.88
500	STA 190	PILAR 7	3.19	1.82
500	STA 210	PILAR 8	1.42	1.43
500	STA 230	PILAR 9	1.88	1.55
		PROMEDIO	3.02	1.79
		MAXIMO	3.95	1.94
		MINIMO	1.42	1.43

3.1.6.3. Cálculo de socavación en pilares por el método de K. F. Artamonov

El manual de Hidrología y drenaje del MTC recomienda el siguiente método cuando no se cuente con información completa:

Tabla III.99

parámetros hidráulicos para cálculo de soc. Local en estribos, K. F. Artamonov

Cálculo de la socavación Local en estribos				
Periodo de Retorno (años)	100	300	500	Unidad de medida
Ho = tirante que se tiene en la zona cercana al estribo antes de la erosión	2.33	2.6	2.72	m
Q = caudal de diseño	1442.14	1712.73	1838.55	m ³ /s
Q1 = caudal que teóricamente pasaría por el lugar ocupado por el estribo de la margen izquierda	40.82	48.47	52.03	m ³ /s
Q1/Q =	0.03	0.03	0.03	
K _Q = coeficiente que depende de la relación Q1/Q.	2.00	2.00	2.00	
Θ = ángulo que forma el eje del estribo con la corriente	90	90	90	°
K _Θ = coeficiente que depende del ángulo Θ	1.00	1.00	1.00	
m = talud que tiene el estribo	1.00	1.00	1.00	
K _m = coeficiente que depende del talud que tiene el estribo.	1.00	1.00	1.00	
St = tirante incrementado al pie del estribo debido a la socavación en mts.	4.66	5.20	5.44	m

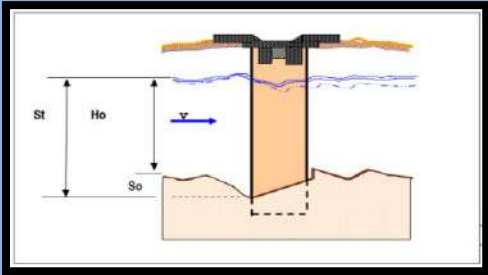


Tabla III.100

Resultados de socavación local en estribos, todos los periodos, por K. F. Artamonov

SOCAVACION LOCAL EN ESTRIBOS POR EL METODO DE ARTAMONOV		
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	CAUDAL m ³ /s	ESTRIBO IZQUIERDO (m)
100	1442.14	2.33
300	1712.73	2.6
500	1838.55	2.72

3.1.7. Resumen de la socavación total

Tabla III.101

Resultados finales de la socavación total (Laursen + CSU + Hire)

Elemento	Periodo de Retorno (años)	caudal (m ³ /s)	Socavación General (m)	Socavación Local (m)	Socavación Total (m)
Estribo Izquierdo	500	1838.55	2.78	4.88	7.66
Estribo Derecho			0.03	-	0.03
Pilar 1			2.78	1.07	3.85
Pilar 2			2.78	1.09	3.87
Pilar 3			2.78	1.12	3.9
Pilar 4			2.78	1.1	3.89
Pilar 5			2.78	1.1	3.88
Pilar 6			2.78	1.1	3.88
Pilar 7			2.78	1.09	3.87
Pilar 8			2.78	0.97	3.76
Pilar 9			0.03	0.68	0.71

La socavación se calculó con 7 métodos de los cuales HEC-RAS emplea 3 métodos para el cálculo de socavación total: *Laursen*, *CSU*, *Hire*; los cálculos con los métodos de *Lishtvan Levediev*, *Froehlich*, *Neill* y *Artamonov* se realizaron con la finalidad de realizar comparaciones entre ellos.

3.1.8. Diseño de Obras de Protección

3.1.8.1. Enrocados tipo Diques Laterales

Para determinar el ancho estable se usó el programa River, obteniendo los siguientes resultados:

Predimensionamiento de Diques Laterales

Figura III.27 Diseño de Diques Laterales en River
(Fuente: Elaboración Propia)

El ancho estable asumido de 160 m, es el valor mínimo recomendable para que la avenida de diseño pase con flujo subcrítico a través de la sección hidráulica. El predimensionamiento del dique para la sección estable mínima es:

Taludes en sección recta

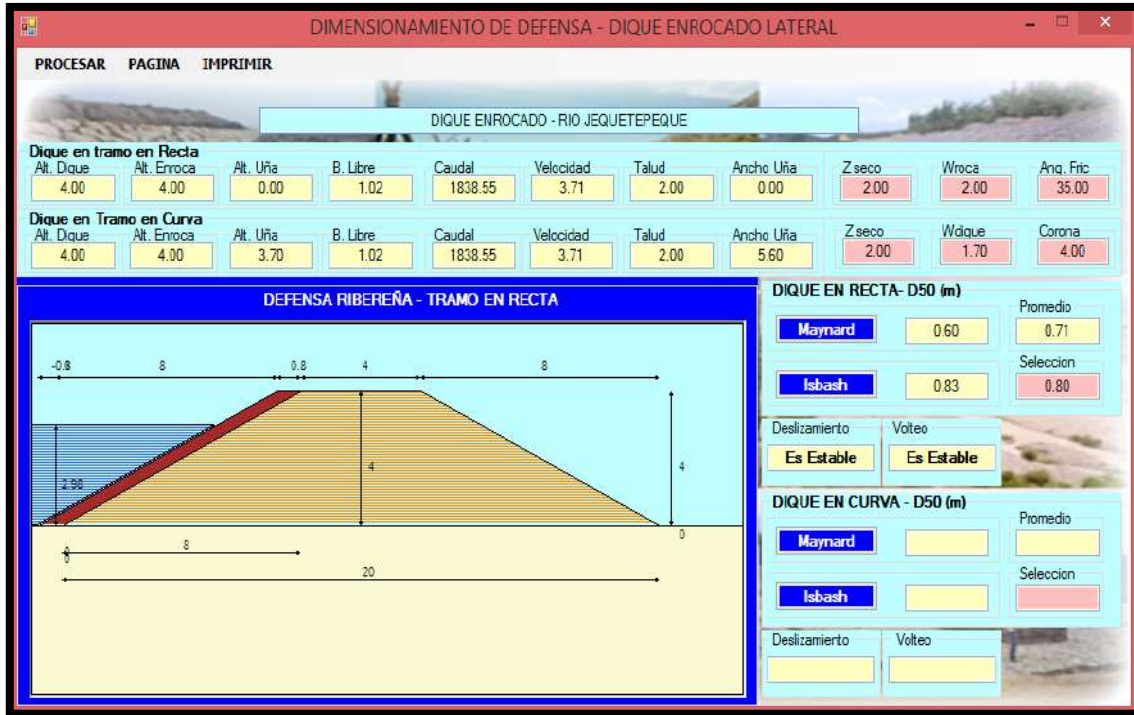


Figura III.28 Diseño preliminar de Dique Lateral en Recta (Fuente: Elaboración Propia)

Taludes en sección curva.

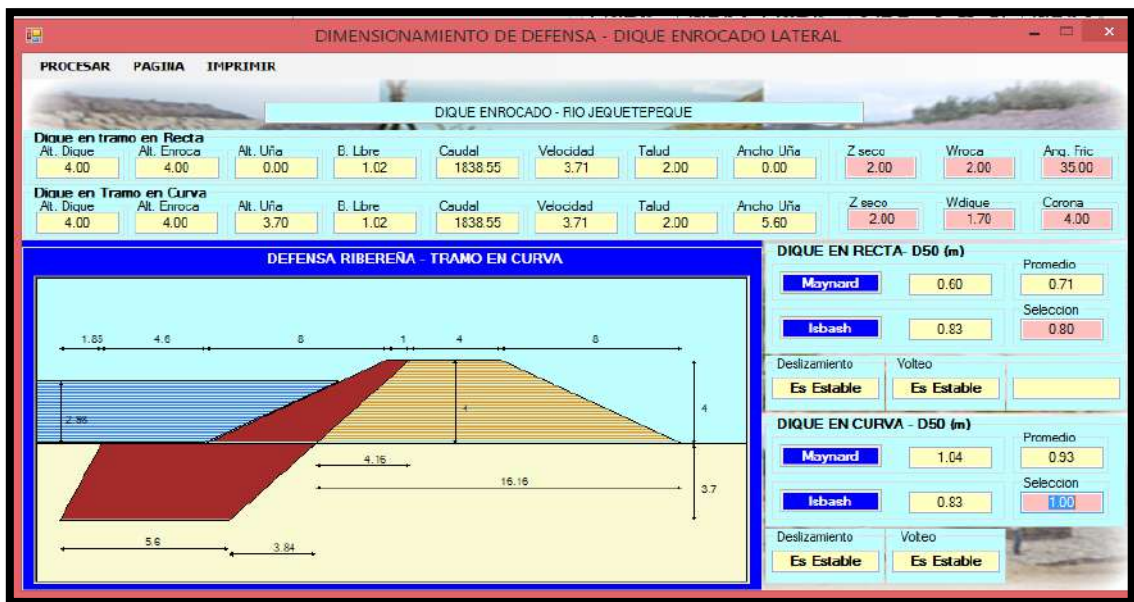


Figura III.29 Diseño preliminar de Dique Lateral en Curva (Fuente: Elaboración Propia)

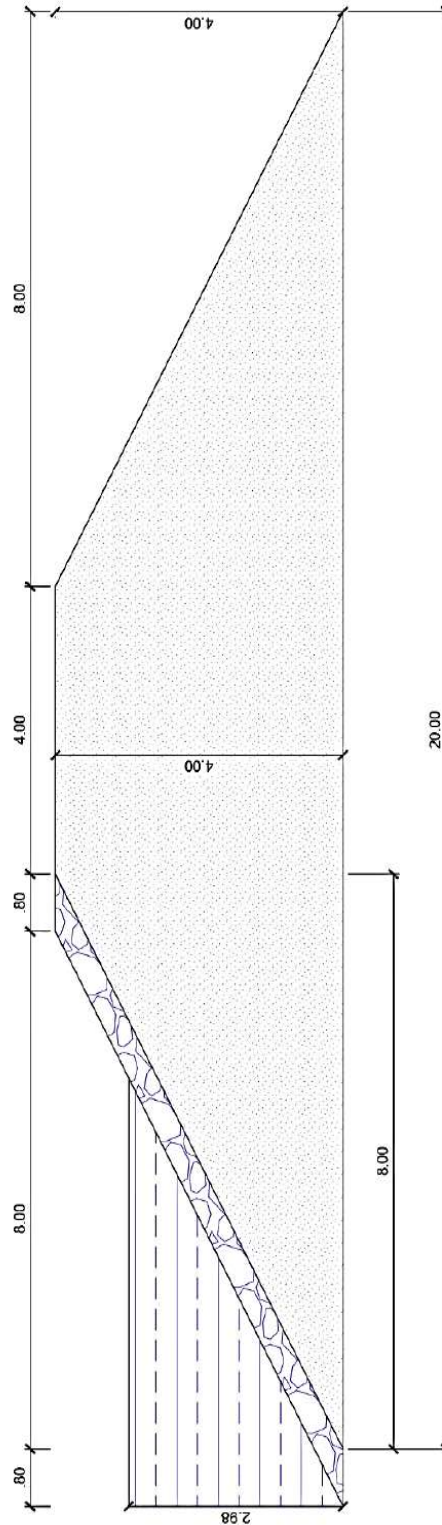


Figura III.30 Sección típica de diques laterales con el programa RIVER en recta.
 (Fuente: Elaboración Propia)

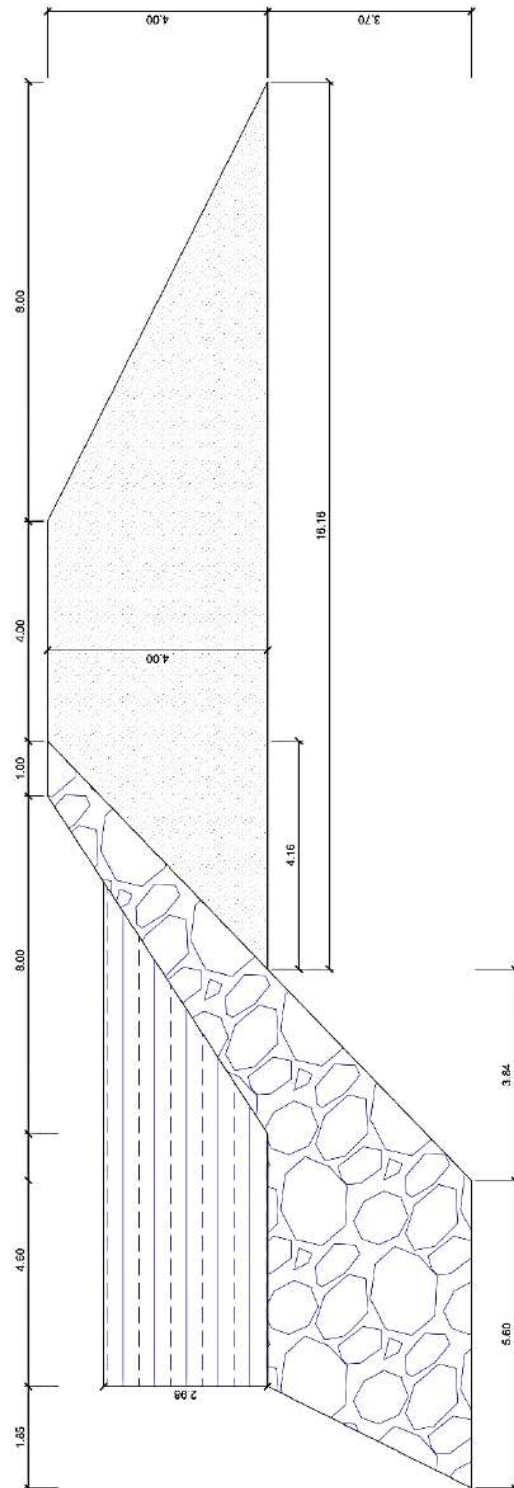


Figura III.31 Sección típica de diques laterales con el programa RIVER en curva
 (Fuente: Elaboración Propia)

Definida la sección típica de los diques laterales, se puede analizar con HEC-RAS los sectores inundables en los que se realizan los trabajos de encauzamiento y la colocación de los diques. El ancho mínimo estable calculado (160m) nos da una idea aproximada del valor mínimo necesario para que el caudal de diseño fluya a través de la sección transversal sin alterar el perfil de equilibrio del río. El río Jequetepeque presenta secciones hidráulicas que varían entre 100m a 800m, en los márgenes del río se realizan actividades agrícolas, por lo tanto, creemos que es necesario mantener el ancho estable en 200m, y con esta medida se previenen inundaciones y a la vez se gana terreno para fines agrícolas.

3.1.8.2. Protección de pilares y estribos

In situ se observó que el Puente Libertad cuenta con protección de pilares y estribos tipo manto de escollera y concreto en los 2 estribos y al menos en 4 pilares (pilar 1, 2, 8 y 9) debido a que se encuentran expuestos y requieren un mantenimiento urgente por haber sufrido el paso del último fenómeno El Niño. (Ver *Figura III.32*, *Figura III.33* y *Figura III.34*)



Figura III.32. Deterioro de manto de escollera



Figura III.33. Deterioro del manto de escollera



Figura III.34. Erosión del cauce

En los pilares 3, 4, 5, 6 y 7 no se pudo corroborar la presencia de mantos de escollera que se hubieran colocado de manera superficial, ver *Figura III.35*



Figura III.35. Verificación de la no existencia de manto de escollera superficial.

El no haber encontrado mantos de escollera en la superficie no implica que no existan, pueden haberse instalado a mayor profundidad siguiendo las recomendaciones de varios autores, entre ellos las del ingeniero Martin Vide en su reconocido libro “Ingeniería de Ríos” pagina 258, donde recomienda ubicar los mantos de escollera a una profundidad donde empiece la socavación local dando por perdida la socavación general. Las dimensiones de los mantos de escollera que se pueden observar se muestran a continuación en la *Figura III.36* y *Figura III.37*.

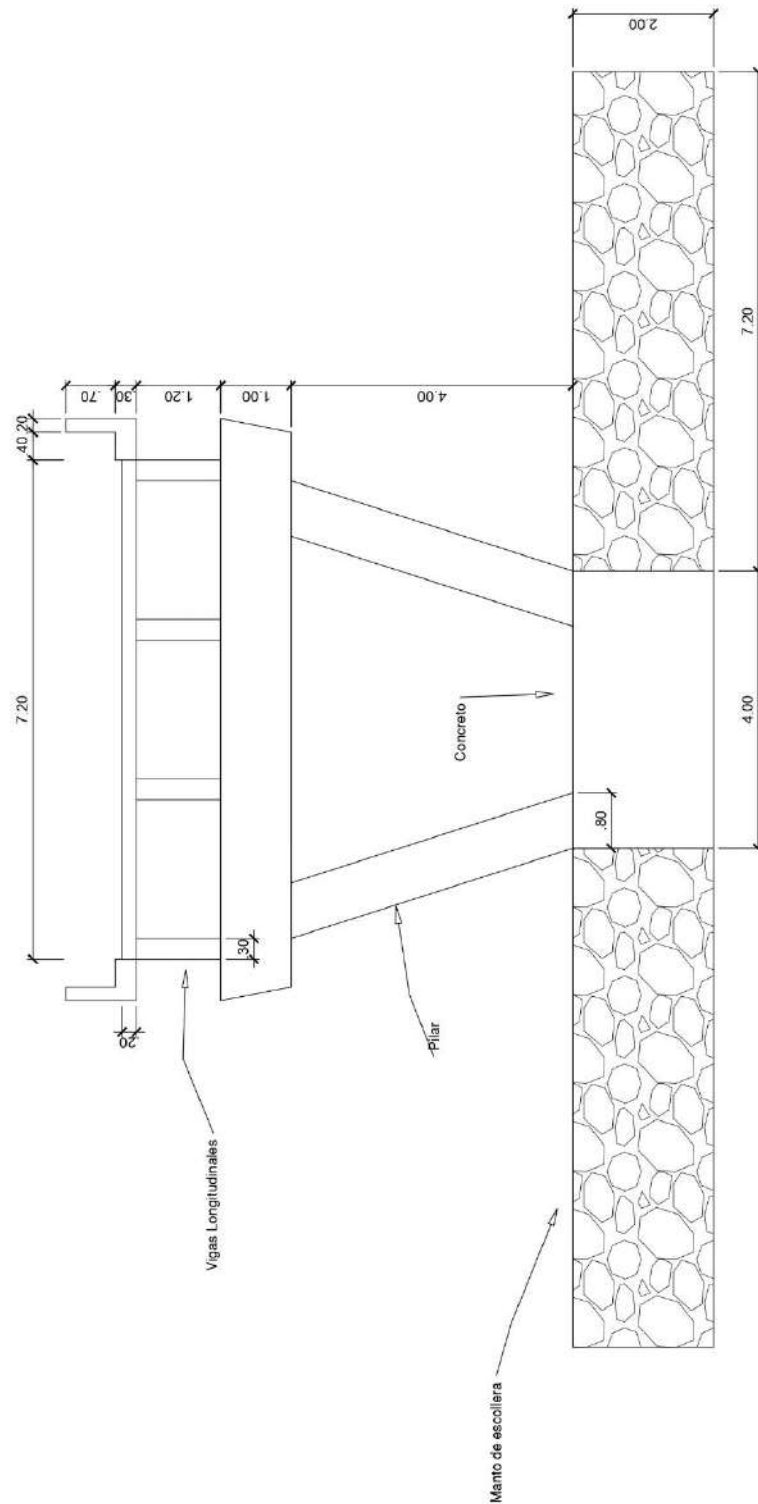


Figura III.36. Dimensiones de manto de escollera existente en pilares 1, 2, 8 y 9

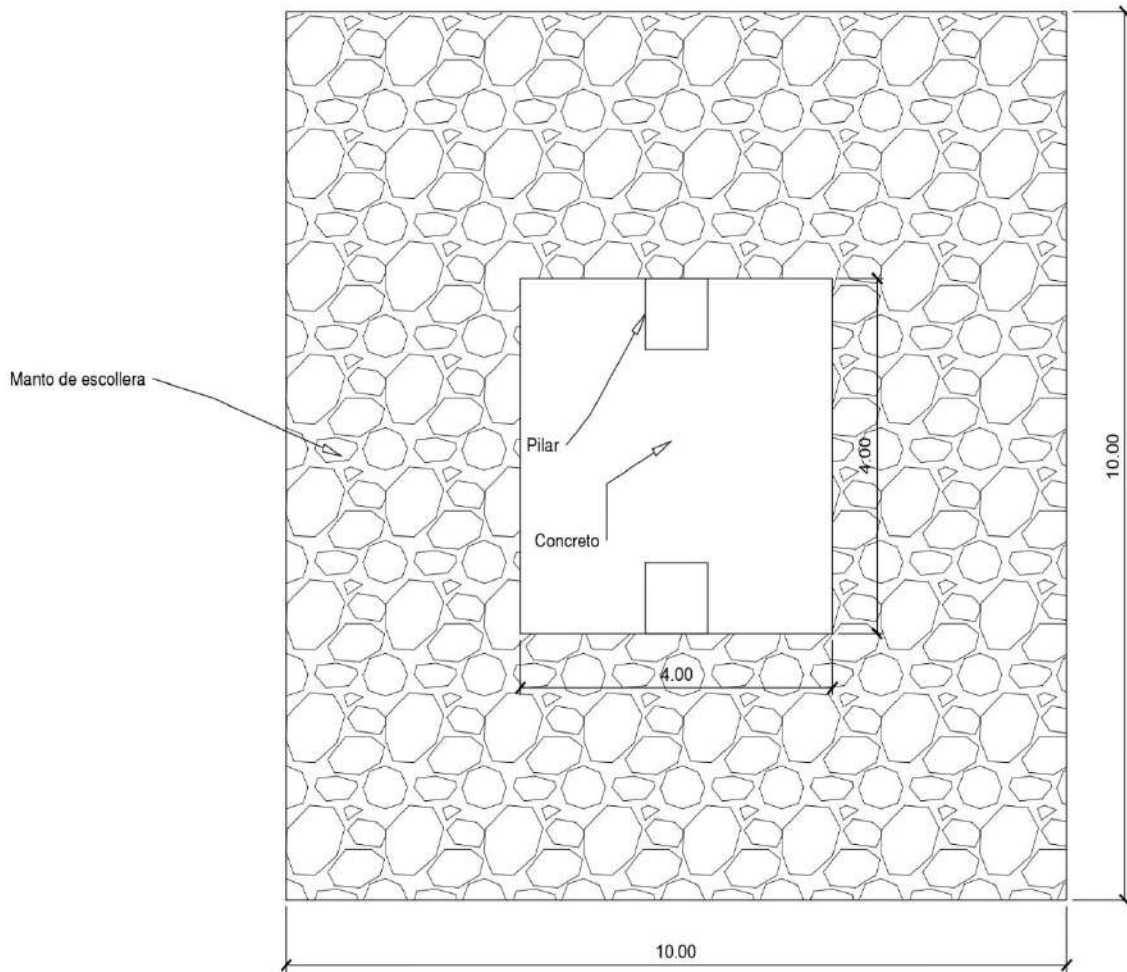


Figura III.37. Dimensiones de manto de escollera en pilares 1, 2, 8 y 9, vista en planta

Se ha mencionado que existen mantos de escollera en 4 pilares y en los 2 estribos y no se ha observado mantos de escollera en la superficie de los otros 5 pilares, entonces se realizó un diseño para estos 5 pilares siguiendo lo recomendado en el manual de Hidrología y Drenaje 2019 del MTC y el libro “Ingeniería de Ríos” del ingeniero Martin Vide, empleamos el método HEC 18.

a. Diseño de mantos de escollera.

Datos:

- Ancho de pilar: 0.8m
- Profundidad de socavación general: 2.78m
- Extender el ancho de la escollera al menos 2.5 veces el ancho del pilar, medido desde la cara externa del pilar en forma de aureola alrededor de éste.

Tabla III.102

Diseño de mantos de escollera para Protección de Pilares por HEC 18 (1993)

CÁLCULO DE LOS MANTOS DE ESCOLLERA POR EL MÉTODO HEC-18 (1993)					
PILAR/ESTRIBO	ESTACION	VELOCIDAD DE FLUJO m/s	GRAVEDAD (m/s ²)	DENSIDAD RELATIVA DE LA ROCA	DIÁMETRO MEDIO DE ROCA (m)
PILAR 3	110	3.56	9.81	2.65	0.78
PILAR 4	130	3.56	9.81	2.65	0.78
PILAR 5	150	3.56	9.81	2.65	0.78
PILAR 6	170	3.56	9.81	2.65	0.78
PILAR 7	190	3.56	9.81	2.65	0.78

Como resultado se obtiene un diámetro de piedra de 0.78m, la profundidad a la que se deben colocar los mantos de escollera, según el ingeniero Martín Vide, deben ser justo donde empieza la socavación local, la profundidad de erosión producida por la socavación general debe darse por perdida.

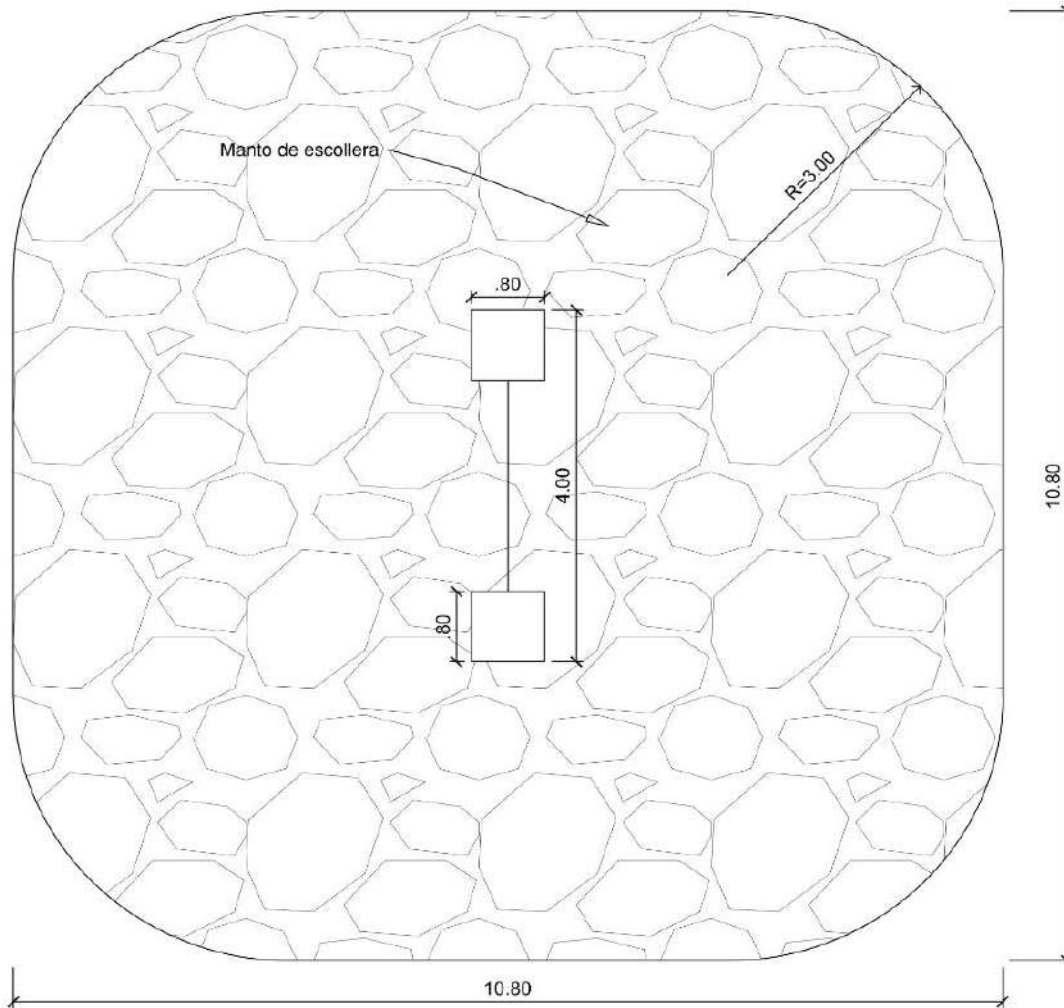


Figura III.38 Vista en planta de un manto de escollera
(Fuente: Elaboración Propia)

Los pilares del puente Libertad se ubican uno tras otro y perpendicularmente al flujo de agua, en el diseño se consideró cubrir los pilares con mantos de escollera aguas arriba y aguas abajo, los lados del manto de escollera son simétricos de 10.80m y un radio de 3m en las esquinas para darle forma de aureola y evitar la socavación por la forma del manto, se sabe que la forma e nariz rectangular o angulosa beneficia la acción de la socavación y un forma más ovalada o circular la evita en mayor medida.

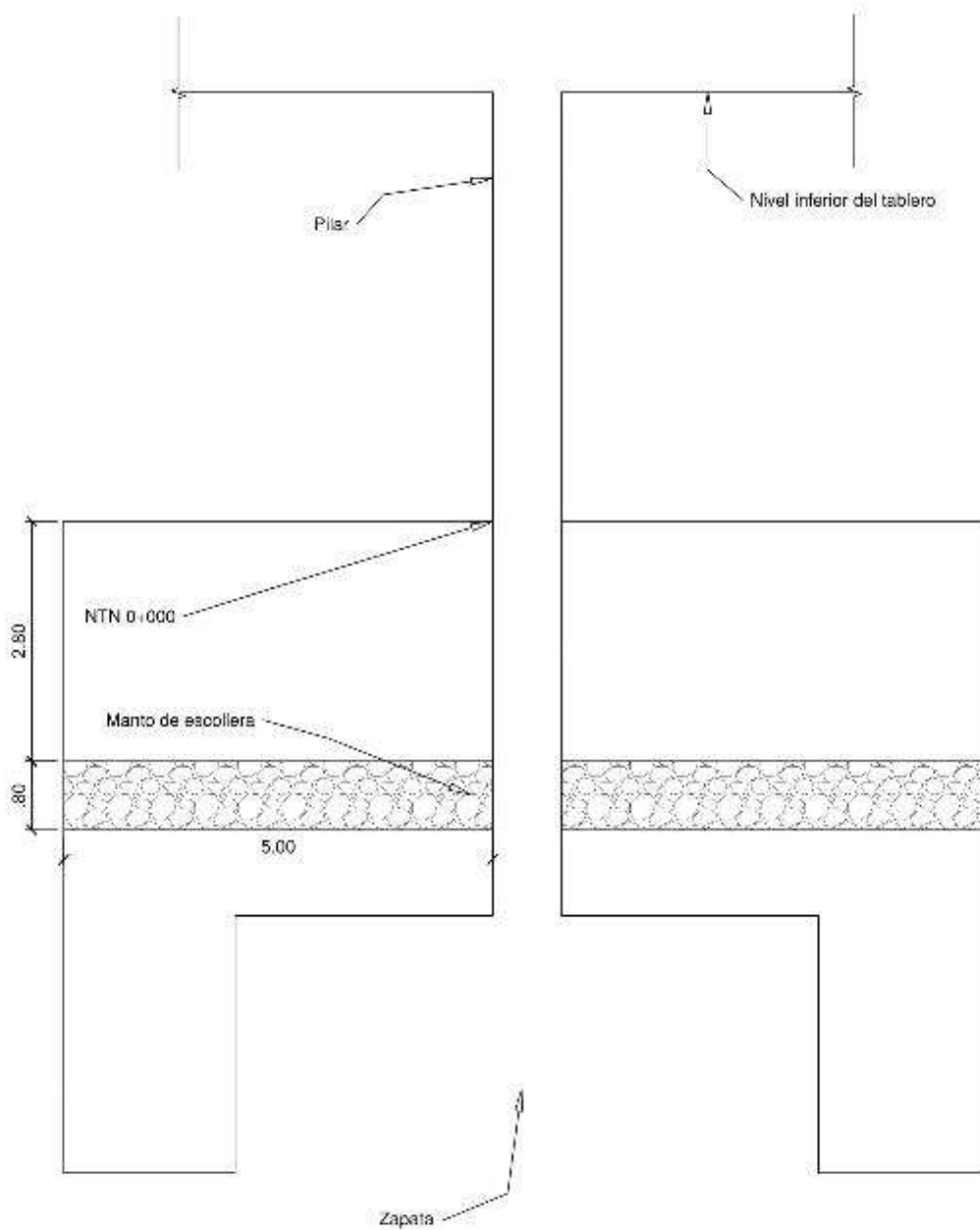


Figura III.39 Sección típica de manto de escollera diámetro de roca de 0.80m
(Fuente: Elaboración Propia)

Se eligió un diámetro de roca de 0.80m y una profundidad de colocación de 2.80m.

CAPÍTULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

4.1.DISCUSIONES

4.1.1. Del Estudio Topográfico

El levantamiento topográfico se realizó con el método de la poligonal abierta, con una estación total y su respectivo prisma, teniendo los BM utilizados para el estudio topográfico el río Jequetepeque, se obtuvo un grupo de puntos, que fueron importados al programa CIVIL 3D.

El Manual de Hidrología y Drenaje del MTC 2019 en la página 88 norma los requerimientos mínimos para el levantamiento topográfico en la evaluación de socavación en puentes, menciona que como mínimo el levantamiento topográfico deberá ser $12B$ aguas arriba y $6B$ aguas abajo, siendo B el ancho del cauce principal, además, este levantamiento no debe ser menor a 150 m aguas arriba y 150m aguas abajo; por lo que, en esta investigación se cumple con este requisito ya que el cauce principal del río Jequetepeque tiene un ancho promedio de 200m siendo 2400m aguas arriba y 1200m aguas abajo el requerimiento mínimo y el levantamiento topográfico de nuestra investigación consta de 48320m estando el puente a la altura de la progresiva 13+410m partiendo de la orilla del mar.

Otro requerimiento del MTC en cuanto al levantamiento topográfico es realizar las secciones transversales del levantamiento topográfico 0.5 veces el ancho del cauce principal, es decir, para el cauce estudiado el distanciamiento máximo de nuestras secciones sería $0.5(200) = 100m$. En esta investigación se realizaron secciones transversales cada 50m, cumpliendo con este requisito; se hace mención que las curvas de nivel se pueden generar a cualquier distancia porque así lo permite el programa CIVIL 3D, sin embargo, al generar las secciones para exportar HEC RAS, se debe elegir un

distanciamiento de secciones transversales que evite el entrecruzamiento de estas por que al tener un cauce amplio estas también lo son, este cruzamiento se da en las curvas del rio, esto limita considerar secciones poco distanciadas una de la otra, esta investigación ha comprobado que la distancia más apropiada entre sección y sección que evita el cruzamiento de las mismas es de 50m y su longitud desde 150 hasta 800m aproximadamente, aun debiendo alinear en curvas unas pocas secciones.

En cuanto a la ubicación del puente el MTC recomienda que debe estar construido respetando el ancho del cauce principal, para evitar el estrechamiento del mismo y el aumento de velocidad del flujo, con la socavación que generaría en el cauce y en curvas; en mención a esto se concluye que la construcción del puente Libertad a respetado el ancho efectivo del cauce principal, además, se debe recalcar que tiene un diseño conservador debido a que el estribo derecho a extendido el cauce del rio y el caudal no le afecta, en el caso del estribo izquierdo este si recibe el caudal de avenida, pero, ambos estribos están extendiendo el ancho del cauce principal, entre ambos estribos se ha extendido 12m. El ataque del flujo al puente es perpendicular, esto es lo más apropiado debido a que el flujo no genera socavaciones distintas en cada pilar, sino que aproximadamente se tiene la misma socavación en cada uno evitando que alguno falle con mayor rapidez.

4.1.2. Del Estudio Geotécnico

Al respecto el MTC, en el Manual de Hidrología y Drenaje página 99, recomienda que el muestreo de calicatas se realice a $0.5B$ aguas arriba y a $0.5B$ aguas abajo como máximo, siendo B el ancho promedio del cauce, habiendo cumplido con la recomendación, debido a que, el ancho promedio del cauce es 200m y se realizaron 3 calicatas a 1.5 m de profundidad, 2 en el eje del puente y la tercera 40 m aguas arriba en la parte central del río.

El análisis de las 6 muestras según la clasificación SUCS evidencia un suelo tipo GRAVA POBREMETE GRADUADA CON ARENA debido a que el 55.11% quedo retenido en el Tamiz N° 4. y su Coeficiente de curvatura fue 0.99, siendo ligeramente menor a 1, al respecto Rocha (2013) manifiesta que un suelo con una distribución granulométrica extendida protege la erosión.

Se encontraron los diámetros de interés para el cálculo de socavación que son: D_{50} 12.351mm, D_{95} 36.303m y D_m 12.319mm, se puede emplear el D_{50} o D_m como diámetro promedio representativo de toda la distribución granulométrica.

4.1.3. Del Estudio Hidrológico

Se realizó el estudio hidrológico en el Software ARCGIS y se determinó parámetros geomorfológicos de forma y relieve de la cuenca Jequetepeque a emplearse en las fórmulas para el cálculo de caudal de diseño para diferentes periodos de retorno. Se emplearon las cartas nacionales del Instituto Geofísico Nacional (IGN) a escala 1:100,000 14e, 14f, 15d, 15e, 15f y 15g.

Al respecto el Manual de Hidrología y Drenaje del MTC en la página 23 recomienda el uso de cartas nacionales del IGN a escala 1:100,000 y preferentemente a

una escala de 1/25,000, para obtener resultados esperados en la delimitación de una cuenca hidrográfica.

Se obtuvo un área de cuenca de 3,935.42 km², perímetro de cuenca 466.55 km, cota máxima 4,201 msnm y cota mínima de 0 msnm, longitud del cauce principal 173.29 km, pendiente del cauce principal de 0.0242m/m, índice de compacidad de 2,097, factor de forma de 0.13 y una pendiente en el tramo evaluado de 0.0085 m/m.

Del marco teórico de los parámetros de forma de una cuenca se sabe que las cuencas con un factor de forma cercano a 0 tienden a ser alargadas como es el caso de la cuenca Jequetepeque, lo que ratifica el índice de compacidad que siendo cercano a 3 indica una cuenca alargada.

Respecto a los parámetros de relieve el factor más importante en el cálculo de socavación es la pendiente, el cual confiere velocidad al flujo y enérgica cinética para el arrastre de sedimentos y por tanto una erosión del cauce del río. Del estudio realizado, se afirma que la pendiente en el tramo evaluado difiere considerablemente de la pendiente promedio del cauce principal, cabe mencionar que la pendiente del cauce principal se usa en el cálculo de caudal de diseño y la pendiente del tramo evaluado se emplea para la socavación en el mismo.

Para el cálculo de caudal de diseño se emplearon los métodos sugeridos en el Manual de Hidrología y Drenaje del MTC, en la página 26, el cual establece los métodos estadísticos y empíricos a emplear.

Se utilizó el software River el cual cuenta con el método estadístico y el método empírico, el software Hidroesta que cuenta con métodos estadísticos, así como el caudal instantáneo, para luego comparar con la envolvente regional de Creager y el método

empírico de Tucci, empleando la data histórica de caudales máximos diarios de la estación Yonán desde el año 1965 al 2017

En cuanto a los Métodos de Gumbel, Pearson III y Log Normal, este último demostró tener un factor de correlación mayor a los otros 2, siendo 0.98779. y un caudal de diseño de 1461.489 m³/s para 500 años de retorno.

El método empírico Mac Math, es una variante del Método Racional más apropiado para nuestra investigación debido a que el Método Racional y Racional modificado se limitan al análisis de cuencas de 10km² y 770 km², lo que explicaría que los resultados obtenidos difieren de los obtenidos con los demás métodos. Se obtuvo un caudal de 836m³/s para un periodo de retorno de 500 años, el cual consideramos no coherente con la data histórica obtenida de la Estación Yonán.

El Manual de Hidrología y Drenaje 2019, en la página 64, recomienda emplear el método de Tucci para la zona Norte del país, el cual tiene en cuenta los antecedentes del fenómeno de El Niño y dado el cambio climático, el MTC recomienda un mayor análisis. Con este método se calculó un caudal de diseño de 1860.23 m³/s para 500 años de retorno, coherente con la data histórica obtenida de la Estación Yonán.

Mediante los métodos de Fuller y Regional de envolvente de Creager se obtuvo un caudal de 1838.55 m³/s y 2030.13 m³/s para un tiempo de retorno de 500 años, respectivamente.

Del análisis de los resultados obtenidos mediante los diferentes métodos, se afirma que el método apropiado a emplear en esta investigación es el método Fuller, ya que, emplea datos geomorfológicos e hidrométricos; además, en base a lo que se indica en el Manual de Hidrología y Drenaje (2019) del MTC “se debe tener dar un tratamiento especial en la zona de influencia de la Vertiente del Pacífico del Perú, departamentos de

Piura y Tumbes”. Mediante este método se obtuvieron resultados más cercanos al método Tucci.

El método Log Normal se considera segunda opción por tener un Coeficiente de correlación R^2 mayor en comparación a los demás métodos estadísticos. Sin embargo, consideramos que en los caudales históricos empleados como data están incluidos caudales de años en los que hubo sequía, teniendo en cuenta el constante aumento de temperatura atmosférica causado por el cambio climático, lo que incrementa la variabilidad de los datos.

En relación al periodo de retorno elegible para el cálculo de socavación en puentes, el MTC recomienda que: “en caso de que el puente se construya en una ciudad con alta densidad de población, o se ubique medianamente aguas abajo de ésta, sobre un río de amplias llanuras de inundación, el período de retorno debe ser superior a 100 años” y “para la estimación de la profundidad de socavación, el período de retorno mínimo deberá ser igual al utilizado en el diseño del puente y para un caudal de no más de 500 años de periodo de retorno que es el caudal para verificar la estabilidad de la cimentación del puente. En ese caso, se considera que se trata de un evento extremo” (Manual de Hidrología y Drenaje 2019 p.93); en esta investigación se consideran los periodos de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años.

4.1.4. De las expresiones matemáticas

Se emplearon los métodos sugeridos en el Manual de Hidrología y Drenaje para el cálculo de socavación general en el cauce del río y local en estribos y pilares.

La socavación total se refiere a la suma de todos los tipos de socavación que convergen en un punto, es así que se ha empleado el método de Laursen 1995 para la

socavación general en el cauce del río, el método de CSU para la socavación local en pilares y el método de Hire para la socavación local en estribos. Estos métodos son los más recomendados por el HEC-18 y empleados por el software HEC RAS; las ecuaciones de Froehlich (ecuación de Froehlich para pilares y ecuación de Froehlich para estribos) se presentan como alternativa para el cálculo de la socavación local en pilares y estribos. Las ecuaciones de Froehlich confieren un valor de seguridad por la forma del pilar o estribo. De la combinación de estas ecuaciones se obtiene la socavación total en estribos y en pilares.

Complementariamente a las ecuaciones que emplea HEC RAS se analizó la socavación general en el cauce con el método de Lischtvan Levediev, socavación local en pilares con el método de Neill y la socavación local en estribos con el método de Artamonov.

El método de Lischtvan Levediev es muy usado, pero, emplea algunos datos inexactos, tales como los datos de área hidráulica, velocidad y tirante para determinada sección, debido a que en la sección existen diversidad de velocidades y tirantes y el área hidráulica es irregular. El método de Neill y Artamonov son expresiones recomendadas por el Manual de Hidrología y Drenaje 2019, página 156, se emplean en los casos que no se cuenta con información amplia para el cálculo de socavación en pilares y estribos respectivamente. En esta investigación se emplearon los parámetros hidráulicos de área hidráulica, tirantes y velocidades obtenidos del software HEC RAS, dando mayor confiabilidad a los resultados obtenidos.

4.1.5. De la Simulación Hidráulica

El modelamiento hidráulico se realizó en el software HEC RAS v5.0.6, se simularon 5 perfiles de flujo, para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años.

Del modelamiento hidráulico se obtuvieron los parámetros hidráulicos como velocidad de flujo, área hidráulica, ancho efectivo de cauce, volumen de flujo, tirante de agua, número de Froude, entre otros. El MTC recomienda realizar el cálculo de socavación preferentemente para los periodos de retorno mayores a 100 años, pero, no mayores a 500 años.

El software HEC RAS v5.0.6 calcula la socavación general por contracción del cauce generado por la presencia del puente, la pendiente de la zona de estudio es de 0.0085m/m. El coeficiente de rugosidad de Manning se determinó por el método de Cowan, 0.034.

Del estudio topográfico, se afirma que el río Jequetepeque tiene variaciones de pendiente lo que origina distintas velocidades de flujo, esta variación genera que en algunos tramos se tengan un flujo supercrítico y por otros un flujo subcrítico. Las distintas velocidades de flujo se verificaron en el programa HEC RAS, que realiza el análisis de flujo con un régimen de flujo mixto y automáticamente elige el tipo de flujo para cada tramo.

Respecto al galibo calculado para los diferentes periodos de retorno el Manual de Hidrología y Drenaje 2019, en la página 94, menciona lo siguiente “Cuando existe evidencia que la corriente transporta material sólido, troncos, palizada u otros objetos voluminosos, el galibo mínimo asociado al nivel de aguas máximas deberá ser, 2.5 m” y “En el caso que la corriente sea relativamente limpia, se considerará un galibo de 2.0 m por encima del nivel de aguas máximas extraordinarias”.

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NIVEL INFERIOR DE TABLERO (msnm)	NIVEL DE TIRANTE (msnm)	ALTURA LIBRE (m)
10	65	63.09	1.91
50	65	63.62	1.38
100	65	63.82	1.18
300	65	64.13	0.87
500	65	64.24	0.76

De los resultados obtenidos, se aprecia que ante la ocurrencia de un fenómeno extraordinario como un Niño o Mega Niño el puente Libertad tendría un reducido margen de altura libre ante los incrementos del nivel de caudal; los pilares son cortos, desde la base del pilar hasta el nivel inferior del tablero, solo 5m, sin embargo, el puente Libertad no genera estrechamiento por contracción del cauce, y los terraplenes no ocasionan el efecto de cuello de botella.



Figura IV.1. Vista de la altura de los pilares

4.1.6. De la Socavación

Para el cálculo de socavación general y local se realizó los estudios básicos de ingeniería de topografía, geotecnia e hidrología.

a. Socavación mediante HEC RAS.

Se emplearon los métodos de Laursen, CSU, Froehlich e Hire, para determinar la socavación general y local en estribos y pilares.

Según el método de Laursen la socavación general se calculó en 1.46m, 2.01m, 2.21m, 2.58m y 2.78m. para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años respectivamente.

Según el método de CSU la socavación local en pilares se calculó en 0.93m, 0.99m, 1.04m, 1.10m y 1.12m; y según Froehlich 1.56m, 1.63, 1.66, 1.69m y 1.71m, para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años respectivamente.

Además según el método de Hire se calculó 1.43m, 3.87m y 4.88m de socavación local para 100, 300 y 500 años de retorno en el estribo izquierdo; el estribo derecho no presenta socavación debido a que se encuentra extendiendo el cauce y el nivel de flujo no le alcanza, se analizó que se podría alcanzar una socavación con un periodo de retorno de 1000 años, sin embargo, esto contradice lo indicado por el MTC de emplear caudales no mayores a 500 años de periodo de retorno.

b. Socavación mediante Excel.

Se usaron las fórmulas de Lischvan-Levediev, Neill y Artamonov para estimar la socavación general y local; y se emplearon con la finalidad de compararlos con los métodos que usa HEC RAS.

Según el método de Lischtvan-Levediev, con los parámetros hidráulicos obtenidos en el modelamiento hidráulico en HEC RAS, se calculó una socavación general de 2.18m, 2.51m, 2.56m, 2.68m y 2.76m para los diferentes periodos de retorno.

Según Neill la socavación local en pilares se calculó en 1.73m, 1.83m, 1.87m, 1.92m y 1.94m, siendo el método con los resultados más conservadores.

Según el método de Artamonov se calculó una socavación local en estribos de 2.33m, 2.60m y 2.72m para los periodos de retorno de 100, 300 y 500 años. Estos resultados difieren considerablemente del método de Hire, debido a que usa limitada información en comparación con el método de Hire.

4.1.7. De las Estructuras de Protección

Debido a que los resultados de socavación encontrados son considerables es necesaria la construcción de infraestructura de protección, se propone la construcción de enrocados tipo diques laterales y el mantenimiento de los mantos de escollera existentes.

Los diques laterales deben abarcar el mayor tramo de cauce de río y en especial la sección donde se emplaza el puente, estabilizando el ancho del cauce en 200 metros promedio, esto beneficia a los agricultores cuyos cultivos son cercanos al borde del río Jequetepeque que serían afectados por una inundación causada por el aumento del caudal en un evento climatológico extremo; también se ha observado que los mantos de escollera existentes requieren mantenimiento.

Los diques laterales propuestos poseen 4.00 metros de altura y un tirante de 2.98m, además, se diseñaron mantos de escollera para los pilares 3, 4, 5, 6 y 7 con un diámetro de roca de 0.80 a 2.80m de profundidad, para prevenir la socavación local cuanto sea posible dando por perdida la socavación general, tal como lo sugiere el Ingeniero Martín Vide.

4.1.8. Limitaciones de la investigación

a) La información Hidrométrica fue tomada únicamente de la Estación Hidrométrica Yonán, no se ha podido realizar alguna comparación con otra estación debido a que es la única que ha realizado el registro hidrométrico de la cuenca Jequetepeque.

Según el portal web de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), solo existen 4 estaciones con información hidrométrica de la cuenca y estas son: la estación Yonán, Puente Chilete, Barranca 1 y Barranca 3; sin embargo, Barranca 1 y 3 han recopilado información solo hasta 1976 y la estación Puente Chilete hasta el 2009; la única disponible es la estación Yonán que ha registrado año a año hasta el 2019; sin embargo, dicha data ha sido publicada hasta el año 2017.

Cabe indicar que, por el estado de emergencia debido al COVID – 19 y las restricciones dictadas por el gobierno central en pro a mitigar su propagación, es imposible la actualización de la data al año 2020.

b) Todas las ecuaciones presentan limitaciones practicas porque se han desarrollado para cauces de lecho arenoso y sin tener en cuenta la existencia de un acorazamiento. Las ecuaciones para la estimación de la socavación local en estribos se basan en información de laboratorio y existe poca información de campo para su verificación. Estas ecuaciones dan resultados muy conservadores debido a que consideran que el estribo está en el cauce principal formado por lechos aluviales y se asumen que el caudal de agua obstruido es proporcional a la longitud del estribo, esto raramente ocurre en la realidad. El profesional tiene la responsabilidad de determinar la mejor ecuación que se ajuste a las determinadas condiciones de cada puente.

4.1.9. Comparación de los resultados

Se precisa realizar un comparativo entre los resultados obtenidos, así como con trabajos similares.

4.1.9.1. Comparación de resultados obtenidos

Tabla IV.1

Comparación de resultados socavación General Lischtván Levediev-Laursen

COMPARACIÓN ENTRE LISCHTVAN LEVEDIEV Y LAURSEN			
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	CAUDAL m ³ /s	SOCAVACIÓN (m) LISCHTVAN LEVEDIEV	SOCAVACIÓN (m) LAURSEN
10	875.01	2.18	1.46
50	1271.42	2.51	2.01
100	1442.14	2.56	2.21
300	1712.73	2.68	2.58
500	1838.55	2.76	2.78

Como se aprecia en la *Tabla IV.1* con el método de *Lischtván Levediev* se obtienen los resultados más homogéneos que con el método de *Laursen*, sus resultados van desde 2.18m hasta 2.76m mientras que los de *Laursen* están entre 1.46m y 2.78m. Se encuentran resultados muy similares entre estos métodos para los periodos de retorno de 100 y 500: años, 2.68m y 2.58m para T 100 años, 2.76m y 2.78m para T 500 años, por *Lischtván Levediev* y *Laursen* respectivamente.

Luego de haber obtenido los promedios, máximas y mínimas profundidades de socavación local en estribos se realiza siguientes comparaciones:

Tabla IV.2

Comparación de resultados socavación local en pilares CSU- Froehlich – Neill, T 10 años

COMPARACIÓN ENTRE CSU- FROEHLICH - NEILL			
PERIODO DE RETORNO 10 AÑOS	SOCAVACIÓN CSU (m)	SOCAVACIÓN FROEHLICH (m)	SOCAVACIÓN NEILL (m)
PROMEDIO	0.82	1.41	1.52
MAXIMO	0.93	1.56	1.73
MINIMO	0.43	1.08	0.74

Tabla IV.3

Comparación de resultados socavación local en pilares CSU- Froehlich – Neill, T 50 años

COMPARACIÓN ENTRE CSU- FROEHLICH - NEILL			
PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS	SOCAVACIÓN CSU (m)	SOCAVACIÓN FROEHLICH (m)	SOCAVACIÓN NEILL (m)
PROMEDIO	0.90	1.50	1.66
MAXIMO	0.99	1.63	1.83
MINIMO	0.50	1.23	1.18

Tabla IV.4

Comparación de resultados socavación local en pilares CSU- Froehlich – Neill, T 100 años

COMPARACIÓN ENTRE CSU- FROEHLICH - NEILL			
PERIODO DE RETORNO 100 AÑOS	SOCAVACIÓN CSU (m)	SOCAVACIÓN FROEHLICH (m)	SOCAVACIÓN NEILL (m)
PROMEDIO	0.95	1.54	1.70
MAXIMO	1.04	1.66	1.87
MINIMO	0.57	1.28	1.27

Tabla IV.5

Comparación de resultados socavación local en pilares CSU- Froehlich – Neill, T 300 años

COMPARACIÓN ENTRE CSU- FROEHLICH - NEILL			
PERIODO DE RETORNO 300 AÑOS	SOCAVACIÓN CSU (m)	SOCAVACIÓN FROEHLICH (m)	SOCAVACIÓN NEILL (m)
PROMEDIO	1.02	1.58	1.76
MAXIMO	1.10	1.69	1.92
MINIMO	0.65	1.34	1.38

Tabla IV.6

Comparación de resultados socavación local en pilares CSU- Froehlich – Neill, T 500 años

COMPARACIÓN ENTRE CSU- FROEHLICH - NEILL			
PERIODO DE RETORNO 500 AÑOS	SOCAVACIÓN CSU (m)	SOCAVACIÓN FROEHLICH (m)	SOCAVACIÓN NEILL (m)
PROMEDIO	1.04	1.60	1.79
MAXIMO	1.12	1.71	1.94
MINIMO	0.68	1.37	1.43

Tomando como referencia al método de CSU como 1k se puede concluir que los resultados estuvieron en función de 1k, 1.74k y 1.86k para los métodos de CSU, *Froehlich*, *Neill* respectivamente, esto corrobora lo citado por el manual de Hidrología y drenaje del MTC 2019 p.115: “Cabe anotar que el método desarrollado por la Universidad Estatal de Colorado (CSU) da valores intermedios con relación a otras ecuaciones, tal como se ilustra en la Figura N° I.7 que presenta resultados obtenidos aplicando diferentes fórmulas y algunos obtenidos de mediciones de campo, (HEC 18, 1993)”. En la *Figura I.7*, HEC – 18, se muestra la proporcionalidad existente entre las ecuaciones para el cálculo de socavación local, en tal grafico se muestra que método de CSU bordea la escala 1k y Neill entre 1.5k y 2k, similar a los resultados obtenidos en esta tesis.

Además, el Manual de Hidrología y Drenaje del MTC 2019, pagina119, menciona: “Se considera que la ecuación de Neill proporciona la máxima profundidad de socavación que se espera para cualquier velocidad”, tal como lo demuestran los resultados obtenidos en esta investigación.

4.1.9.2. Comparación de resultados con los Antecedentes

Tabla IV.7

Comparación de resultados promediados con los antecedentes

COMPARACION DE RESULTADOS CON OTROS PROYECTOS DE INVESTIGACION T 500 AÑOS						
Proyecto	Soc. general (m)	Soc. estribo (m)	Soc. pilar (m)	D ₅₀ (cm)	Caudal miles de m ³ /seg	Periodo de retorno (años)
AVALOS Y ZEGARRA	0.100	1.340	1.700	5.044	0.440	500
COTRINA Y HERNÁNDEZ	1.880	7.930	5.890	1.561	0.664	500
CHIRINOS	2.840	7.420	5.480	1.900	0.360	500
GALVEZ Y GUILLEN	2.780	4.880	1.120	1.235	1.838	500

(Fuente: elaboración propia)

Tabla IV.8

Comparación diámetro medio - socavación general-caudal

PROYECTO	Socavación general (m)	D ₅₀ (Cm)	Caudal miles de m ³ /seg
AVALOS Y ZEGARRA	0.100	5.044	0.440
COTRINA Y HERNÁNDEZ	1.880	1.561	0.664
GALVEZ Y GUILLEN	2.780	1.235	1.838

Fuente (elaboración propia)

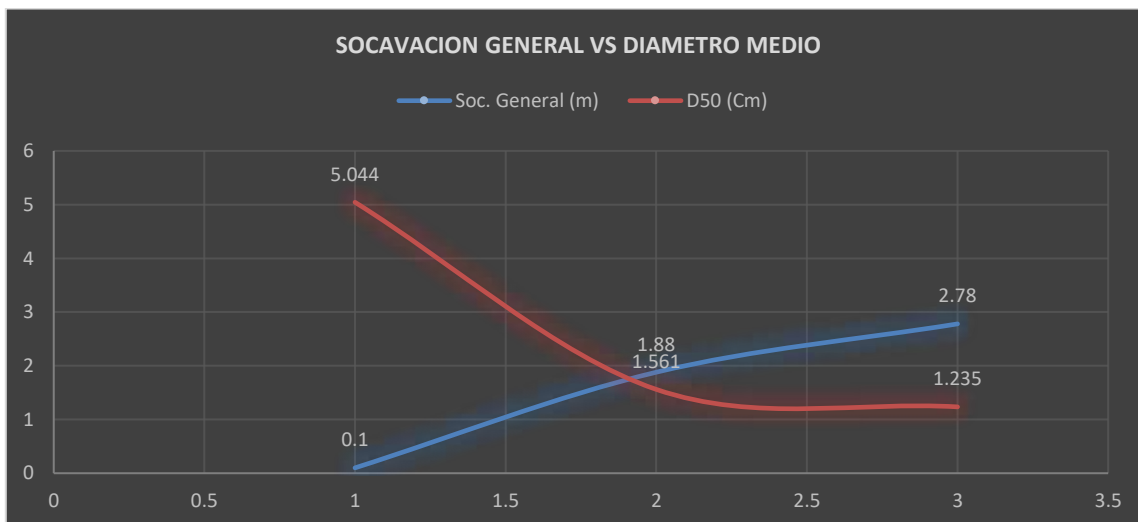


Figura IV.2. Comparación diámetro medio - socavación general – caudal – grafico de curvas

Fuente (elaboración propia)

Tabla IV.9

Comparación diámetro medio - socavación en estribos-caudal

Proyecto	Soc. estribo (m)	D ₅₀ (cm)	Caudal en miles m ³ /seg
AVALOS Y ZEGARRA	1.340	5.044	0.440
COTRINA Y HERNÁNDEZ	7.930	1.561	0.664
CHIRINOS	7.420	1.900	0.360
GALVEZ Y GUILLEN	4.880	1.235	1.838

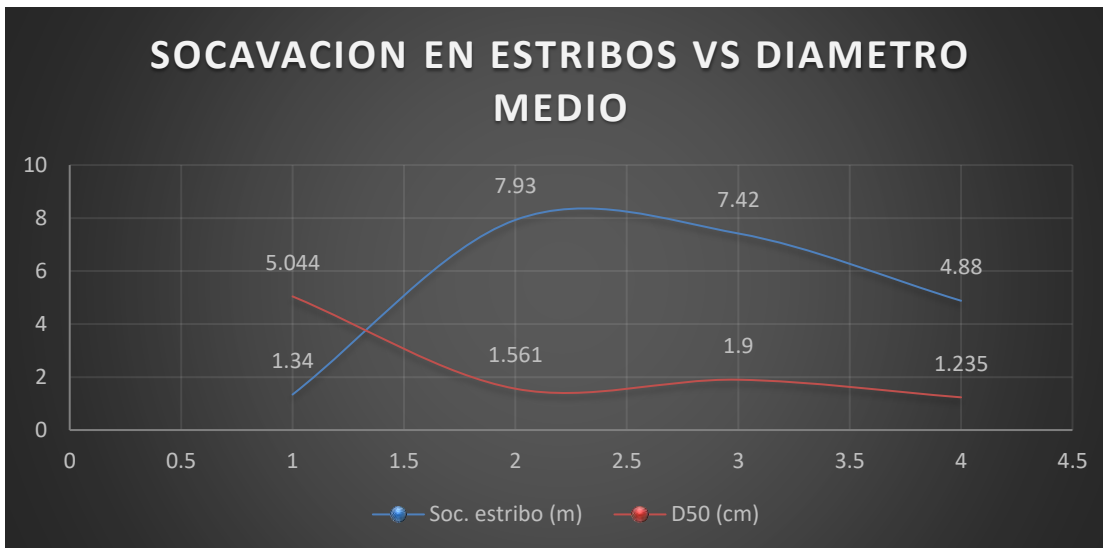


Figura IV.3. Comparación diámetro medio - socavación en estribos – gráfico de curvas.
Fuente (elaboración propia)

Tabla IV.10

Comparación diámetro medio - socavación en pilares-caudal

Proyecto	Socavación en pilares (m)	D ₅₀ (cm)	Caudal en miles de m ³ /seg
AVALOS Y ZEGARRA	1.700	5.044	0.440
COTRINA Y HERNÁNDEZ	5.890	1.561	0.664
CHIRINOS	5.480	1.900	0.360
GALVEZ Y GUILLEN	1.120	1.235	1.838

Fuente (elaboración propia)

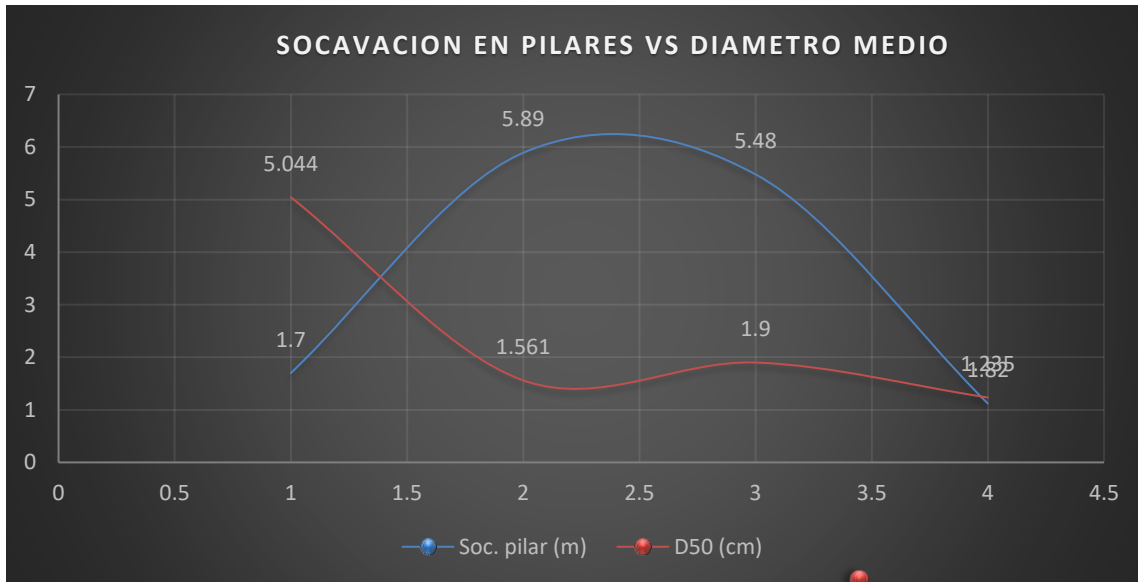


Figura IV.4. Comparación diámetro medio - socavación en pilares – gráfico de curvas.
 Fuente (elaboración propia)

Al igual que el caudal, el Diámetro medio de las partículas del suelo son fundamentales en el nivel de socavación, razón por la que se deben considerar valores conservadores para el cálculo de socavación.

4.2. CONCLUSIONES

Se concluye que:

1. Los estudios básicos de ingeniería: estudio topográfico, estudio geotécnico y estudio hidrológico, han permitido obtener información técnica para la simulación hidráulica del río Jequetepeque y puente Libertad.

- ✓ El estudio topográfico fue de gran importancia en esta investigación, ya que permitió obtener las secciones transversales del tramo evaluado del río Jequetepeque.
- ✓ El Estudio Geotécnico del lecho del río se realizó mediante el estudio granulométrico con el objetivo de conseguir los parámetros necesarios para incorporarlos en los cálculos de socavación, estos parámetros son D_m 12.319mm, D_{50} 12.351mm y D_{95} 33.303mm.
- ✓ En el estudio Hidrológico se determinaron los parámetros geomorfológicos de la cuenca Jequetepeque mediante el software ARCGIS y las cartas Nacionales 14e, 14f, 15d, 15e, 15f y 15g del Instituto Geográfico Nacional; los parámetros que se determinaron son: área 3935.42 km², perímetro de cuenca 466.55 km, longitud cauce principal 173.29km, pendiente del cauce principal 0.0242m/m, factor de forma 0.131 y pendiente del tramo evaluado 0.0085m/m.
- ✓ Como parte del estudio hidrológico se determinaron los caudales de diseño para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años; se empleó información hidrométrica de la estación Yonán de los años 1965 al 2017, el software RIVER e HIDROESTA, métodos estadísticos de Gumbel, Gumbel + Delta Q, Nash + Delta Q, Pearson y Log Normal, métodos empíricos de Fuller, Tucci Mac Math y el Método Regional de le envolvente de Creager; finalmente se emplearon los caudales de diseño del método de Fuller debido a que emplea la data histórica de los caudales máximos

históricos y parámetros geomorfológicos de la cuenca, además, con este método se incluye la ocurrencia de fenómenos extremos en el Norte del país, como lo recomienda el MTC. Los caudales obtenidos son 875.01 m³/s, 1271.42 m³/s, 1442.14 m³/s, 1712.73 m³/s y 1838.55 m³/s para los periodos de retorno descritos.

CAUDAL DE DISEÑO m ³ /s									
T.R.	Método Estadístico					Método Empírico	Caudal Instantáneo	Regional Creager	ENOS El Niño 2017
	Log Normal	Gumbel	Pearson III	Gumbel + Delta Q	Nash + Delta Q	Método de Mac Math	Método de Fuller		Método de Tucci
10	490.602	473.424	471.834	-	-	206	875.01	752.12	1860.23
50	831.78	692.045	704.924	-	-	371	1271.42	1277.95	
100	1002.186	784.468	802.357	-	-	476	1442.14	1504.38	
300	1305.479	930.336	954.022	-	-	-	1712.73	1863.26	
500	1461.489	998.043	1023.456	1247.64	1118.37	836	1838.55	2030.13	
Coef. R2	0.9878	0.9788	0.9812						

2. En esta investigación se emplearon los softwares CIVIL 3D, ARCGIS, RIVER, HIDROESTA para facilitar el procesamiento de la información de los estudios básicos de ingeniería, además, de HEC RAS para la simulación Hidráulica.

✓ CIVIL 3D se utilizó en el procesamiento de información del Levantamiento topográfico del tramo evaluado, para la generación de secciones transversales del río Jequetepeque y la exportación de estas en formato. GEO compatible con el software HEC RAS. De no utilizar este software se debía ingresar los datos de estación y elevación de cada sección trasversal del río, cada sección transversal tiene un número variable de puntos (estación, elevación), de ingresar manualmente todas las secciones con la que se cuenta se debían ingresar 43,470 puntos manualmente, lo que representa un trabajo tedioso y poco práctico.

- ✓ ARCGIS se utilizó para delimitar una cuenca de 3935.42 km² y un perímetro de 466.55 km, además, de determinar otros parámetros que serían imposibles o costosos determinarlos con otros métodos, por ejemplo, un levantamiento topográfico de la cuenca.
- ✓ RIVER se utilizó para los cálculos complejos de los métodos estadísticos y empíricos del cálculo de caudal de diseño, además, para el diseño de enrocados, ya que el proceso es automatizado y permite realizar los cálculos de manera muy sencilla.
- ✓ HIDROESTA al igual que RIVER se utilizó para calcular los caudales de diseño con diferentes métodos y permitió comparar los resultados obtenidos.
- ✓ La utilización de programas informáticos no solo ha ayudado a obtener la información técnica necesaria para este estudio si no que durante el proceso nos han permitido adiestrarnos en la utilización de estos y entender la amplitud de posibilidades que nos permiten y facilitan realizar en diversos ámbitos de la ingeniería.

3. La simulación hidráulica se realizó con el software HEC RAS utilizando los resultados de los estudios básicos de ingeniería, se ingresó: secciones geométricas del estudio topográfico, diámetros representativos del material del lecho del río, parámetros geomorfológicos de la cuenca y tramo estudiado, y caudales de diseño para un periodo de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años. Como resultado se obtuvieron parámetros hidráulicos tales como velocidades de flujo, tirante de agua, área hidráulica, número de Froude, volúmenes de agua, etc. Según el caudal de diseño empleado en esta investigación se evidenció que el nivel inferior del tablero no es el adecuado debido a que las alturas libres calculadas para los diferentes periodos de retorno van desde 1.91m, 1.38m, 1.18m, 0.87m y 0.76m, siendo entre 2m y 2.5m lo recomendado por el MTC,

como punto positivo del diseño del puente Libertad se apreció que no genera contracción del cauce, por el contrario los estribos han extendido el cauce principal 12m.

4. La socavación general del cauce del río y socavación local en pilares y estribos del puente Libertad, así como la socavación total, se obtuvieron haciendo uso de expresiones matemáticas y parámetros hidráulicos obtenidos del HEC RAS.

Elemento	Tr (años)	caudal (m ³ /s)	Socavación General (m)	Socavación Local (m)	Socavación Total (m)
Estribo Izquierdo	500	1838.55	2.78	4.88	7.66
Estribo Derecho			0.03	-	0.03
Pilar 1			2.78	1.07	3.85
Pilar 2			2.78	1.09	3.87
Pilar 3			2.78	1.12	3.9
Pilar 4			2.78	1.1	3.89
Pilar 5			2.78	1.1	3.88
Pilar 6			2.78	1.1	3.88
Pilar 7			2.78	1.09	3.87
Pilar 8			2.78	0.97	3.76
Pilar 9			0.03	0.68	0.71

4.2.1. Recomendaciones

1. Analizar cuál es el nivel de confianza de la información de las estaciones hidrométricas.
2. Realizar la simulación hidráulica de los ríos a nivel tridimensional con otros softwares.
3. A los diseñadores de puentes evitar el estrechamiento del cauce del río en la medida que sea posible.
4. Evaluar la construcción de otros tipos de estructuras de protección como espigones.
5. Realizar un plan de mantenimiento de todas las estructuras del puente Libertad, principalmente de los mantos de escollera existentes en el puente Libertad ya que están afectados por el último fenómeno de El Niño 2017, y evitar futuras interrupciones al tránsito producto de la falla del puente con las implicaciones económicas y sociales que esto conllevaría.
6. Actualizar la información Hidrométrica obtenida de la Estación Hidrométrica Yonán hasta el año 2017 a causa a la declaratoria del estado de emergencia y restricciones dictadas por el Gobierno Central en pro a mitigar la propagación del COVID - 19.
7. La construcción de enrocados tipo diques laterales protegen el cauce del río, se sugiere mantener el ancho estable del río en 200m, el puente posee mantos de escollera superficial en los dos estribos y los pilares 1, 2, 8 y 9, pero, no se observó en los otros 5 por lo que se realizó el diseño según el método HEC 18.

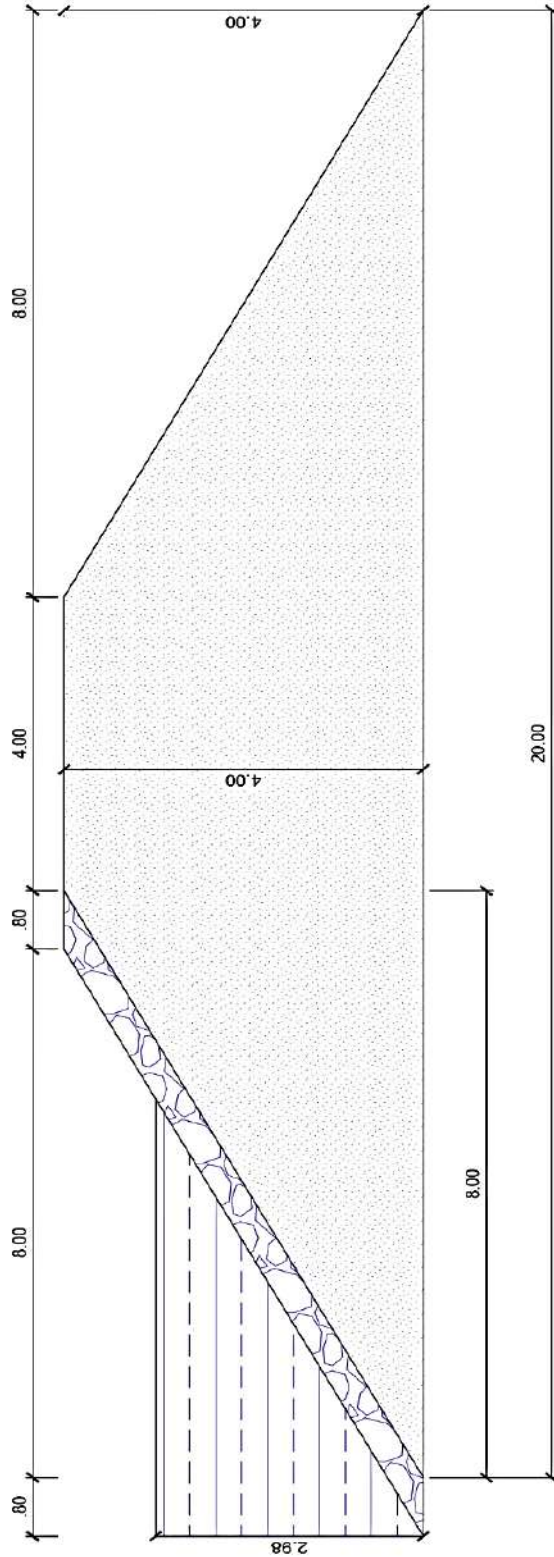


Figura IV.5 Diseño final de diques laterales con el programa RIVER en recta
(Fuente: Elaboración Propia)

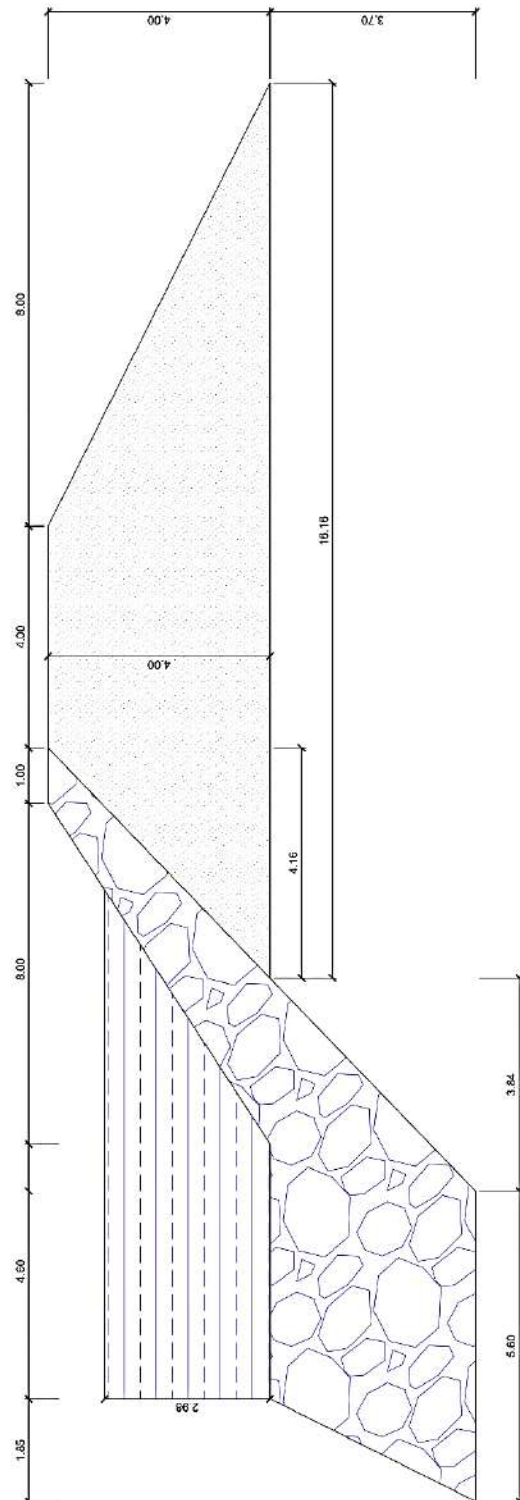


Figura IV.6 Diseño final de diques laterales con el programa RIVER en curva.
 (Fuente: Elaboración Propia)

Mantos de escollera existentes

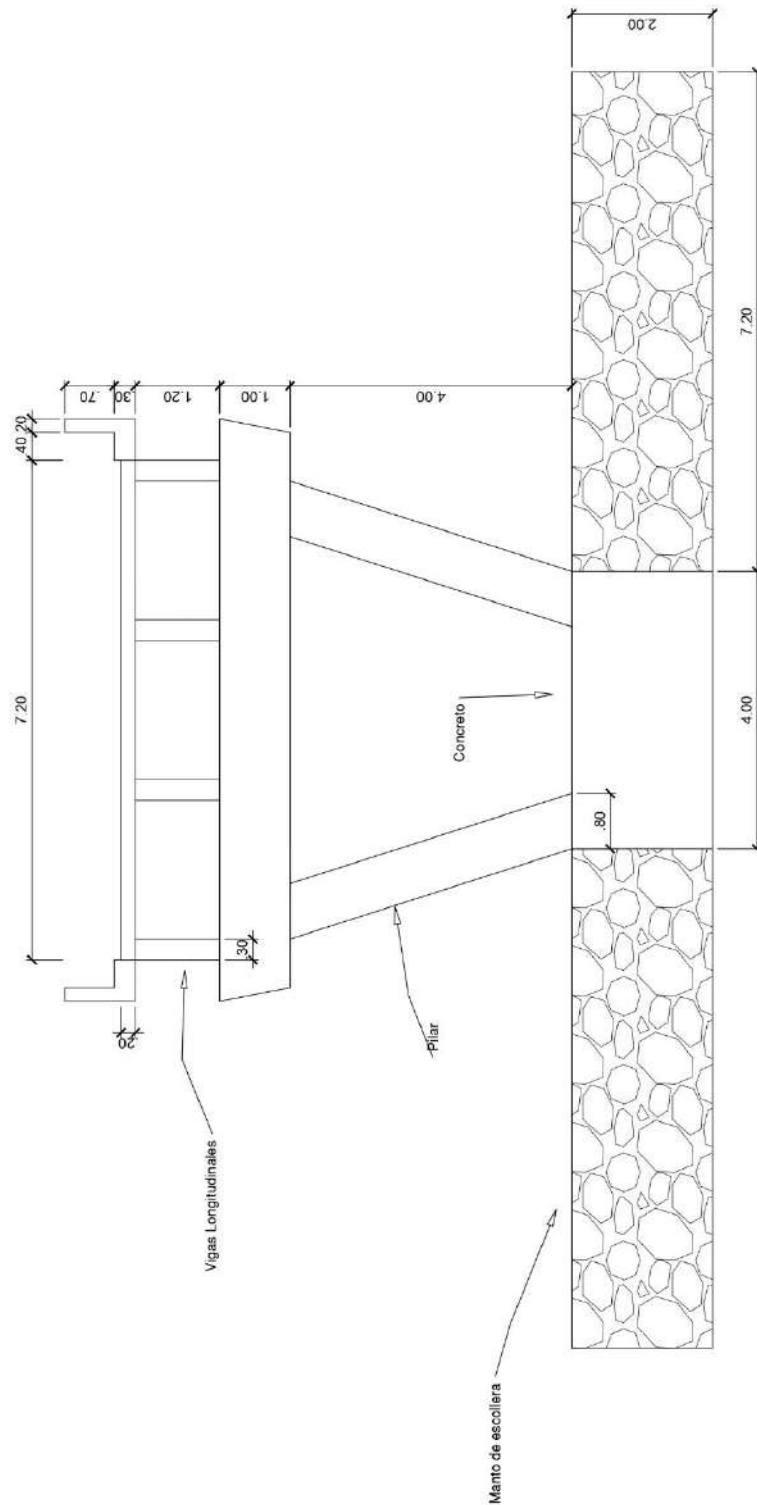


Figura IV.7. Dimensiones de manto de escollera en pilares 1, 2, 8 y 9

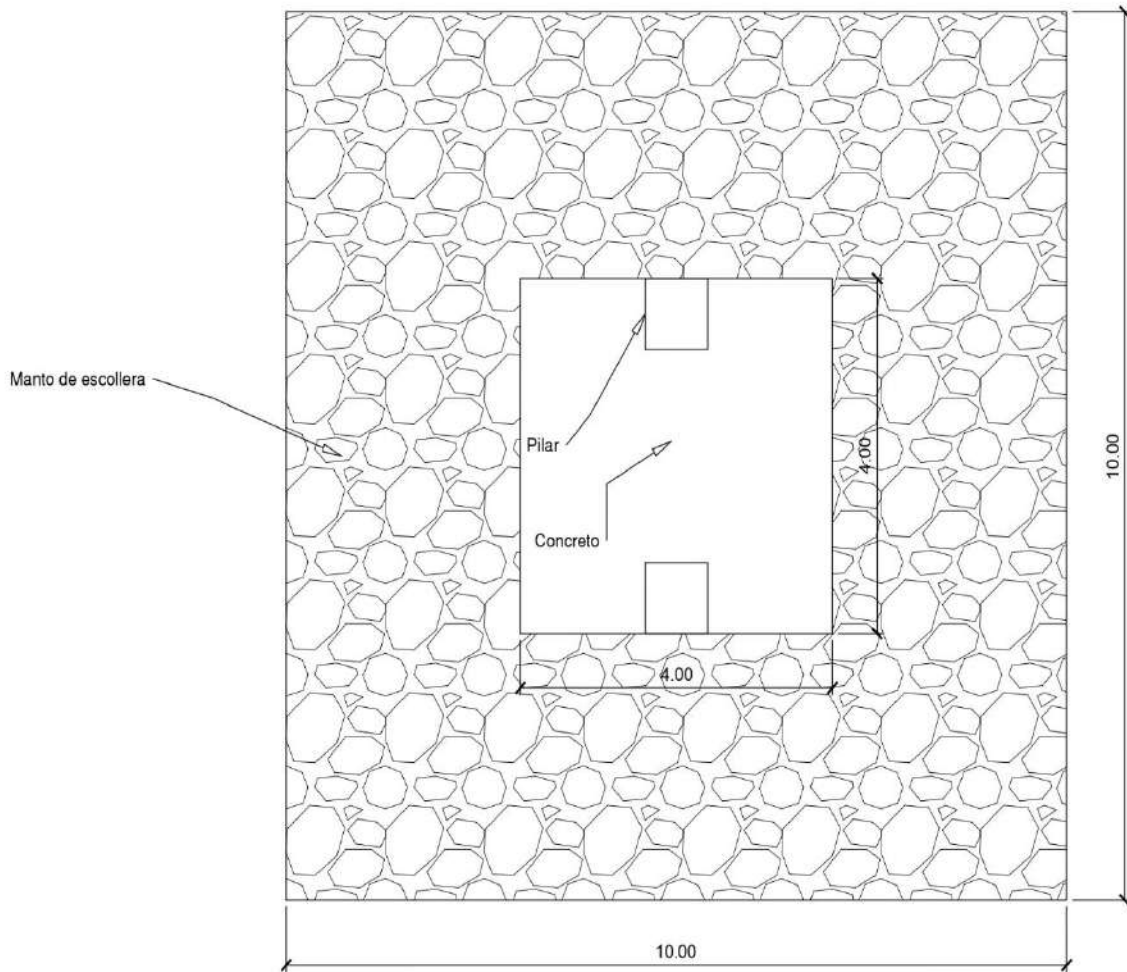


Figura IV.8. Dimensiones de manto de escollera en pilares 1, 2, 8 y 9, vista en planta

Diseño propio de mantos de escollera

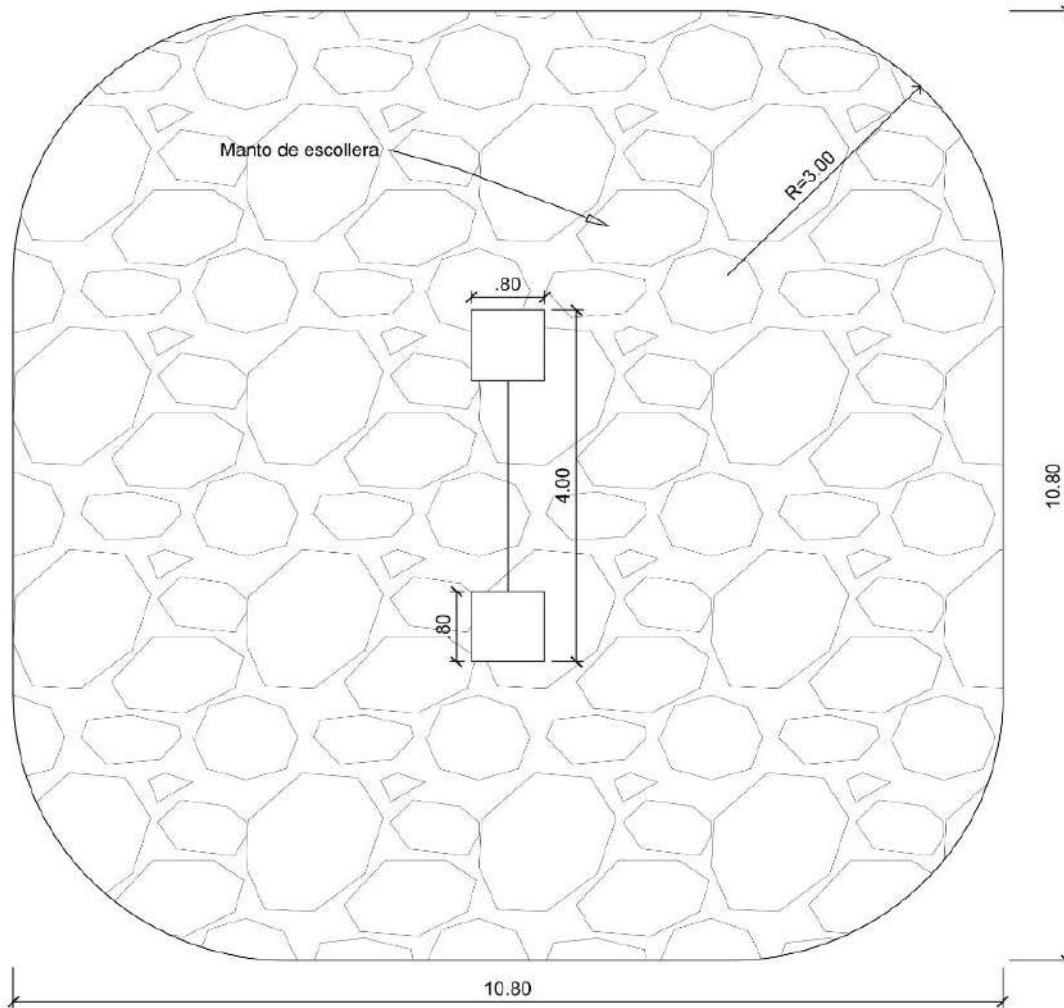


Figura IV.9 Diseño propio de manto de escollera para pilares 3, 4, 5, 6 y 7, vista en planta
(Fuente: Elaboración Propia)

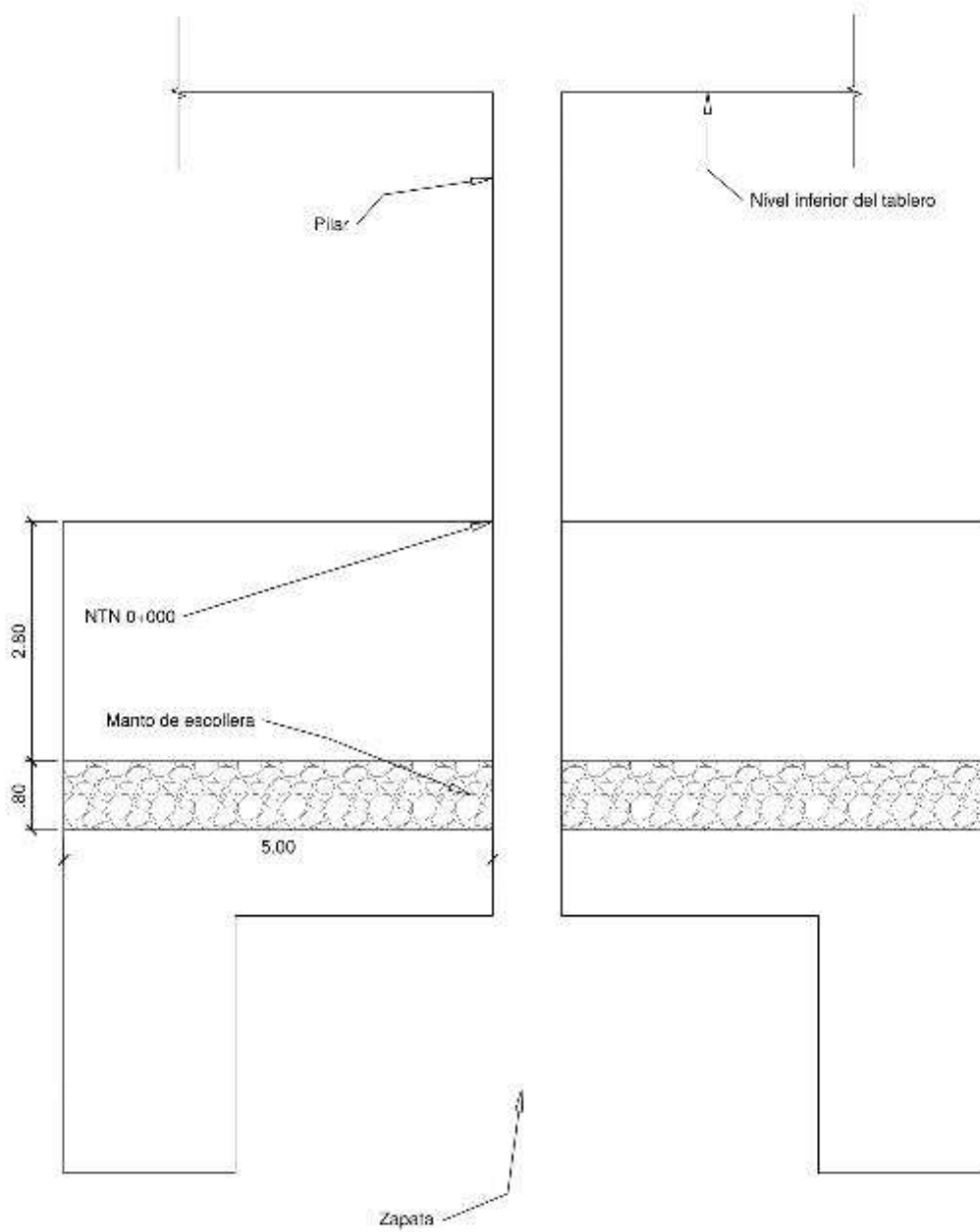


Figura IV.10 Diseño propio de manto de escollera para pilares 3, 4, 5, 6 y 7
(Fuente: Elaboración Propia)

REFERENCIAS

- ANA (2019), *Información Hídrica*, obtenido de: <https://www.ana.gob.pe/portal/snirh>
- Avalos Castro, C. M. y Zegarra Tordoya, J. C. (2018). *Evaluación de la socavación que producirá en pilares y estribos del puente moche, la derivación del caudal de la quebrada San Idelfonso*. Obtenido de: <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14115>
- Cabrera C. y Universidad Nacional de Ingeniería. (2019). *Modelación de huaycos como herramienta para la Gestión y Prevención de Desastres*.
- Centro de Predicciones Climáticas y el Instituto Internacional de Investigación de Clima y Sociedad. (2017). *El Niño, Oscilación del Sur*, San Juan, Puerto Rico.
- Chirinos Sota, F. R. (2017). *Estudio de socavación de la subestructura de puente y análisis de estabilidad – caso puente Nicolás Dueñas de la ciudad de Lima en el 2017*. Obtenido de : http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/1411/Chirinos_SFR.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Comisión Multisectorial Encargada Del Estudio Nacional Del Fenómeno “EL NIÑO” – ENFEN (2017). *Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN EL NIÑO COSTERO 2017*. obtenido de: https://www.dhn.mil.pe/Archivos/Oceanografia/ENFEN/nota_tecnica/01-2017.pdf
- Cotrina C. y Hernández G. (2017). *Estudio de la socavación del proyecto del puente el Inca ubicado en el rio Chorobal del distrito de Chao mediante simulación numérica unidimensional*. obtenido de:

http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/4171/1/RE_ING.CIVIL_JHON.COTRINA_IVAN.HERNANDEZ_ESTUDIO.SOCAVACION.PROYECTO.PUENTE.INCA_DATOS.pdf

Elbio F. M. (2016). *Socavación producida por el río Huallaga al puente colpa alta en la provincia de Huánuco, utilizando los métodos de Artamanov, Straub y maza, en el Hec-Ras.* Obtenido de:

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2627/MAS_ICIV-L_035.pdf?sequence=3&isAllowed=y Engineers USA. Engineers. USA.

EPS SEDALIB S.A. (2018). *Diagnóstico Hídrico Rápido de la Cuenca del Rio Jequetepeque como Fuente de Agua y Servicios Ecosistémicos Hídricos.*

Federal Highway Administration. Fourth Edition. Virginia. USA.

HEC- (2016) - HEC- RAS River Analysis System “*Hydraulic Reference Manual*”

HEC 6. “*Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs*”. U. S. Army Corp of

HEC-18 (2001). “*Evaluating Scour at Bridges*”. Richardson, E. V. y Davis S. R.

HEC-20 (2001) “*Stream Stability at Highway Structures*”. Lagasse, O. F., Schall J. D.,

Richardson, E. V. Hydraulic Engineering Circular N° 20. U. S. Department of

Transportation. Federal Highway Administration. Third Edition. Virginia. USA.

HEC-RAS. (1995, 1998) “*River Stability Analysis*”. U. S. Army Corp of

Helberg, K. (1998). “*Del Puente de la tragedia*”, Revista Caretas N°1508, Lima – Perú.

Henríquez Soto, A. (2013). *Modelo de socavación en la base del pilar del puente mariscal*

Cáceres. Obtenido de:

http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/434/TCIV_41.pdf?sequenc

e=1&isAllowed=y. Hydraulic Engineering Circular N° 18. U. S. Department of
Transportation.

Instituto Nacional De Defensa Civil – INDECI (2019). *Informe técnico N° 00020-2019-
INDECI/11.0 cifras de víctimas y destrucción que dejó el Niño Costero en 2017 en
el Perú*. Obtenido de: [https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/02/Inf.-
Tec.-020-2019-INDECI-DEE-distritos-Ayacucho-lluvias.pdf](https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/02/Inf.-
Tec.-020-2019-INDECI-DEE-distritos-Ayacucho-lluvias.pdf)

Martin Vide, J. P. (2003) “*Ingeniería de Rios*” obtenido de:
[https://www.academia.edu/25600236/Ingenieria de Rios Juan p Martin Vide](https://www.academia.edu/25600236/Ingenieria_de_Rios_Juan_p_Martin_Vide)

MINAGRI (2019), *balances hídricos de principales cuencas*, obtenido de:
[http://minagri.gob.pe/portal/55-sector-agrario/hidrologia/379-balances-hidricos-
de-los-principales-cuencas?start=1](http://minagri.gob.pe/portal/55-sector-agrario/hidrologia/379-balances-hidricos-
de-los-principales-cuencas?start=1)

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y TELECOMUNICACIONES - PROVIAS
NACIONAL (2009), *Estudio definitivo de ingeniería para la construcción de la
segunda calzada de la Autopista del Sol. Tramo Trujillo -Sullana*. obtenido de:
[http://gis.proviasnac.gob.pe/Expedientes/2013/EXP_PANNORTE/dvd1/EVIT-
TRUJILLO/ANEXOS/ESTUDIO%20DE%20TRAFICO/180859-101-2-INF-004-
Rev0.pdf](http://gis.proviasnac.gob.pe/Expedientes/2013/EXP_PANNORTE/dvd1/EVIT-
TRUJILLO/ANEXOS/ESTUDIO%20DE%20TRAFICO/180859-101-2-INF-004-
Rev0.pdf)

Ministerio De Transportes Y Comunicaciones (2019). *Manual De Hidrología,
Hidráulica Y Drenaje*. Obtenido de:
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (2006), *Guia Para Inspeccion De
Puentes*, obtenido de:
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/otr

as/GUIA%20PARA%20INSPECCION%20DE%20PUENTES.pdf

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (2019), *Guía Para Inspección De Puentes*, obtenido de: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/344407-014-2019-mtc-18>

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2016). *Manual de Puentes del Ministerio de Transporte y Comunicaciones*, Perú.

Muñoz Diaz. E. (2017). *Estudio de las causas del colapso de algunos puentes en Colombia*. Obtenido de: https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/estudio_causas_colapso_algunos_puentes.pdf

PEJEZA (2019), *Proceso De Sedimentación Del Gallito Ciego*, obtenido de: http://www.pejeza.gob.pe/pdf/SEDIMENTACION_EMBALSE_GC.pdf

Pérez Morales, G. B., Rodríguez, J. A. y Molina Aguilar J. P. (2009). *Ingeniería de Ríos*, Universidad Michoacana, Méjico.

Ramos Taipe C. L. (2010). *Estudio de Máximas Avenidas en las Cuencas de la Vertiente del Pacífico - Cuencas de la Costa Norte*, Perú.

Richardson E. y Lagasse P., *Stream Stability and Scour at Highway Bridges*. Compendium of Papers ASCE Water Resources Engineering Conferences 1991 to 1998. Virginia: ASCE, 1999.

Rocha A. (2008). *Erosión en pilares y estribos de puentes*.

Rocha Felices, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica fluvial*. Lima Perú: Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Rocha Felices, A. (2010). *Introducción a la hidráulica de obras viales* (3^ora edición).

Lima, Perú: Fondo editorial del Instituto de la Construcción y Gerencia, capítulo 10
pág. 237 a pág. 264.

Rodríguez Diaz, H.A. (2010). *Hidráulica Fluvial. Fundamentos y aplicaciones*. Colombia
editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

SANHAMI (2009). *Escenarios Climáticos en el Perú al 2050: Cuenca Río Piura*,
obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=cambio-climatico>.

SANHAMI (2009). *Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030*. Obtenido de:
obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=cambio-climatico>.

SANHAMI (2015). *Precipitación Anual según departamentos del 2001 al 2015*.

SENAMHI (2019), *estaciones hidrológicas y meteorológicas*, obtenido de:
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>

SENAMHI (2019), *Modelamiento hidrológico para pronostico estacional de caudales
del rio Jequetepeque*, obtenido de: <https://www.senamhi.gob.pe/>

Smith D. W. (1976). *Bridge failures*. Volumen 60 Issue 3, AGOSTO 1976, pp. 367-382

PARTE 1. Obtenido de:
<https://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/iicep.1976.3389>

Vásquez A. (2016). *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas*.

GLOSARIO

- **ACUIFERO.** Una o más capas subterráneas de roca o de otros estratos geológicos que tienen la suficiente porosidad y permeabilidad para permitir ya sea un flujo significativo de aguas subterráneas o la extracción de cantidades significativas de aguas subterráneas.
- **ALTURA LIBRE.** Es la distancia vertical entre la cota de aguas máximas o de diseño y el fondo de vigas o cota inferior de la estructura del puente.
- **ARIDEZ.** Condición climática permanente con muy baja precipitación anual o estacional.
- **CALICATA.** Son excavaciones de poca profundidad ejecutadas por medios mecánicos convencionales. Permiten la inspección directa del subsuelo y la toma de muestras para su ensayo en laboratorio, así mismo posibilitan la realización de ensayos in situ del terreno
- **CAUDAL.** Cantidad de agua que pasa por un punto específico en un sistema hidráulico en un momento o período dado.
- **CLIMA.** Estado normal o medio de la atmósfera para un periodo temporal dado dentro del año y en una posición geográfica dada.
- **COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD.** El coeficiente de uniformidad, definido originalmente por Terzaghi y Peck, se utiliza para evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas de un suelo.
- **COTA DE AGUAS MÁXIMAS.** Es la cota de aguas máximas esperada para el caudal de diseño.

- **CUENCA HIDROGRÁFICA.** La superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y, eventualmente, lagos hacia el mar por una única desembocadura.
- **CURVAS DE NIVEL.** Son líneas que marcadas sobre el terreno desarrollan una trayectoria horizontal. Es decir, que una curva de nivel representa la intersección de una superficie de nivel con el terreno.
- **DATO (DATA).** Una representación de hechos, conceptos, o instrucciones de una manera formalizada susceptible de comunicación, interpretación, o procesamiento ya sea por humanos o por medios automatizados.
- **DIÁMETRO MEDIO.** Obteniendo el D_{50} de toda la distribución granulométrica, comúnmente considerado como el diámetro representativo de toda la distribución.
- **DIVISORIA.** Es una línea imaginaria que representa el límite entre las cuencas hidrográficas vecinas de dos cursos de agua.
- **EQUIDISTANCIA.** es la diferencia de altura entre curvas recibe la denominación de equidistancia
- **ESTACION CLIMATOLOGICA O METEOROLÓGICA.** Instalación equipada con instrumental mecánico o digital que requieren la intervención de un operario para obtener datos meteorológicos de precipitación, temperatura, humedad del aire, dirección y velocidad del viento, radiación, evaporación, entre otros, para describir y explicar el clima de una región.
- **ESTACIÓN HIDROMÉTRICA.** Puesto de observación situados sobre cuerpos de agua (ríos, quebradas, embalses, etc.) en donde se miden variables tales como los niveles y caudales. Adicionalmente en algunas estaciones se miden los sedimentos

en corrientes y puntos estratégicos.

- **ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA.** Estaciones de registro y medición de la cantidad de precipitación en un lugar determinado.
- **FENÓMENO DE LA NIÑA.** Lo contrario al fenómeno El Niño, es el enfriamiento cíclico de la temperatura del agua del Pacífico Oriental, que repercute en el clima mundial.
- **FENÓMENO EL NIÑO.** Es el calentamiento anómalo de la temperatura del agua del Pacífico Oriental, que repercute en el clima mundial.
- **FISIOGRAFÍA.** Relieve o geomorfología del lugar de estudio.
- **GRANIZADA.** Precipitación de partículas de hielo (granizos), transparentes o parcial o totalmente opacas, en general de forma esferoidal, cónica o irregular, cuyo diámetro varía generalmente entre 5 y 50 mm que caen de una nube separadas o aglomeradas en bloques irregulares.
- **GRANULOMETRÍA.** Es la parte de la Mecánica de Suelos que estudia lo referente a las formas y distribución de tamaños de las gravas o partículas que constituyen un suelo
- **HEC- RAS.** Es un Sistema de modelamiento desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers), que permite simular la respuesta que tendrá el flujo de agua a través de los ríos naturales y de otros canales.
- **HEC-HMS.** Sistema de modelamiento desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del

Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers), que permite simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de la precipitación, mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos.

- **HIDROGRAMA.** Gráfico que permite ver el comportamiento del caudal acumulado durante la tormenta a través del tiempo de la misma.
- **HIDROGRAMA SINTÉTICO.** Se obtienen usando las características fisiográficas y parámetros de la cuenca de interés. Su finalidad es representar o simular un hidrograma representativo del fenómeno hidrológico de la cuenca, para determinar el caudal pico para diseñar.
- **HIDROGRAMA UNITARIO.** Es un método lineal propuesto por Sherman en 1932, es un hidrograma típico para la cuenca. Se denomina unitario puesto que, el volumen de escorrentía bajo el hidrograma se ajusta generalmente a 1 cm (o 1 pulg).
- **HIETOGRAMA.** Gráfico que permite conocer la precipitación de un lugar a través del tiempo de la tormenta.
- **INDICADOR.** Variables que muestran, resumen o identifican datos o que hacen visible o perceptibles fenómenos de interés y permiten cuantificar, cualificar, medir y comunicar de forma agregada una información relevante.
- **INTENSIDAD.** Es la tasa temporal de precipitación, es la profundidad por unidad de tiempo (mm/h).
- **LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.** permite obtener información real del terreno y realizar distintos perfiles longitudinales y secciones transversales que nos permitirán realizar los diseños respectivos para las distintas obras que son requeridas

para el desarrollo del estudio.

- **LLUVIA.** Precipitación de partículas de agua líquida en forma de gotas de diámetro superior a 0.5 mm, o de gotas más pequeñas y muy dispersas.
- **LUZ DE CÁLCULO.** Es la longitud que se utiliza para el cálculo de la estructura y/o elementos estructurales y se mide, generalmente entre centros de apoyo del elemento estructural materia de cálculo.
- **LUZ DEL TRAMO.** Es la distancia comprendida entre ejes de estribos, en el caso de puentes de un tramo, o entre ejes de estribo y pilar y/o entre ejes de pilares, en el caso de puentes de más de un tramo. En el caso de puentes de un solo tramo, la luz y la longitud del puente son iguales.
- **METODO RACIONAL.** Método que estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente c (coef. escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca.
- **MODELO DE DISTRIBUCION.** Arquetipo digno de ser utilizado o imitado y que se toma como pauta a seguir.
- **NEVADA.** Precipitación de cristales de hielo aislado o aglomerado que cae de una nube.
- **NUMERO DE CURVA.** Son números que han sido determinados y tabulados por el Soil Conservation Service, con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra.
- **PARÁMETRO.** Es un elemento descriptivo de una variable o una característica numérica de la misma (media, mediana, varianza, rango, etc.).
- **PENDIENTE.** Es la su inclinación respecto a la horizontal; puede ser ascendente o descendente, según el punto de observación.

- **PERFIL ESTRATIGRÁFICO.** Es el que se realiza a partir de datos de perforaciones o bien de cortes naturales o artificiales del terreno que muestran el material que conforman la columna estratigráfica.
- **PERFIL LONGITUDINAL.** Se llama perfil longitudinal a la intersección del terreno con un plano vertical que contiene al eje longitudinal y nos sirve para representar la forma altimétrica del terreno
- **PERIODO DE RETORNO.** Es el tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico o precipitación, es igualado o superado una vez cada “t” años.
- **PESO VOLUMÉTRICO.** Es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kilogramos por metro cubico. (ASTM D - 2937)
- **PIEZÓMETRO.** Es un tubo sellado longitudinalmente, abierto por su parte inferior de modo que pueda intercambiar agua con el acuífero, y abierto a la atmósfera por su parte superior. Es un instrumento necesario para las mediciones de campo.
- **PRECIPITACION.** Caída de un conjunto de partículas, con formas de lluvia, llovizna, nieve, nieve granulada, granizo y gránulos de hielo.
- **RECURSOS HIDRICOS NATURALES.** Son los recursos de agua totales que fluyen en los ríos y acuíferos en un intervalo de tiempo (generalmente un año) como representación del promedio o valor correspondiente a una probabilidad dada.
- **RIESGO POTENCIAL.** Es la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente perjudicial, fenómeno o actividad que pueda causar la pérdida de vidas, daños a la propiedad, ruptura social y económica o degradación medioambiental.

- **RIESGO.** Probabilidad o proximidad de una ocurrencia de un evento que provoque un daño o peligro.
- **SECCIÓN TRANSVERSAL.** es un corte vertical al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.
- **SEQUÍA.** La sequía es un rasgo recurrente del clima que se caracteriza por la escasez temporal de agua.
- **SITUACIÓN DE RIESGO.** Es la acción de poner en situación de riesgo a bienes o personas que son vulnerables a ese riesgo. Puede cuantificarse como las pérdidas esperadas debido a un tipo de riesgo potencial en un ámbito territorial dado y en un período de referencia (riesgo potencial * vulnerabilidad = situación de riesgo).
- **SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS).** Agencia federal de estados Unidos que trabaja en asociación con el pueblo americano para conservar y mantener los suelos y recursos naturales.
- **SUBCUENCA.** La superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y, eventualmente, lagos hacia un determinado punto de un curso de agua (generalmente un lago, embalse o una confluencia de ríos).
- **TIEMPO ATMOSFÉRICO.** Es el estado de la atmósfera para un período breve de tiempo en un lugar geográfico particular.
- **TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.** Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca.

Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida.

- **VARIABLE.** Es una propiedad o elemento que puede tomar valores.

ANEXOS

ANEXO 1. Simulación Hidráulica Aplicada Mediante HEC RAS

Las simulaciones hidráulicas nos presentan una manera de análisis de la interrelación entre la topografía del cauce de un río, los volúmenes de agua y sedimentos transportados, así como la manera que influyen en el nivel de agua las obstrucciones u obras hidráulicas que se presenten en su cauce. Siendo una herramienta muy útil para entender estos temas y darles soluciones a problemas planteados en el manejo de cauces naturales.

índice

- 1 Trabajando con HEC-RAS: una apreciación global
- 2 Desarrollo de un modelo hidráulico con HEC-RAS
- 3 Crear un proyecto nuevo o abrir uno existente
- 4 Ingreso de los datos geométricos
- 5 Ingreso de los datos hidráulicos: caudal y condiciones de contorno
- 6 Crear un plan y ejecutar una simulación
- 7 Ver e imprimir los resultados
- 8 Opciones avanzadas

1.1. Trabajando con HEC-RAS: una apreciación global

1.1.1. La apreciación global

HEC-RAS es un paquete integrado de análisis hidráulico, donde el usuario actúa recíprocamente con el sistema a través del uso de una Interface Gráfica del Usuario (GUI).

El sistema es capaz de realizar cálculos de los flujos de la superficie del agua, cálculos de flujo uniforme, e incluirá flujo variado, transporte del sedimento, etc.

En la terminología de HEC-RAS, un Proyecto es un juego de archivos de datos asociados con un sistema de un río en particular. El modelador puede realizar cualquiera o varios

tipos de análisis, incluido en el paquete de HEC-RAS, como parte del proyecto. Los archivos de datos para un proyecto se categorizan como sigue:

- Datos de planta
- Datos geométricos
- Datos de flujo uniforme
- Datos de flujo variado
- Datos de sedimentos
- Datos de diseño hidráulico

Durante el estudio el proyectista puede desear formular varios planes diferentes.

Cada plan representa una simulación específica de datos geométricos y datos de flujo. Una vez introducidos los datos básicos en el HEC-RAS, el proyectista puede formular los nuevos planes fácilmente. Después de que las simulaciones son hechas para varios proyectos, los resultados pueden compararse simultáneamente en la forma tabular y gráfica.

Los siguientes ítems nos proporcionan una apreciación global de cómo un estudio se realiza con el software de HEC-RAS.

1.1.2. Empezando con HEC-RAS

Para empezar HEC-RAS de Windows:

- Ingresar al programa de HEC-RAS.
- Veremos la ventana principal del programa que se presenta a continuación en la figura 1:

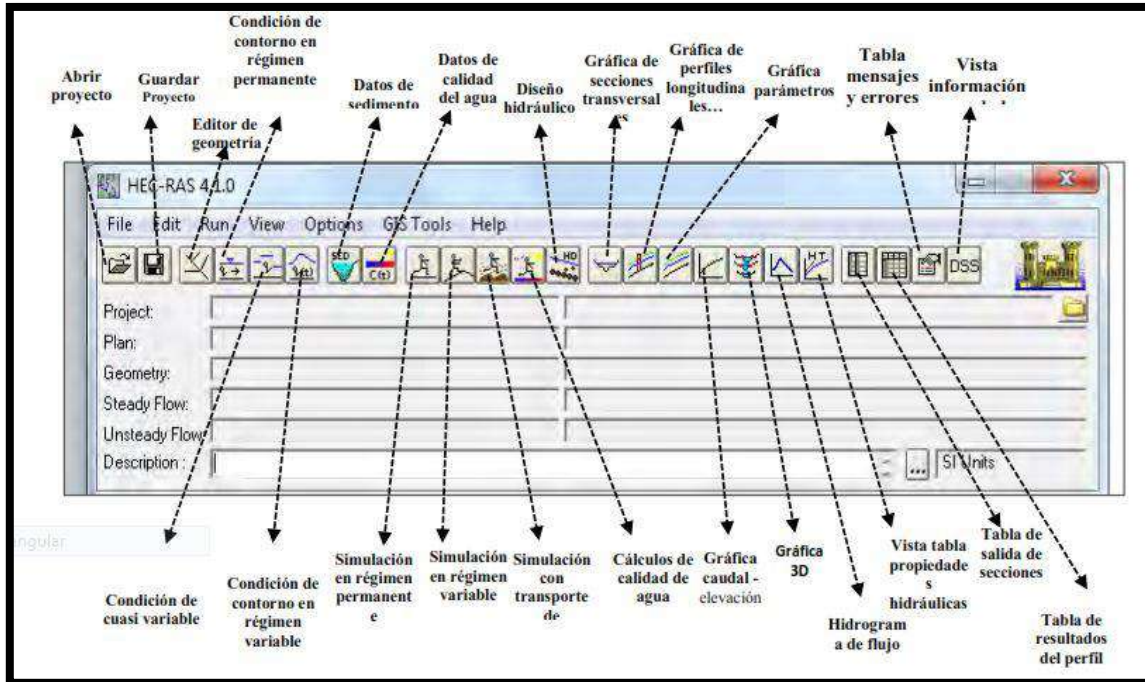


Figura. 1 Ventana principal del programa HEC-RAS

- Esta ventana principal tiene las opciones siguientes en la barra del menú:

1.1.3. File (archivo)

Contiene las opciones para crear y manejar los proyectos, además los cuatro proyectos abiertos más recientes, se ubicarán al final del menú *File*, permitiendo al usuario abrir rápidamente un proyecto que fue recientemente ejecutado.

Esta opción se usa para el manejo de archivos. Las opciones disponibles bajo el menú del Archivo incluyen: Nuevo Proyecto, Abrir Proyecto, Guardar el Proyecto, Guardar el Proyecto Como, Renombre el Proyecto, Borre el Proyecto, Resumen del proyecto, Importar los Datos de HEC-2, Importar los datos de HEC-RAS, Genere el Informe, Exportar datos GIS, Exporte a HEC-DSS, Restaurar Datos de *Backup* y Salida.

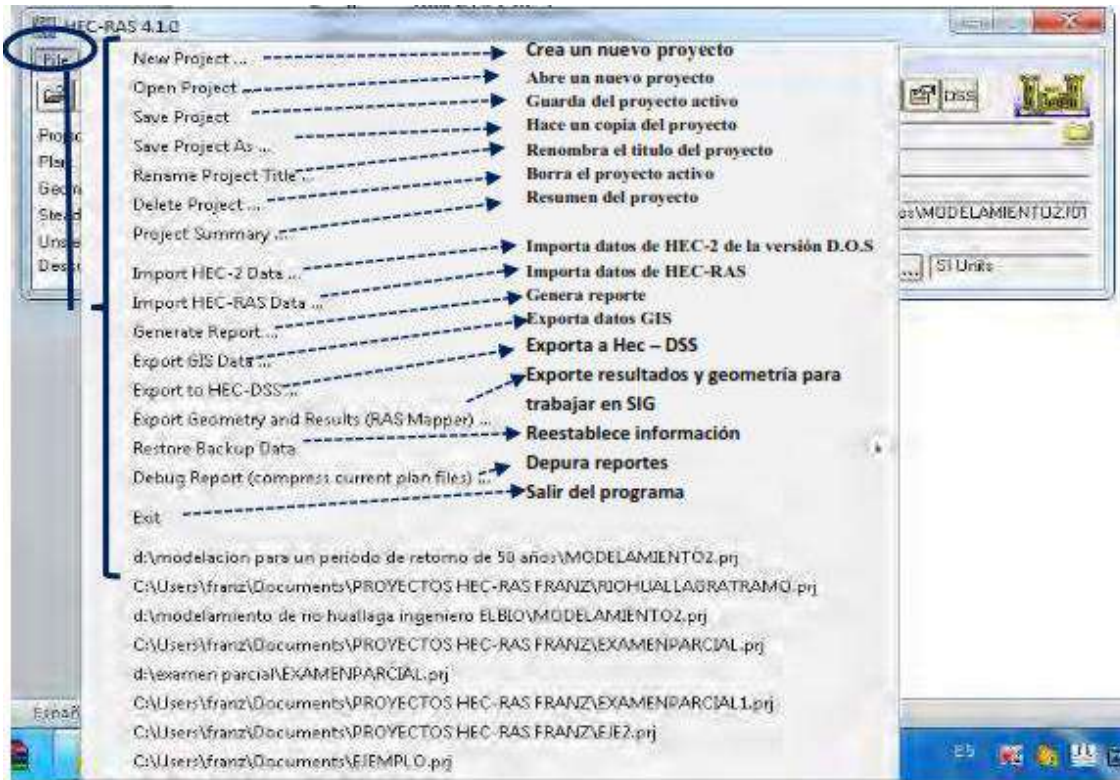


Figura. 2 Ventana del *File* (archivo)

1.1.4. Edit (Editar)

El menú *Edit* contiene las opciones para introducir y editar la información entre las cuales tenemos: datos de geometría, datos de flujo permanente, dato de flujo no permanente, datos de sedimento, datos de calidad de agua.

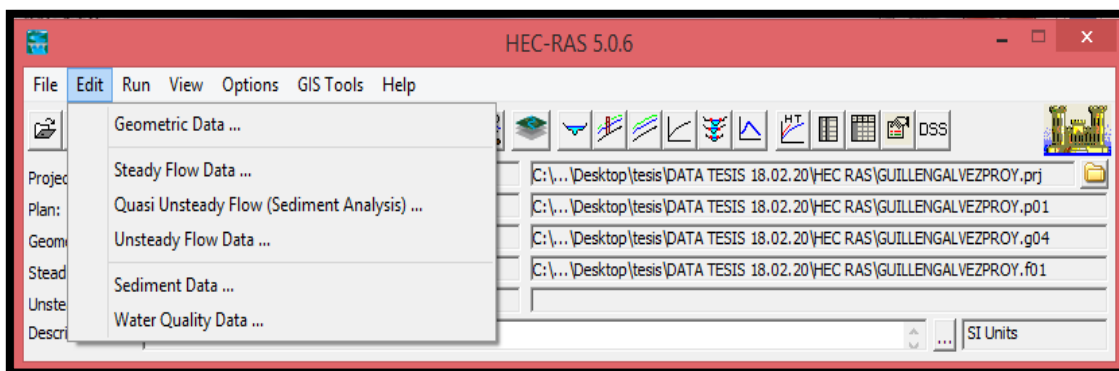


Figura. 3 *Edit* (editar)

1.1.5. Run (Correr)

Esta opción se usa para realizar los cálculos hidráulicos. Las opciones bajo este artículo del menú incluyen: El Análisis de Flujo Uniforme, El Análisis de Flujo Variado, El Análisis del Sedimento, y Las Funciones de diseño Hidráulico.

Correr Múltiples Planes.

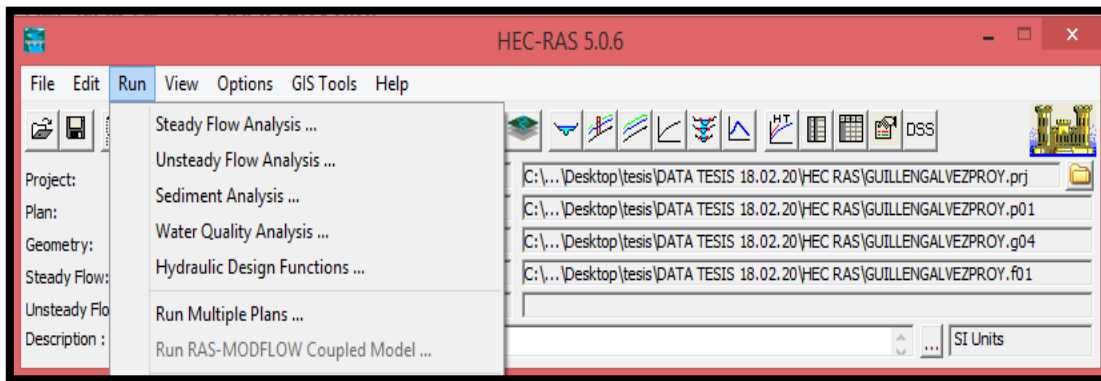


Figura. 4 *Run* (Correr)

1.1.6. View (La vista)

Esta opción contiene un juego de herramientas que proveen ventanas gráficas y tabulares de los resultados del modelamiento. Los *ítems* del menú de *View* incluyen:

Las Secciones Transversales, Los Perfiles de Superficie de Agua, Ploteo de Perfiles en General, Curvas Típicas; Vista en Perspectiva X-Y-Z, Ver Hidrograma de Caudal y Tirante (solo cuando se ejecutan simulaciones con flujo no permanente), Ploteo de Propiedades Hidráulicas, Tabla Detallada de Resultados, Tablas de las Secciones Transversales, Tablas del Perfil, Resumen de errores, Advertencias & Notas y Datos DSS.

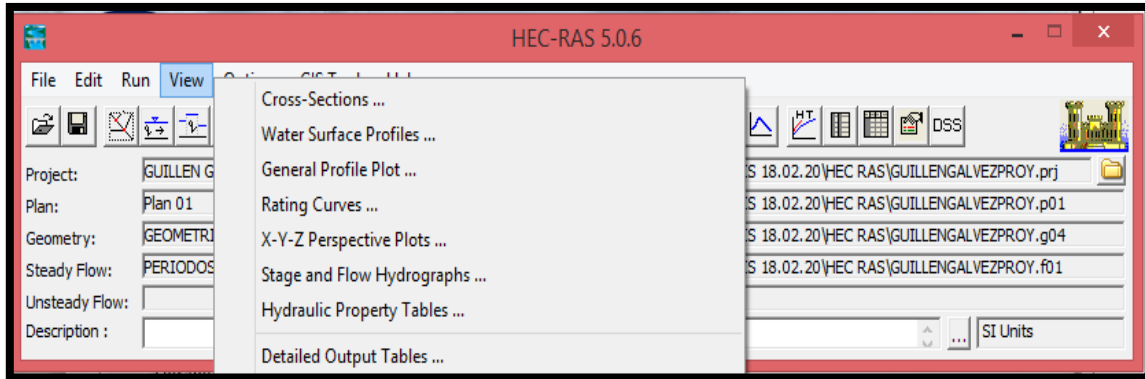


Figura. 5 View (Vista)

1.1.7. Options (opciones)

Permite al usuario cambiar las opciones de ajuste del HEC-RAS en el *Program Setup*. Establecer el Sistema de las Unidades Predefinido (inglés o métrico); y Conversión de Unidades del Proyecto (inglés a Métrico, o Métrico a inglés).

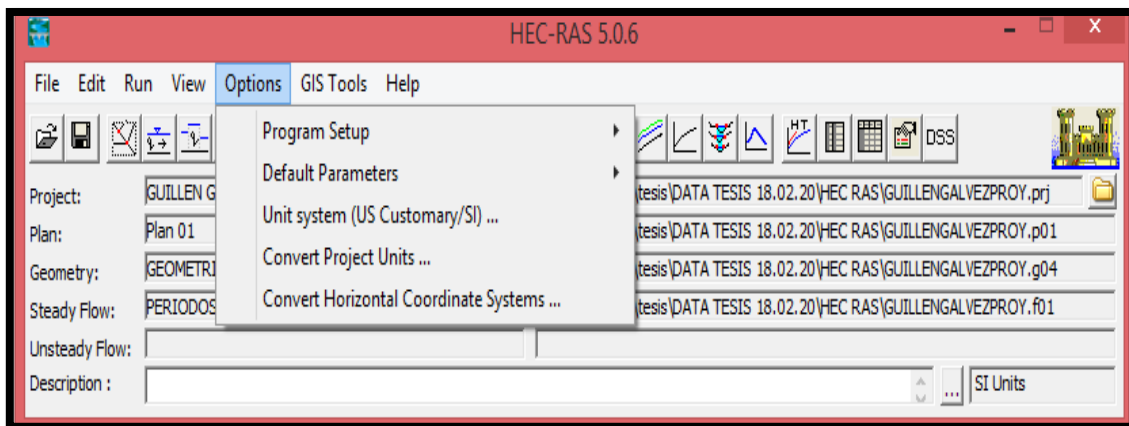


Figura. 6 Ventana de Options (opciones)

1.1.8. Help (ayuda)

Esta opción le permite al usuario conseguir las ayudas en línea, así como el despliegue de la información de la versión actual sobre HEC-RAS.

1.2. Desarrollo de un modelo hidráulico con HEC-RAS

Hay cinco pasos principales para la creación de un modelo hidráulico con HEC-RAS:

1.2.1. Crear un Proyecto Nuevo o Abrir uno existente

1.2.2. Introducir los Datos Geométricos

1.2.3. Introducir los Datos Hidráulicos: Caudal y Condiciones de contorno

1.2.4. Crear un plan y ejecutar la simulación

1.2.5. Ver e imprimir los resultados

Al culminar estos pasos, con los resultados o datos de salida se podrá conocer, por ejemplo, el tirante del agua, la velocidad media del flujo, etc. Estos parámetros se utilizan, en el diseño obras en el cauce principal de canales, drenes, o ríos, tales como alcantarillas, puentes, bocatomas; para el diseño diques, enrocados, para determinar la planicie de inundación y planificar el desarrollo urbano de una ciudad, etc.

1.3. Crear un Proyecto Nuevo o Abrir uno Existente

1.3.1. Crear un Proyecto Nuevo

- El primer paso al desarrollar un modelo hidráulico con HEC-RAS es establecer qué directorio usted desea para trabajar e ingresar un título para el nuevo proyecto.
- Para empezar un nuevo proyecto, vaya al menú del Archivo en la ventana principal de HEC-RAS y seleccione el Nuevo Proyecto.
- El nombre del archivo del proyecto debe tener la extensión. PRJ, al usuario no se le permite cambiar esto.
- Una vez que usted ha entrado en toda la información, presione el botón "OK" para

tener la información aceptada, visualizándose la siguiente pantalla

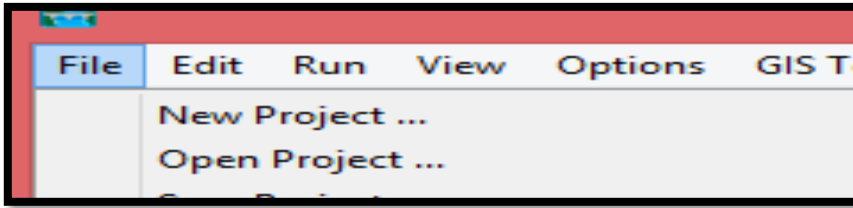


Figura 7. Ventana para crear un nuevo proyecto

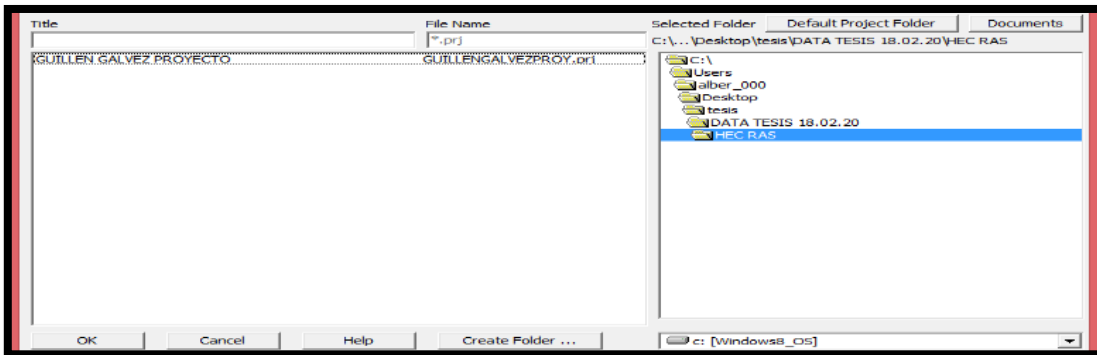


Figura. 8 Ventana acerca de la información aceptada

- Luego de colocar el título del proyecto hacemos clic en el botón OK
- Una vez realizado esto, la ventana del mensaje aparecerá con el título del proyecto y el directorio donde se localizará el proyecto.

1.3.2. Cambiar el Sistema de Unidades

Antes de cualquier ingreso de datos Geométricos y de Flujo, el usuario debe seleccionar el Sistema de las Unidades (inglés o Métrico) en el cual desea trabajar.

Esto se hace seleccionando el Sistema de la Unidad del menú de las opciones en la ventana principal de HEC-RAS.

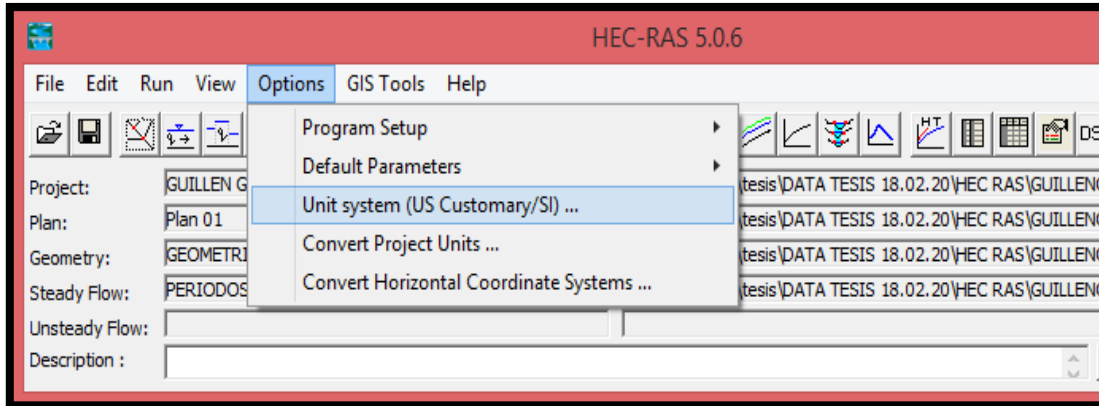


Figura. 9 Ventana para cambiar de sistema de unidades

- Aparecerá la ventana de la Figura. 10:

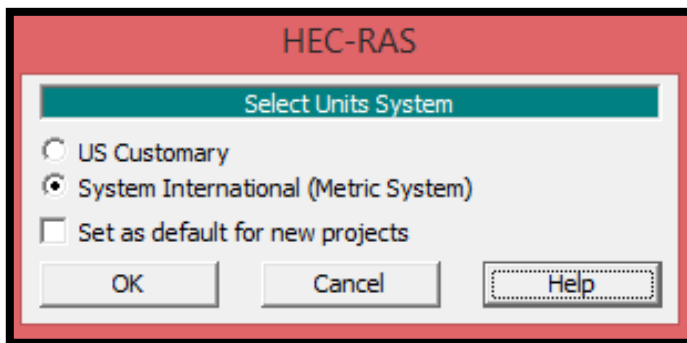


Figura. 10 Ventana acerca del proceso de selección de sistema

- Seleccionar la Opción *System Internacional (Metric System)* que es Sistema Internacional (Sistema Métrico)
- Si seleccionamos también “*Set as default for new projects*”, todos los proyectos nuevos que se creen serán con las Unidades del Sistema Internacional
- “Ok” para aceptar
- Un mensaje de advertencia nos indicará que esa opción sólo configura el sistema de unidades, pero NO CONVIERTE las unidades de un proyecto abierto.

1.3.3. Abrir un proyecto existente

- Seleccionar el archivo de abrir el proyecto o el *File/Open Project*

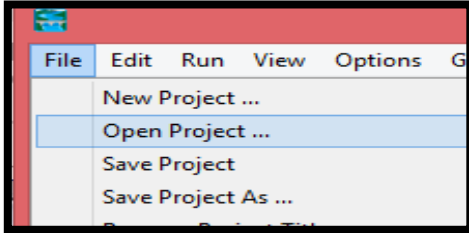


Figura. 11 Ventana de archive de abrir el proyecto o *File open Project*

- Luego aparece la siguiente ventana donde podemos navegar por el ordenador hasta encontrar el fichero del proyecto que deseamos abrir.

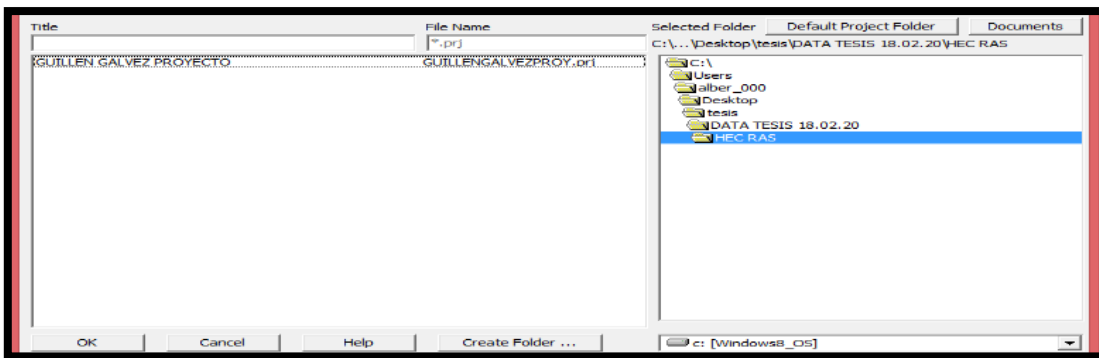


Figura. 12 Ventana con títulos de proyectos

1.4. Ingreso de los Datos Geométricos (*Geometric data*)

El próximo paso es ingresar los datos geométricos necesarios que consisten en:

- La información para el esquema general del cauce (la red del cauce),
- Datos de las secciones transversales
- Datos de las estructuras hidráulicas (los puentes, alcantarillas, los azudes etc.).

Los datos geométricos se ingresan seleccionando "GeometricData" (datos geométricos) del menú Edit (editar) en la ventana principal de HEC-RAS.

1.4.1. Crear el tramo

- El proyectista desarrolla los datos geométricos primero dibujando el esquema general del sistema (*River system schematic*), que son unos trazos que representan el cauce del río o canal a evaluar y trazando los tramos de aguas arriba hacia aguas abajo (en la dirección de flujo positivo).

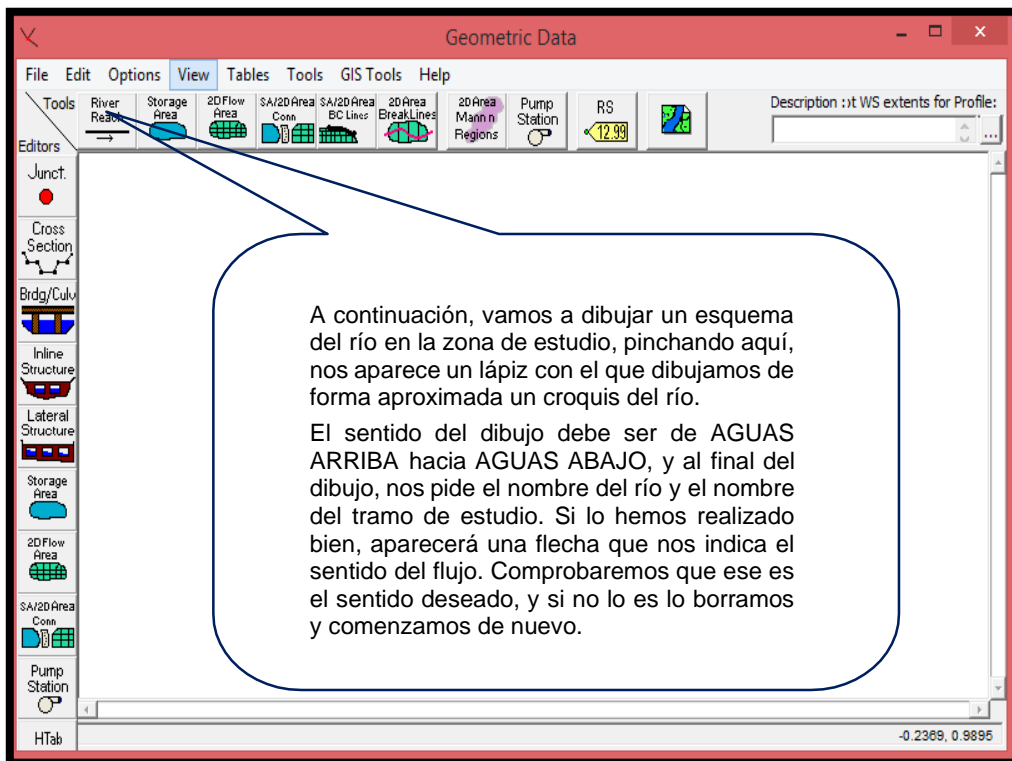


Figura. 13 Ventana donde se crean tramos geométricos

- Después de que el tramo es dibujado, se pregunta al usuario para entrar un identificador del río (*river*) con un máximo de 16 caracteres y del tramo (*reach*). Por medio de la siguiente ventana (Figura. 14).

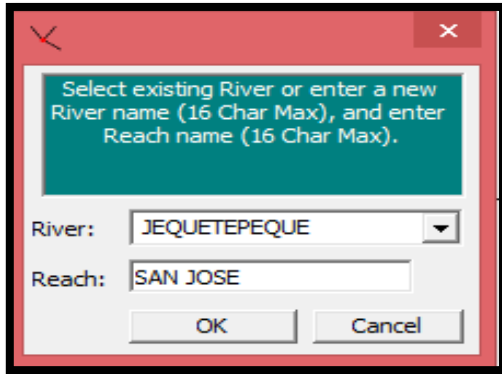


Figura. 14 Ventana donde se coloca el nombre

- Después de esto la ventana *Geometric Data*, se observa como se aprecia en la ventana adjunta (Ver Figura. 15)

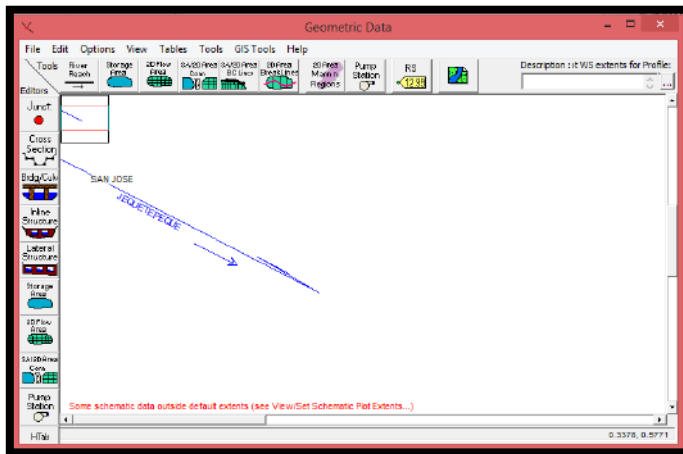


Figura. 15 Ventana del dibujo del tramo del canal

Cuando se conectan los “ *Reaches*” o tramos juntos, las uniones son formadas automáticamente por la interface. Al proyectista también se le solicita ingresar un identificador por medio de una ventana para cada unión.

1.4.2. Ingreso de secciones transversales

Una vez creado nuestro croquis del tramo de estudio, pasaremos a definirlo geoméricamente mediante las secciones transversales seleccionadas y las distancias entre ellas, para ello, presionamos el botón *Cross Section*.

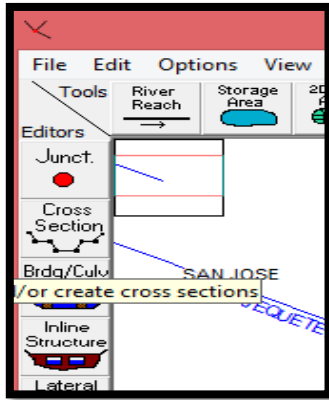


Figura. 16 Ingreso de *Cross Section*

Nos aparecerá el siguiente editor que se ve en la figura 16

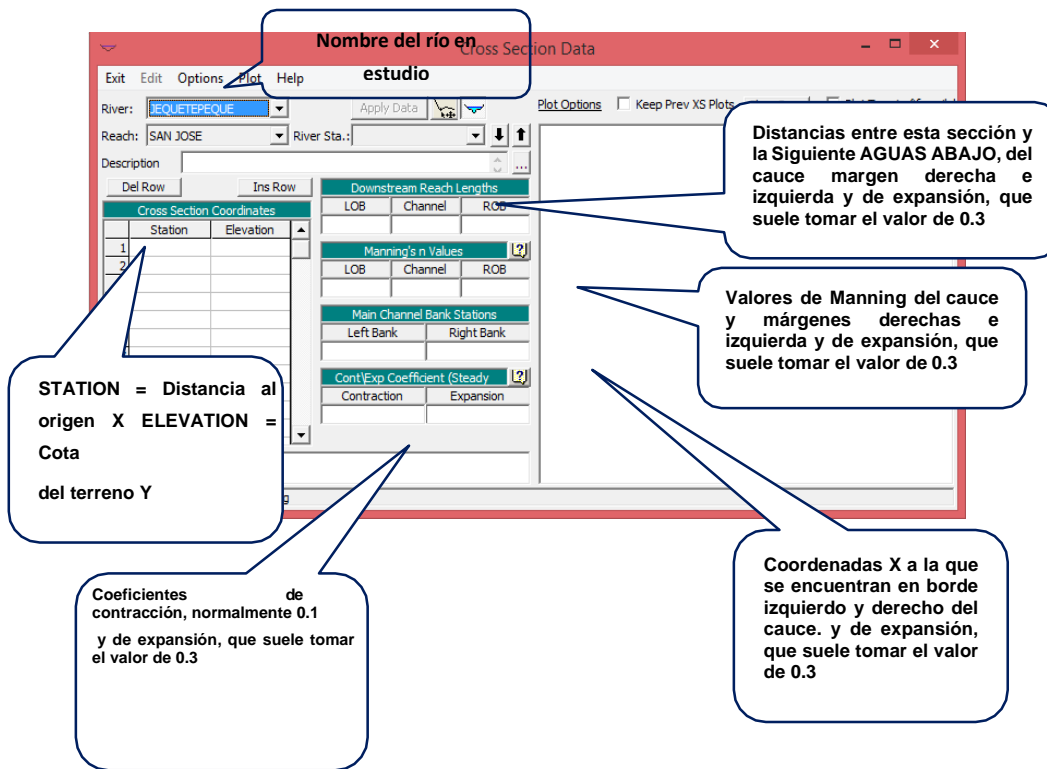


Figura. 17 Ventana donde se introducen los datos de la sección transversal

- Cuando terminemos de ingresar las secciones tendremos la siguiente vista

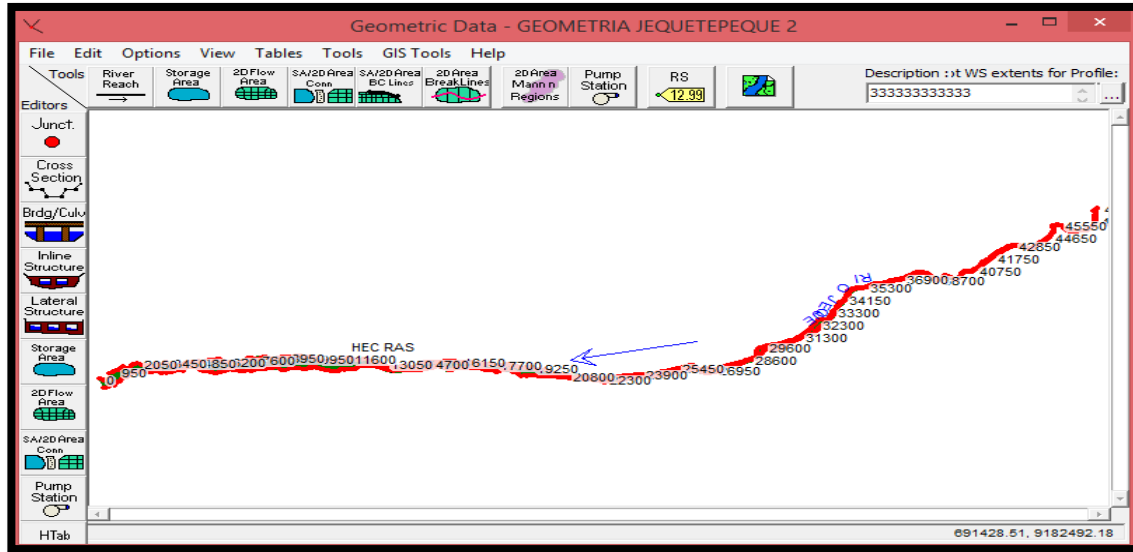


Figura. 18 Ventana *Geometric Data*, donde se representa las secciones transversales del río Jequetepeque.

1.5. Ingreso de los Datos Hidráulicos: caudal y condiciones de contorno

Una vez ingresados los datos geométricos, el modelador puede ingresar los datos del flujo que se requiere. La forma de entrada para ellos está disponible bajo la opción *Edit* de la barra de menú en la ventana principal del HEC RAS.

Los Datos de Flujo consisten en:

- El número de perfiles a ser computado
- Los datos de flujo (caudales, niveles de agua en sección de control) y
- Las condiciones límite del río.

Por lo menos debe ingresarse un flujo para cada *reach* dentro del sistema. Adicionalmente, puede cambiarse el flujo a cualquier situación dentro del sistema del río. Se requieren las *condiciones del límite* para realizar los cálculos. Si un análisis de flujo de supercrítico va a ser realizado, entonces sólo se necesitan las condiciones de límite de aguas abajo. Si un análisis de flujo de supercrítico va a ser efectuado, entonces sólo requerirá las condiciones de límite de agua. Si el proyectista va a realizar un cálculo de

régimen de flujo mixto, entonces serán necesarias ambas condiciones límite tanto aguas arriba como aguas abajo. El límite condiciona la forma de entrada de datos.

1.5.1. Ingreso de caudales

Para ingresar los datos realizaremos los siguientes pasos:

- Seleccionar *Edit/Steady Flow Data*

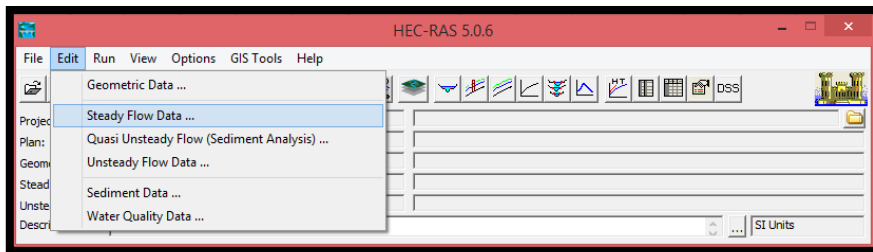


Figura. 19 Ventana para ingreso de canal

Aparecerá una ventana que nos permite:

- Definir el número de perfiles (hasta 32000), cada uno de los cuales corresponde a un caudal diferente (*Enter/Edit Number of Profiles*)
- Definir las condiciones de contorno (*Reach Boundary conditions*)
- Introducir cambios en los caudales en determinadas secciones (*Add a Flow Change Location*), ya que considera que el caudal no cambia hacia aguas abajo hasta que se encuentra con otro valor en otra sección.
- Definir los caudales de cada perfil en cada sección donde se produce un cambio de caudal (no permite introducir cambios de caudales en secciones interpoladas).

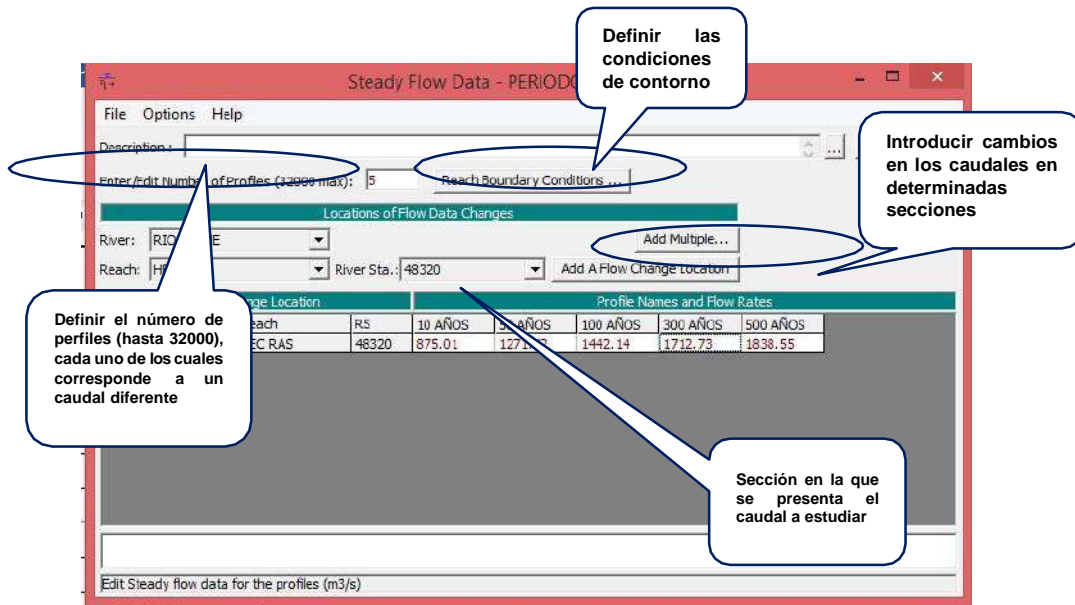


Figura. 20 Ventana de ingreso de caudales del Rio Jequetepeque

1.5.2. Introducir las condiciones de contorno

Una vez seleccionados los caudales, debemos introducir las condiciones de contorno, pulsando la opción: *Reach Boundary Conditions*. (Véase al inicio de la pestaña de la figura 21)

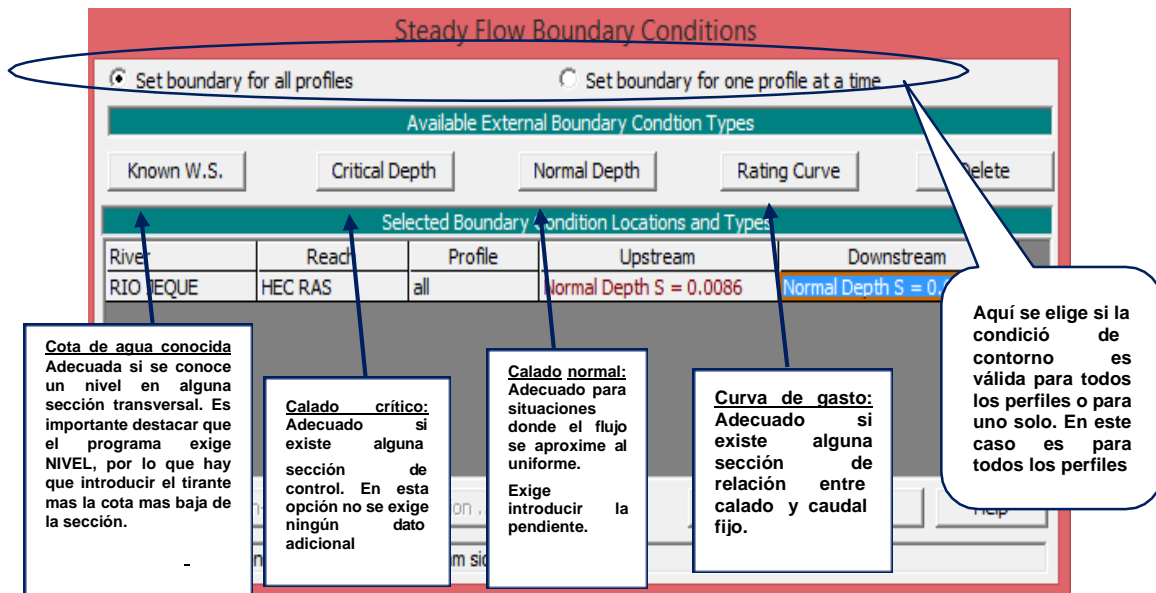


Figura. 21 *Steady Flow Boundary Conditions*

1.6. Crear un plan y ejecutar una simulación

1.6.1. Fundamento del proceso computacional

Una vez ingresados todos los datos geométricos y datos de flujo, el proyectista puede empezar a realizar los cálculos hidráulicos de simulación.

1.6.1.1. Perfiles del agua en flujo permanente

Este componente calcula perfiles para flujo gradualmente variado. El sistema puede manejar una red de canales, un sistema dendrítico o un simple tramo del río. Y es capaz de modelar flujos supercríticos, subcríticos y mixtos.

El proceso computacional se basa en:

- La solución unidimensional de la ecuación de energía. En ella las pérdidas de energía son evaluadas por fricción (ecuación de Manning), por contracción y expansión (coeficiente que multiplican a la carga de velocidad).
- La ecuación de *Momentum* es utilizada en situaciones donde el flujo es rápidamente variado. Esto incluye régimen de flujos mixtos: saltos hidráulicos, hidráulica de puentes y confluencia de ríos.
- Los efectos de obstrucciones como: puentes, barrajes, alcantarillas y estructuras en el plano de inundaciones pueden ser considerados en los cálculos.

El sistema de flujo no permanente está diseñado para la aplicación en planos de inundación y estudios de protección contra avenidas. También se puede modelar cambios en los perfiles de agua en canales debido a mejoramientos y diques.

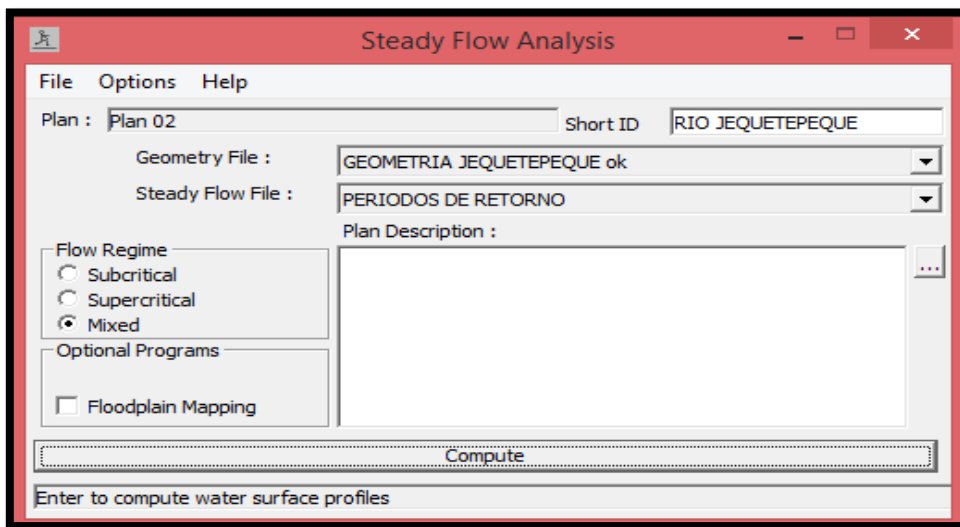
Con los datos de entrada se generan simulaciones de curvas de remanso, que, se desarrollarán bajo las siguientes premisas:

1. Flujo permanente que no cambia con el tiempo.
2. Flujo gradualmente variado que cambia en distancias relativamente grandes.
3. Flujo unidimensional con correcciones para distribución horizontal de velocidad.
4. Pendiente suave.
5. La pendiente promedio de la línea de energía es constante entre dos secciones transversales adyacentes.
6. Condición de borde (el canal es rígido).

1.6.2. Crear un plan y efectuar la simulación

Para crear una simulación hidráulica del cauce es necesario, crear un plan que incorpore un fichero de datos de geometría y otro de datos hidráulicos.

- Para ello seleccionaremos *Run/Steady Flow Analysis*
- Aparecerá una ventana donde podemos introducir un identificador, si no lo hacemos aparecerá uno por defecto.
- Seleccionamos un fichero de datos geométricos y uno de datos hidráulicos de entre los existentes.



Una vez ejecutada la simulación correctamente, se mostrará la siguiente ventana.

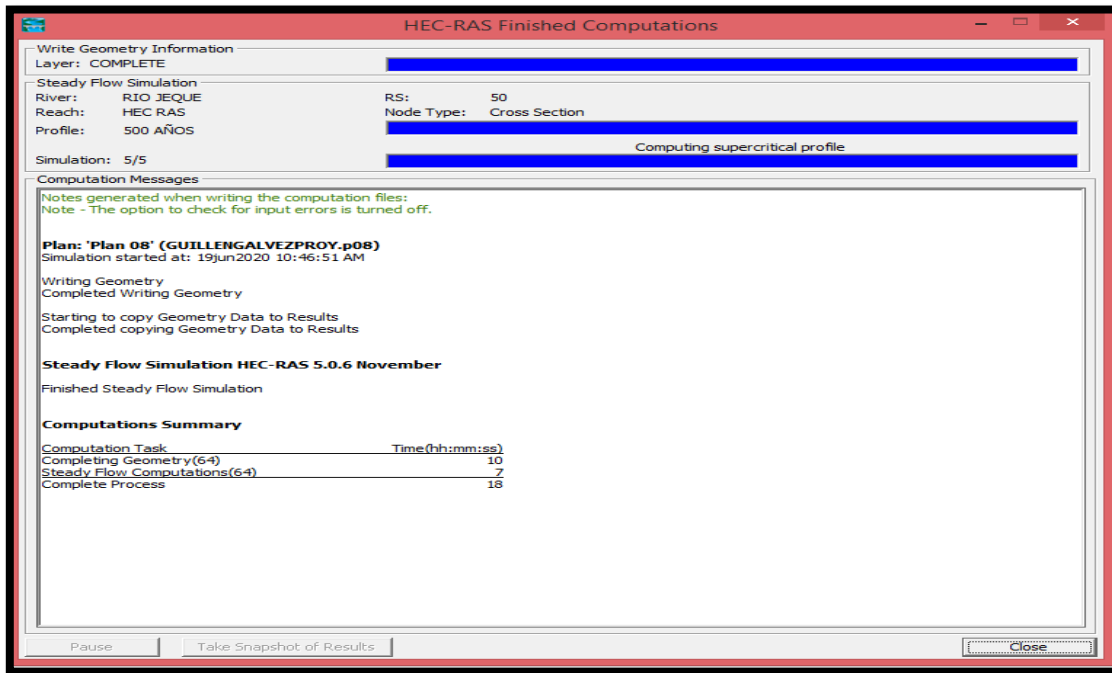


Figura. 22 Ventana de culminación de cálculos del programa.

Seleccionar “Close” para cerrar la ventana

1.7. Ver e Imprimir los resultados

Una vez que el modelo ha terminado todos los cálculos, el proyectista puede empezar viendo los resultados.

La salida del programa abarca entre otras, secciones transversales (mostrando la sección del canal y los niveles de agua), perfiles longitudinales, curvas y (tirante) Vs. Q (caudal), perspectivas X-Y-Z (*Pseudo 3D*), tabla de la sección transversal (puntos, velocidad media, número de Froude, etc), tabla del perfil longitudinal, etc.

Los datos de salida permiten conocer, entre otros, el tirante del agua, la velocidad media del flujo, etc. Estos parámetros se utilizan, por ejemplo, en el diseño de puentes (para calcular la socavación producida por el paso del agua en los pilares y estribos), para

diseñar la protección de los terraplenes de una carretera, para determinar la planicie de inundación y planificar el desarrollo urbano de una ciudad, etc. Los datos de salida se deben tratar con sumo cuidado por especialistas.

Todos los gráficos y tablas de datos pueden ser vistos en pantalla, enviados a una impresora o al ploter o pasado a través del *Clipboard* de *window* a otro software como procesador de textos o una hoja de cálculos.

Todas las opciones disponibles en la ventana de secciones transversales también están disponibles en la ventana del perfil. Adicionalmente, el usuario puede seleccionar qué tramos específicos para plotear cuando un sistema de río de múltiple está simulándose, una pantalla de X-Y-Z también está disponible. El usuario tiene la opción de definir el arranque y acabar la situación para la magnitud del tramo considerado. El tramo puede girarse ó puede corregirse, y conseguir perspectivas diferentes del tramo del río.

1.7.1. Resultados desde el menú *View*

Ejecutada la simulación correctamente, podemos ver los resultados de diferentes maneras, como por ejemplo al desplegar el submenú del menú *view* podemos observar que tenemos las siguientes opciones de ver los resultados.

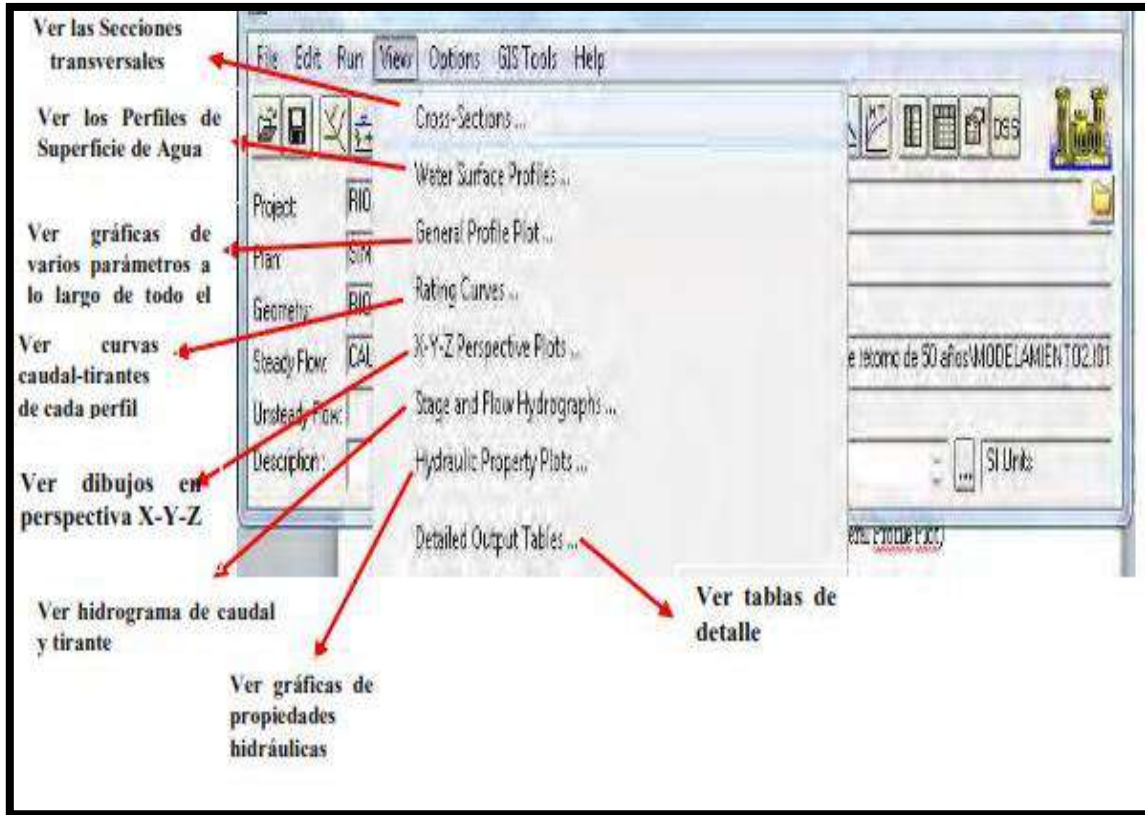


Figura. 23 Resultados desde el menú View

1.7.1.- Secciones Transversales

En el menú VIEW o seleccionando el icono correspondiente, como se muestra en la imagen.

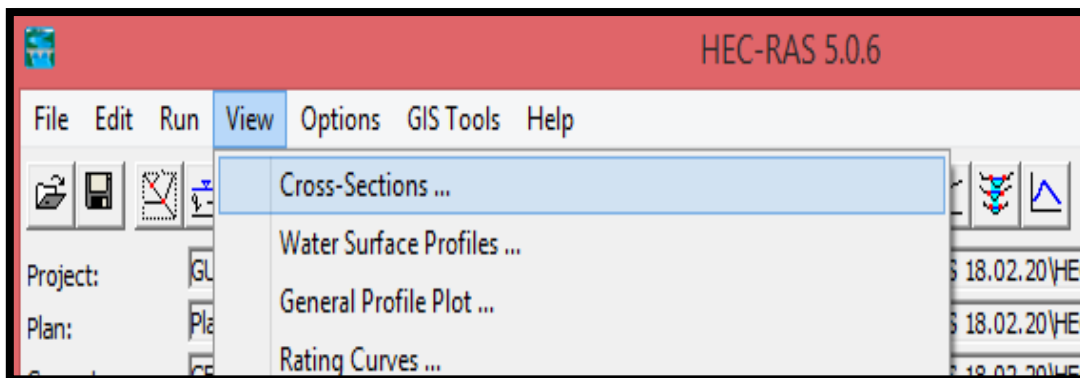


Figura. 24 Cross Sections

Luego aparece la siguiente ventana

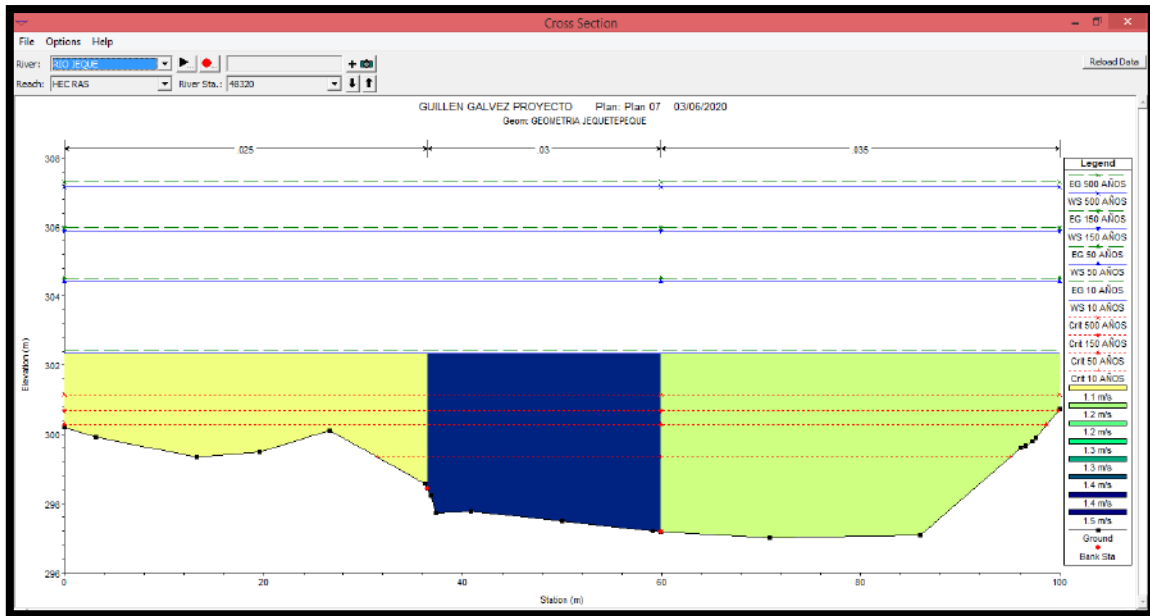


Figura. 25 Secciones transversales

1.7.2. Perfiles de las láminas de agua

En el menú “View” o seleccionando el icono correspondiente como se ve en la Figura 26.

Ver los Perfiles de Superficie de Agua

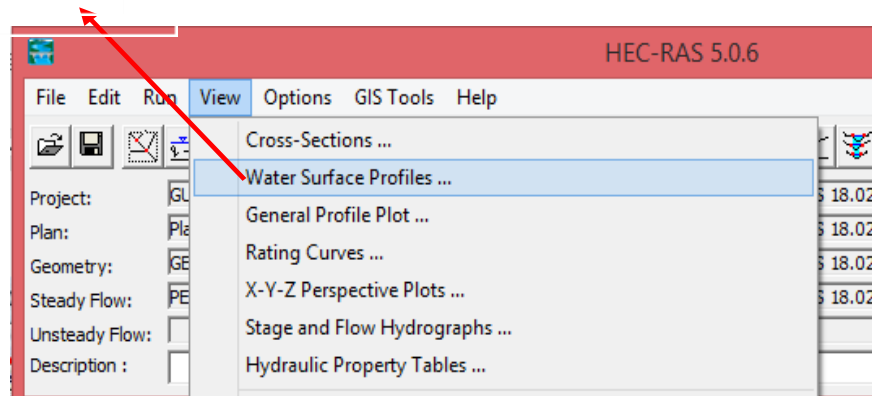
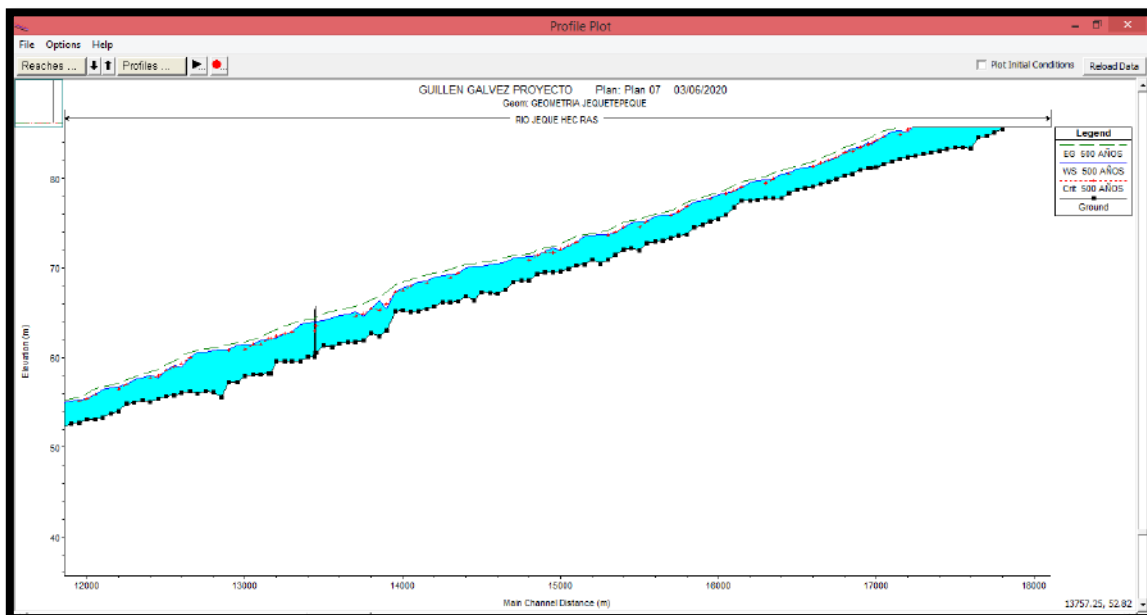
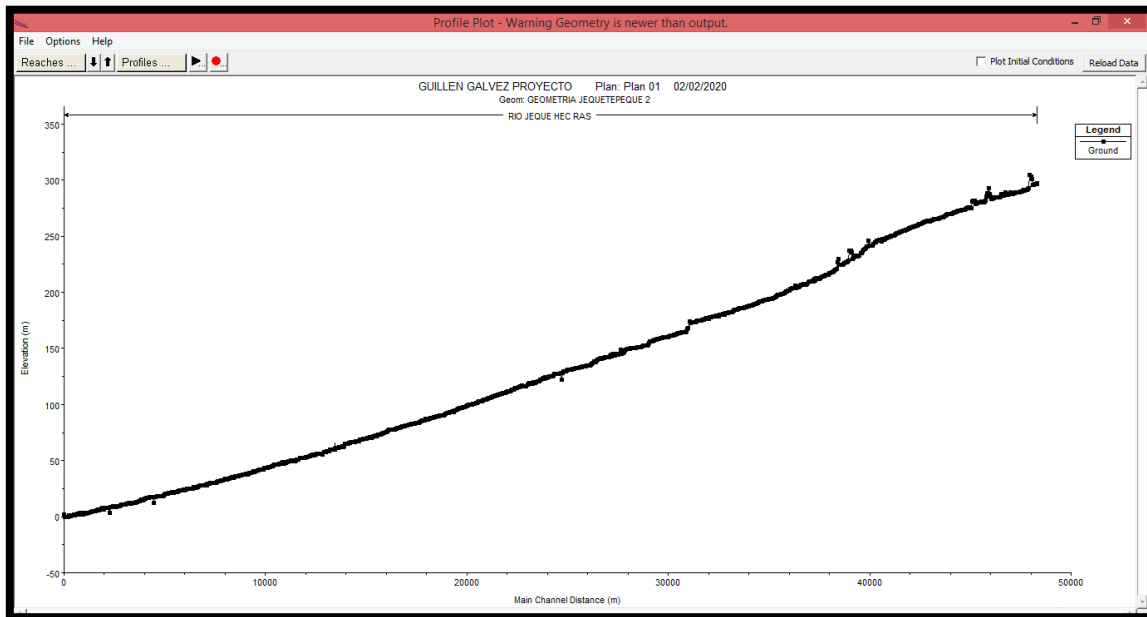


Figura. 26 View

Luego aparece la siguiente ventana donde podemos apreciar los perfiles de superficie de agua que se aprecia en la Figura 27.



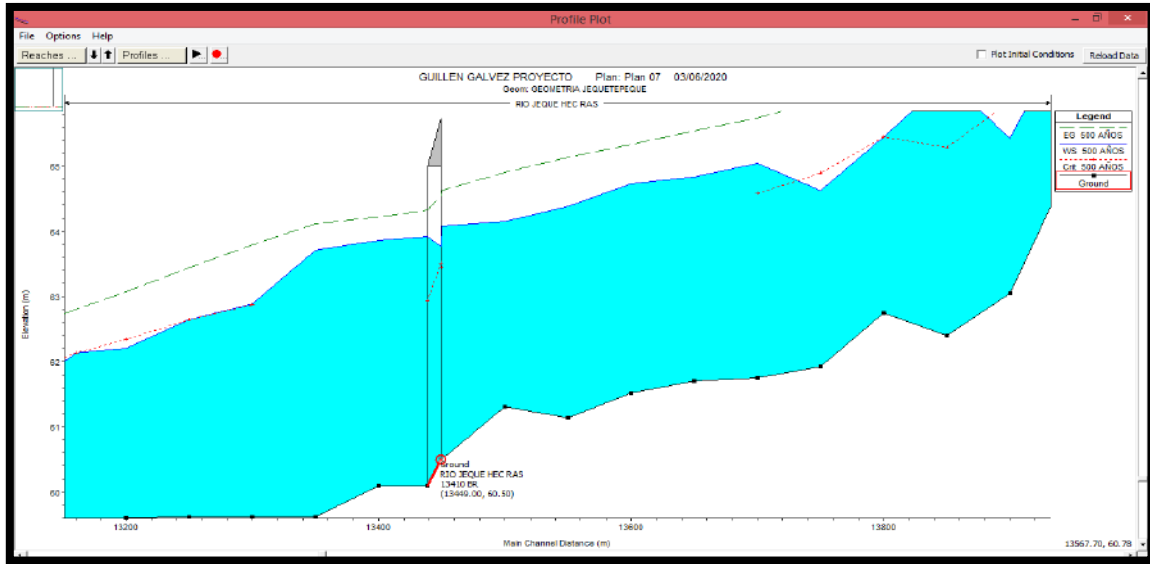


Figura. 27 Perfiles de superficie de agua

1.7.3. Gráficas de varios parámetros a lo largo de todo el perfil

En el menú “View”, opción *General Profile Plot* o seleccionando el icono correspondiente:

Ver gráficas de varios parámetros a lo largo de todo el perfil

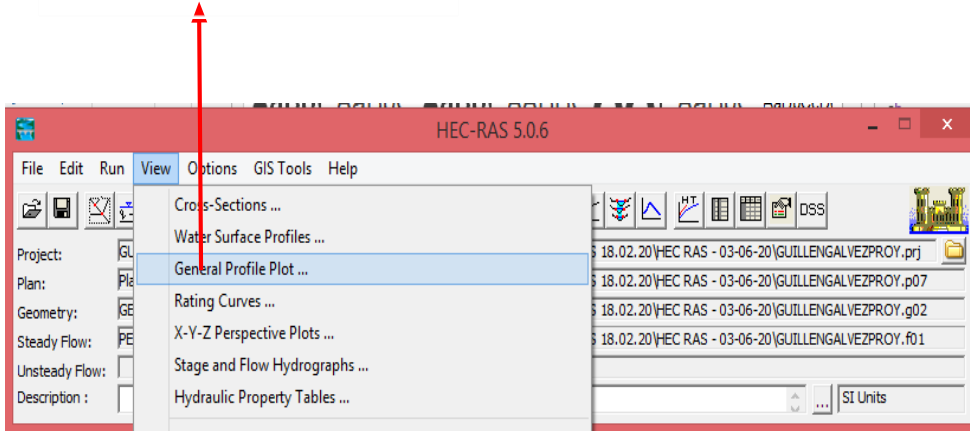
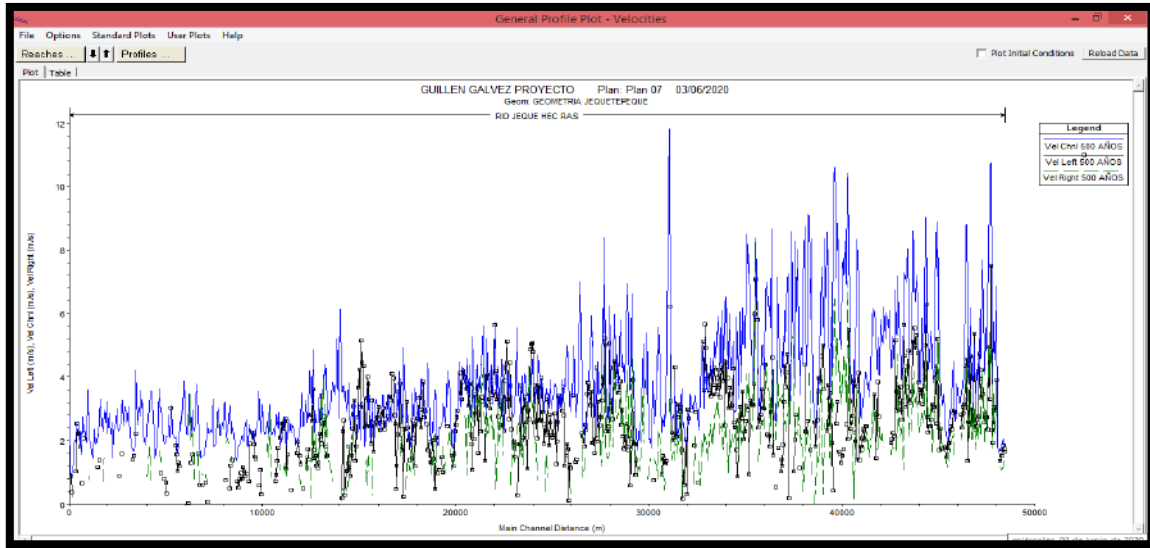


Figura. 28 Pantalla “View”

Luego se visualizará la pantalla donde se pueden ver las gráficas de varios parámetros a lo largo de todo el perfil de la Figura 29.



Podemos elegir también la opción de verlo en formato tabla, seleccionando la pestaña "table"

Podemos elegir ver gráficas estándar seleccionando entre las opciones del menú "Estándar Plots", entre las cuales tenemos:

- Velocidad (*Velocity*)
- Caudal (*Flow*)
- Área de la sección Transversal (*Area*)
- Coeficiente de Manning ponderado (*Weighted n*)
- Número de Froude (*Froude #*)
- Tirante Hidráulico (*Hydraulic Depth*)
- Tensión de Corte (*Shear*)
- Área de la Superficie (*Surface area*)
- Volumen de agua (*Volume*)
- Potencia del flujo (*Stream Power*).

Figura. 29 Gráficas de varios parámetros a lo largo del perfil del río Jequetepeque

1.7.4. Gráficas de curvas caudal-tirantes de cada perfil

En el menú "View" o seleccionando el icono correspondiente:

Ver curvas caudal-tirantes de cada perfil

Figura. 30 View: rating curves

Luego visualizaremos la pantalla de la figura 31 donde se pueden ver las curvas caudal-tirantes de cada perfil.

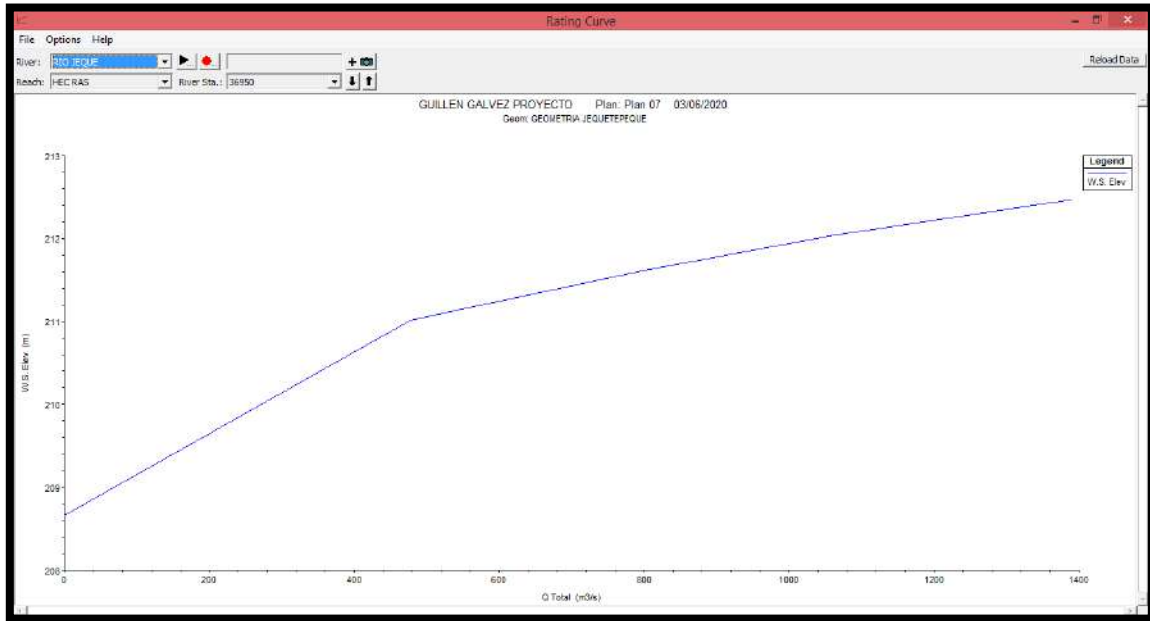


Figura. 31 Curva caudal - tirante del río Jequetepeque: tramo puente Libertad

Aquí se presentan las mismas posibilidades de la ventana “*Cross Sections*”

1.7.5. Ver dibujos en perspectiva

En el menú “*View*” o seleccionando el icono correspondiente aparece la ventana de la

Figura. 32

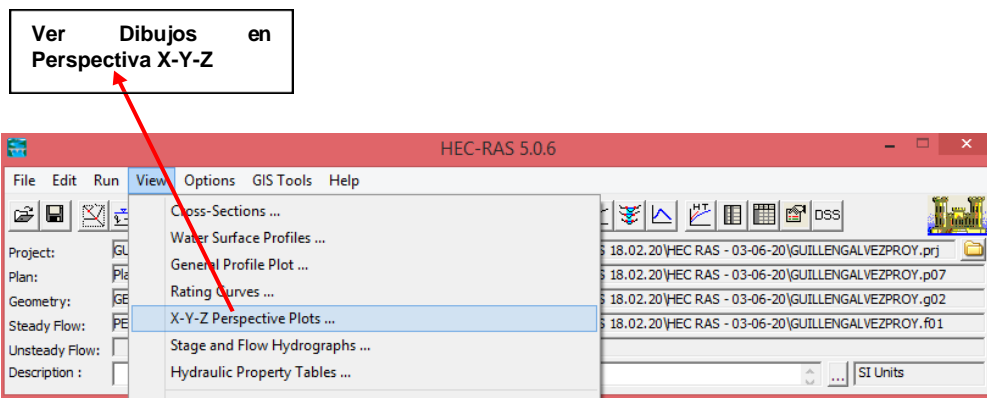


Figura. 32 Vista

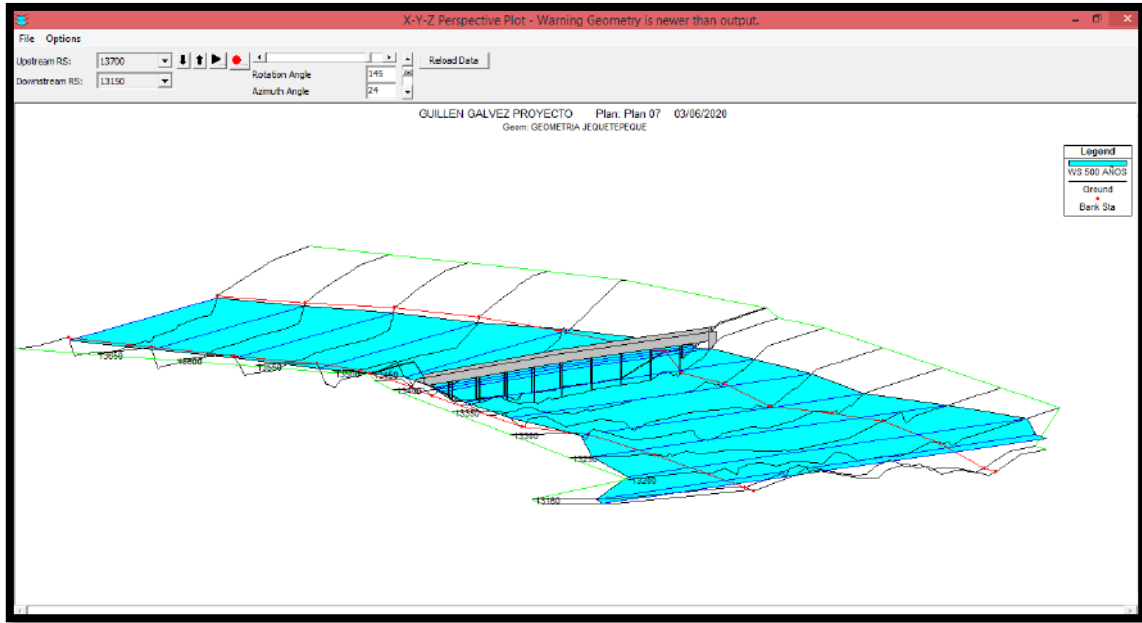


Figura. 33 Dibujos en Perspectiva X-Y-Z

En esta vista en el menú “*Options*”, también podemos seleccionar el plan, el perfil (varios o incluso todos), hacer acercamientos, animaciones, etc. En la ventana podemos configurar la vista cambiando el ángulo horizontal (*Rotation angle*) o el ángulo vertical (*Azimuth Angle*).

1.7.6. Ver tablas de detalle (*Detailed Output Table*)

En el menú “*View*” o seleccionando el icono correspondiente.

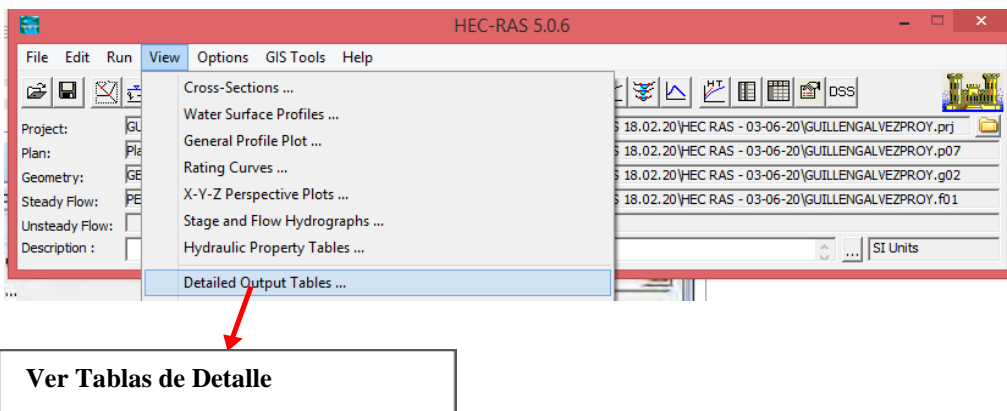
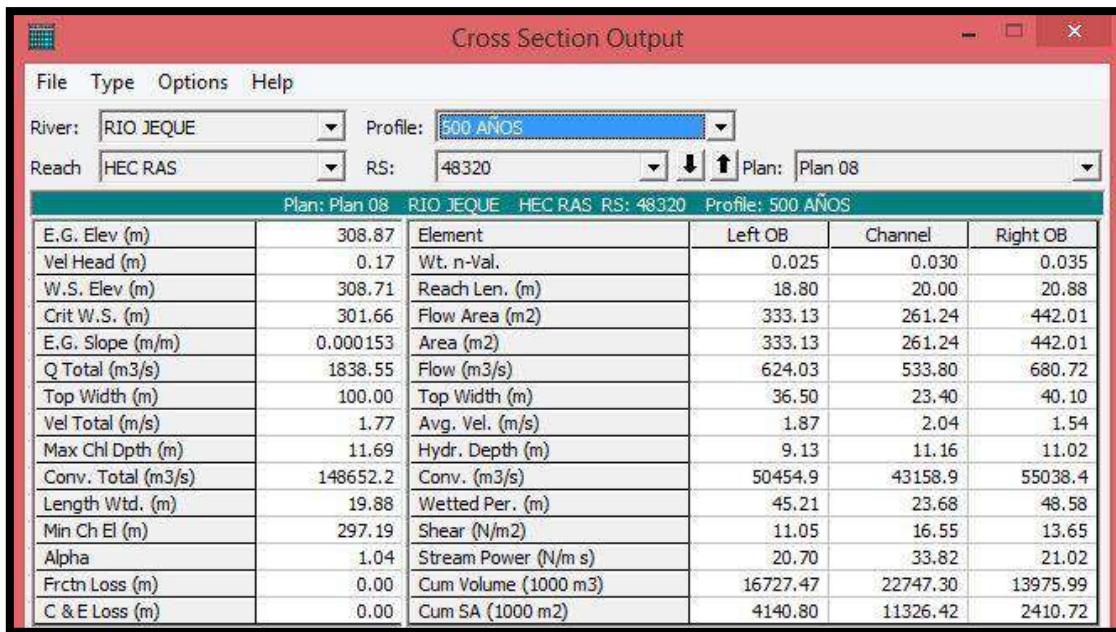


Figura. 34 Tabla de Detalle

Luego de seleccionar la opción “Ver Tablas de Detalle” podemos visualizar las tablas de la sección transversal como se ve en la Figura. 35.



Plan: Plan 08 RIO JEQUE HEC RAS RS: 48320 Profile: 500 AÑOS					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	308.87	Wt. n-Val.	0.025	0.030	0.035
Vel Head (m)	0.17	Reach Len. (m)	18.80	20.00	20.88
W.S. Elev (m)	308.71	Flow Area (m2)	333.13	261.24	442.01
Crit W.S. (m)	301.66	Area (m2)	333.13	261.24	442.01
E.G. Slope (m/m)	0.000153	Flow (m3/s)	624.03	533.80	680.72
Q Total (m3/s)	1838.55	Top Width (m)	36.50	23.40	40.10
Top Width (m)	100.00	Avg. Vel. (m/s)	1.87	2.04	1.54
Vel Total (m/s)	1.77	Hydr. Depth (m)	9.13	11.16	11.02
Max Chl Dpth (m)	11.69	Conv. (m3/s)	50454.9	43158.9	55038.4
Conv. Total (m3/s)	148652.2	Wetted Per. (m)	45.21	23.68	48.58
Length Wtd. (m)	19.88	Shear (N/m2)	11.05	16.55	13.65
Min Ch El (m)	297.19	Stream Power (N/m s)	20.70	33.82	21.02
Alpha	1.04	Cum Volume (1000 m3)	16727.47	22747.30	13975.99
Frctn Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	4140.80	11326.42	2410.72
C & E Loss (m)	0.00				

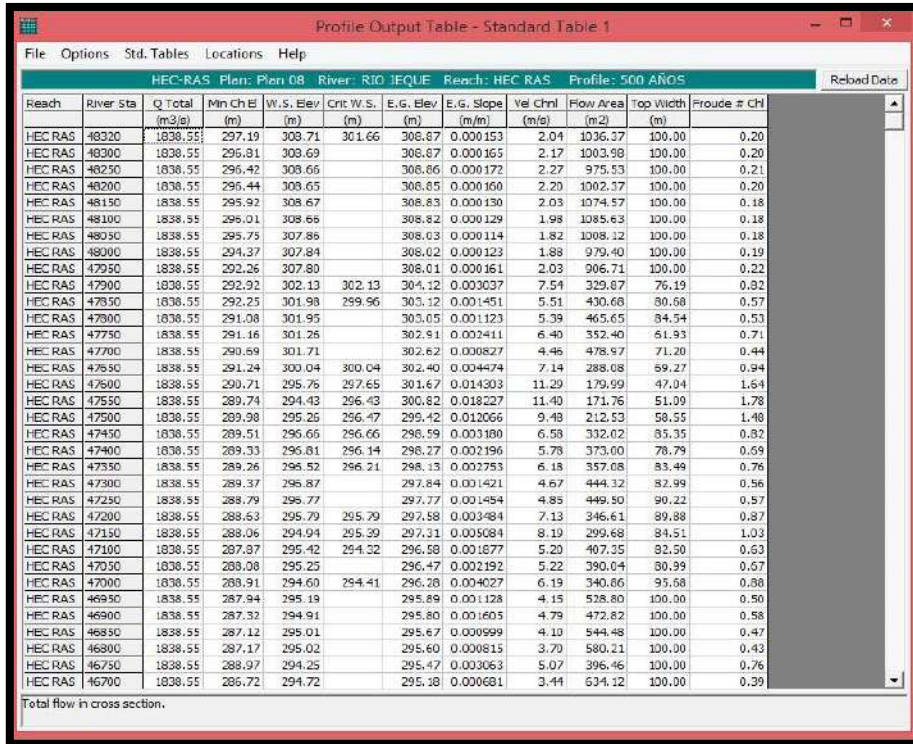
Figura 35 Tabla salida de Sección Transversal

Aquí se ve un resumen de los parámetros hidráulicos de cada una de las secciones, con las opciones incluir los mensajes de error, avisos & notas en la misma ventana y cambiar el sistema de unidades para la visualización.

1.7.7. Ver Tabla de Resumen (*Profile Summary Table*)

En el menú “View” o seleccionando el icono correspondiente aparece la ventana de la Figura. 36 con la Tabla estándar río Jequetepeque.

En esta ventana en principio aparece la tabla estándar, pero pueden elegirse entre 21 de ellas o configurar nuestra propia tabla. También nos permite elegir ver secciones interpoladas o no.



Reach	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
HEC RAS	48320	1838.55	297.19	308.71	301.66	306.87	0.000153	2.04	1036.37	100.00	0.20
HEC RAS	48300	1838.55	296.81	308.69		306.87	0.000165	2.17	1003.98	100.00	0.20
HEC RAS	48250	1838.55	296.42	308.66		306.86	0.000172	2.27	975.53	100.00	0.21
HEC RAS	48200	1838.55	296.44	308.65		306.85	0.000160	2.20	1002.57	100.00	0.20
HEC RAS	48150	1838.55	295.92	308.67		308.83	0.000130	2.03	1074.57	100.00	0.18
HEC RAS	48100	1838.55	296.01	308.66		308.82	0.000129	1.98	1085.63	100.00	0.18
HEC RAS	48050	1838.55	295.75	307.86		308.03	0.000114	1.82	1008.12	100.00	0.18
HEC RAS	48000	1838.55	294.37	307.84		308.02	0.000123	1.88	979.40	100.00	0.19
HEC RAS	47950	1838.55	292.26	307.80		308.01	0.000161	2.03	906.71	100.00	0.22
HEC RAS	47900	1838.55	292.92	302.13	302.13	304.12	0.003037	7.54	329.87	76.19	0.82
HEC RAS	47850	1838.55	292.25	301.98	299.96	303.12	0.001451	5.51	430.68	80.68	0.57
HEC RAS	47800	1838.55	291.08	301.95		303.05	0.001123	5.39	465.65	84.54	0.53
HEC RAS	47750	1838.55	291.16	301.26		302.91	0.002411	6.40	352.40	61.93	0.71
HEC RAS	47700	1838.55	290.89	301.71		302.62	0.003827	4.46	478.97	71.20	0.44
HEC RAS	47650	1838.55	291.24	300.04	300.04	302.40	0.004474	7.14	288.08	89.27	0.94
HEC RAS	47600	1838.55	290.71	295.76	297.65	301.67	0.014303	11.29	179.99	47.04	1.64
HEC RAS	47550	1838.55	289.74	294.43	296.43	300.82	0.018227	11.40	171.76	51.09	1.78
HEC RAS	47500	1838.55	289.98	295.26	296.47	299.42	0.012066	9.48	212.53	58.55	1.48
HEC RAS	47450	1838.55	289.51	296.66	296.66	298.59	0.003180	6.58	332.02	85.35	0.82
HEC RAS	47400	1838.55	289.33	296.81	296.14	298.27	0.002196	5.78	373.00	78.79	0.69
HEC RAS	47350	1838.55	289.26	296.52	296.21	298.15	0.002753	6.18	357.08	83.48	0.76
HEC RAS	47300	1838.55	289.37	296.87		297.84	0.001421	4.67	444.12	82.99	0.56
HEC RAS	47250	1838.55	288.79	296.77		297.77	0.001454	4.85	449.50	90.22	0.57
HEC RAS	47200	1838.55	288.63	295.79	295.79	297.58	0.003484	7.13	346.61	89.88	0.87
HEC RAS	47150	1838.55	288.06	294.94	295.39	297.31	0.005081	8.19	299.68	84.51	1.03
HEC RAS	47100	1838.55	287.87	295.42	294.32	296.58	0.001877	5.20	407.35	82.50	0.63
HEC RAS	47050	1838.55	288.08	295.25		296.47	0.002192	5.22	390.04	80.99	0.57
HEC RAS	47000	1838.55	288.91	294.60	294.41	296.28	0.004027	6.19	340.66	95.68	0.88
HEC RAS	46950	1838.55	287.94	295.19		295.89	0.001128	4.15	528.80	100.00	0.50
HEC RAS	46900	1838.55	287.32	294.91		295.80	0.001605	4.79	472.82	100.00	0.58
HEC RAS	46850	1838.55	287.12	295.01		295.67	0.000999	4.10	544.48	100.00	0.47
HEC RAS	46800	1838.55	287.17	295.02		295.60	0.000815	3.70	580.21	100.00	0.43
HEC RAS	46750	1838.55	288.97	294.25		295.47	0.003063	5.07	396.46	100.00	0.76
HEC RAS	46700	1838.55	286.72	294.72		295.38	0.000681	3.44	634.12	100.00	0.39

Figura. 36 tabla estándar Río Jequetepeque: tramo Puente Libertad

Dónde:

Q Total : Caudal total

Min Ch El : Elevación mínima del canal principal

W.S. Elev : Calculo de la superficie del agua a partir de la ecuación de energía

Crit W.S. : Elemento crítico de la superficie del agua. Superficie correspondiente a la energía mínima en la curva de energía versus profundidad

E.G. Elev : Línea de gradiente de energía para la elevación calculada de WS

E.G. Slope : Pendiente de la línea de grado energético

Vel Chnl : Velocidad media de flujo en el canal principal

Flow Area : Área total del flujo activo de la sección transversal

Top Width : Anchura superior de la sección transversal húmeda

Froude # Chl : Número de Froude para el canal principal

1.7.8 Ver Resumen de Errores, Advertencias y Notas (*Summary Err, Warn, Notes*)

Una vez ejecutada la simulación, el programa genera un registro de incidencias que se clasifican en:

1.7.8.1. Errores (*Errors*): los mensajes de error son enviados únicamente cuando han surgido problemas que han impedido que una simulación se complete.

1.7.8.2. Avisos (*Warnings*): los avisos dan información al usuario sobre incidencias que pueden exigir o no acciones de corrección. Cuando aparecen estos mensajes, el usuario debe revisar los resultados hidráulicos de la sección afectada para asegurarse de que sean razonables. A veces pueden ir acompañados de alguna sugerencia que puede hacer desaparecer este mensaje en futuras simulaciones. En este sentido los problemas más comunes son:

- Secciones demasiado espaciadas
- Secciones que comienzan o terminan en una cota demasiado baja
- Cota inicial de la lámina de agua incorrecta para el régimen especificado.

1.7.8.3. Notas (*Notes*): dan información al usuario de cómo se están realizando los cálculos.

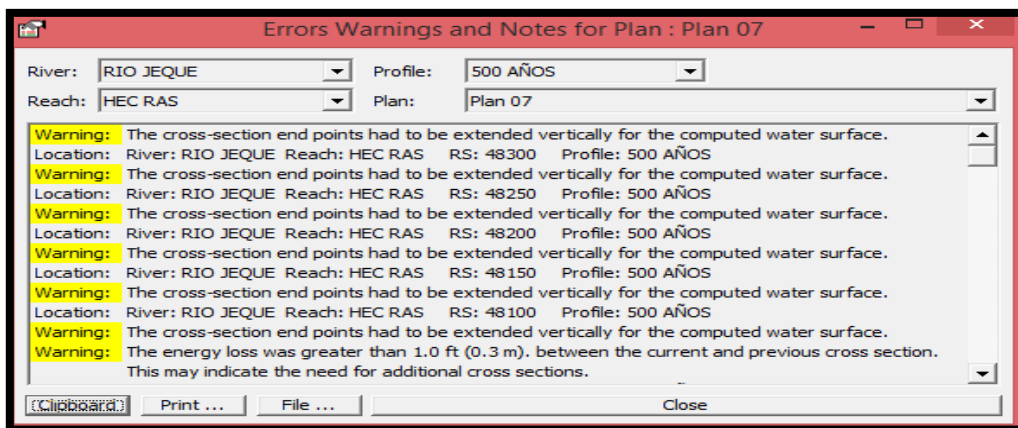


Figura. 37 Resumen de errores, advertencia y notas

Esta ventana nos presenta una serie de avisos y notas cuyas traducciones se muestran a continuación.

1.7.8.4. Traducción de avisos más comunes

- *“Divided flow computed for this section”*: el flujo fue calculado de manera dividida en esta sección. El flujo puede no ser 1-D.
- *“The velocity head has changed by more than 0.5 ft (0.15m). This may indicate the need for additional cross section”*: la altura de velocidad ha cambiado más de 0.15 m, lo que puede indicar la necesidad de secciones transversales adicionales.
- *“The energy loss was greater than 1.0 ft. (0.30m) between the current and previous cross sections. “this may indicate the need for additional cross section”*: la pérdida de carga fue mayor que 0.30 m entre las secciones transversales actual y anterior lo que puede indicar la necesidad de secciones transversales adicionales.
- *“The conveyance ratio (Upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or Greater than 1.4. “This may indicate the need for additional cross section”*: la relación de transporte (transporte aguas arriba dividido entre el transporte aguas abajo), es menor que 0.7 o mayor que 1.4, lo que puede indicar la necesidad de secciones transversales adicionales.
- *“During the Standard step iterations, when the assumed water surface was set equal to critical depth, the calculated water surface came back below critical depth. This indicates that there is not a valid subcritical answer. The program defaulted to critical depth”*: en las iteraciones del método estándar por pasos, cuando la superficie libre fue asumida igual al tirante crítico, la superficie calculada arrojó valores de tirantes menores al tirante crítico. Esto indica que no existe una respuesta subcrítica válida. El programa

colocó el tirante crítico.

- *“The energy equation could not be balanced within the specified number of iterations. The program selected the water surface that had the least amount of errors between computed and assumed values”*: la ecuación de energía no pudo ser balanceada con el número especificado de interacciones. El programa eligió la superficie libre que tuvo el mínimo error entre los valores calculados y asumidos.

1.7.8.5. Traducción de notas más comunes

- *“Program found supercritical flow starting at this cross section”*: el programa encontró flujo supercrítico a partir de esta sección transversal.
- *“Multiple critical depths were found at this location. The critical depth with the lowest valid water surface was used”*: en esta sección se encontraron múltiples tirantes críticos. Se eligió el tirante con el menor tirante
- *“Hydraulic jump was occurred between this cross section and the previous upstream section”*: un resalto hidráulico ha ocurrido entre esta sección transversal y la de aguas arriba.

De los análisis arrojados por el programa HEC RAS se explican debido a que el terreno natural tiene secciones de profundidades variables, no es así en un canal artificial donde se ha perfeccionado una pendiente uniforme, en todo el tramo evaluado.

ANEXO 2. Simulación Hidráulica del flujo constate incorporando el Puente Libertad.

- Para insertar la estructura del puente en el programa HEC RAS, debemos comenzar dando Click a la opción “View/edit Geometric Data” y luego click en “Edit and/pr create Bridges and Culverts.

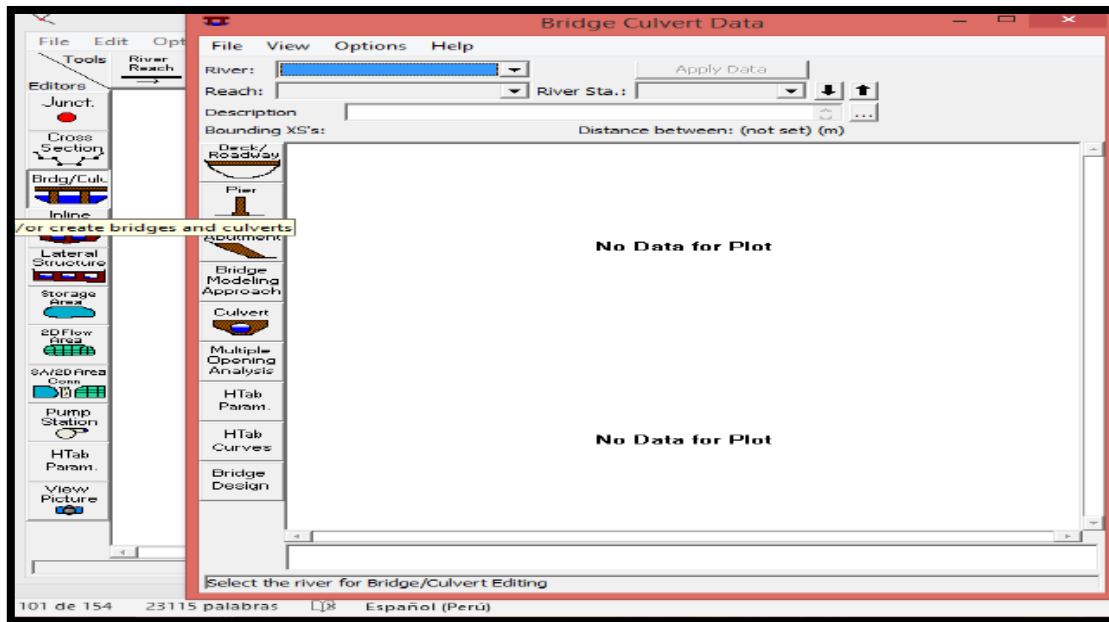


Figura 1. Procedimiento para ingresar a la Interface para insertar la estructura del puente (Fuente: Elaboración propia)

- Una vez en la interface para insertar la estructura ir a “Options”, add a bridge and or/culvert.
- Del paso anterior el programa nos solicitara ingresar a una nueva estación fluvial para llegar al nuevo puente o alcantarilla, en lo que se debe ingresar la progresiva donde se encuentra el puente.

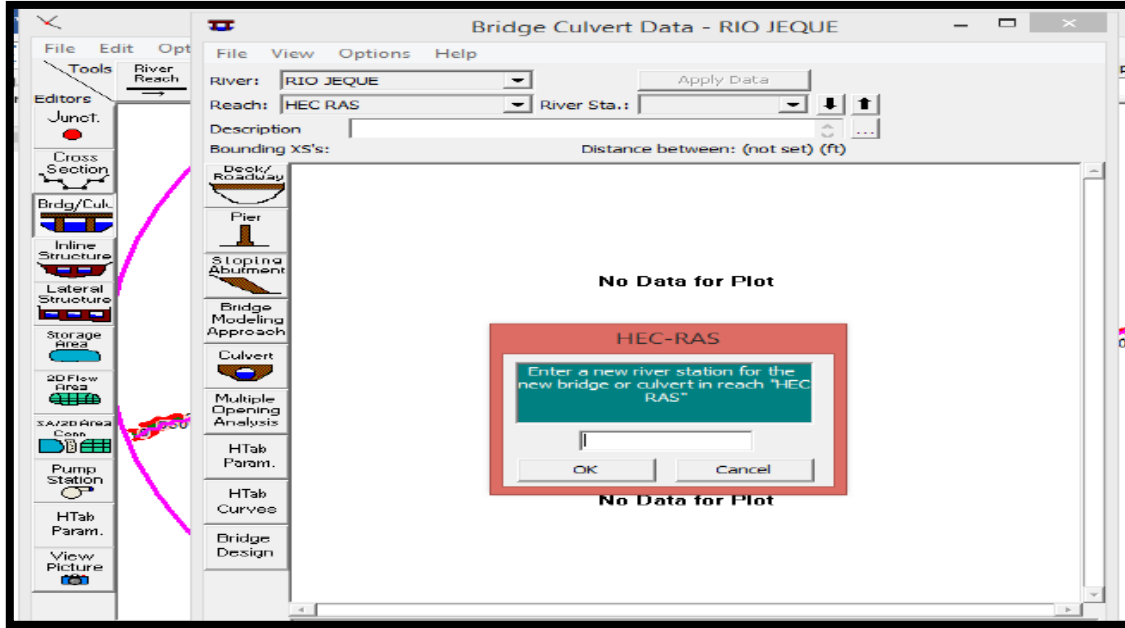


Figura 2. Ingreso de progresiva del puente
 (Fuente: Elaboración propia)

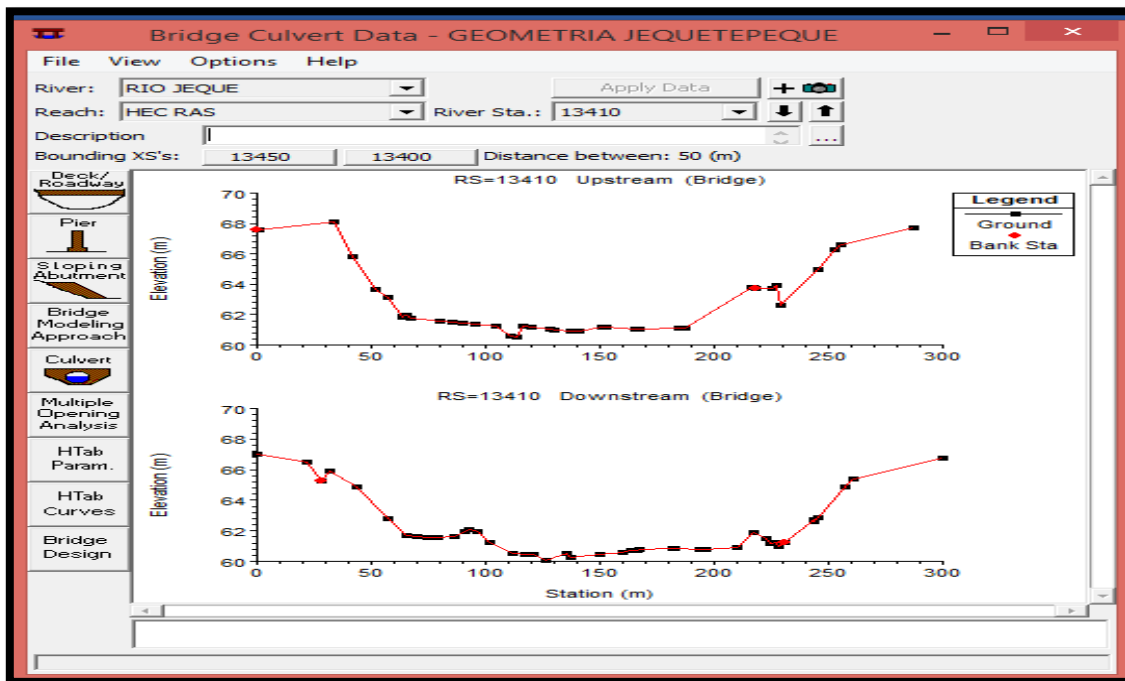


Figura 3. Ingreso de progresiva del puente Libertad
 (Fuente: Elaboración propia)

- Para editar las características del puente como: altura, largo y ancho de la Superestructura, numero, ancho, distanciamiento de pilares y estribos se debe ingresar a la opción “Bridge Design” e ingresar:
 - ✓ Elev of High Chord (Top of Road), nivel arriba del tablero
 - ✓ Elev of Low Chord, Nivel abajo del tablero
 - ✓ Add vertical walls in deck, Agregar paredes verticales en la cubierta.
 - ✓ Add sloping abuments side slope, Agregar pilares inclinados pendiente lateral.
 - ✓ Number of piers, número de pilares,
 - ✓ Upstream XS Starting Station, ubicación del pilar ascendente.
 - ✓ Downstream XS Starting Station, Ubicación del pilar descendente.
 - ✓ Pier Centerline Spacing, distancia de pilar a pilar.

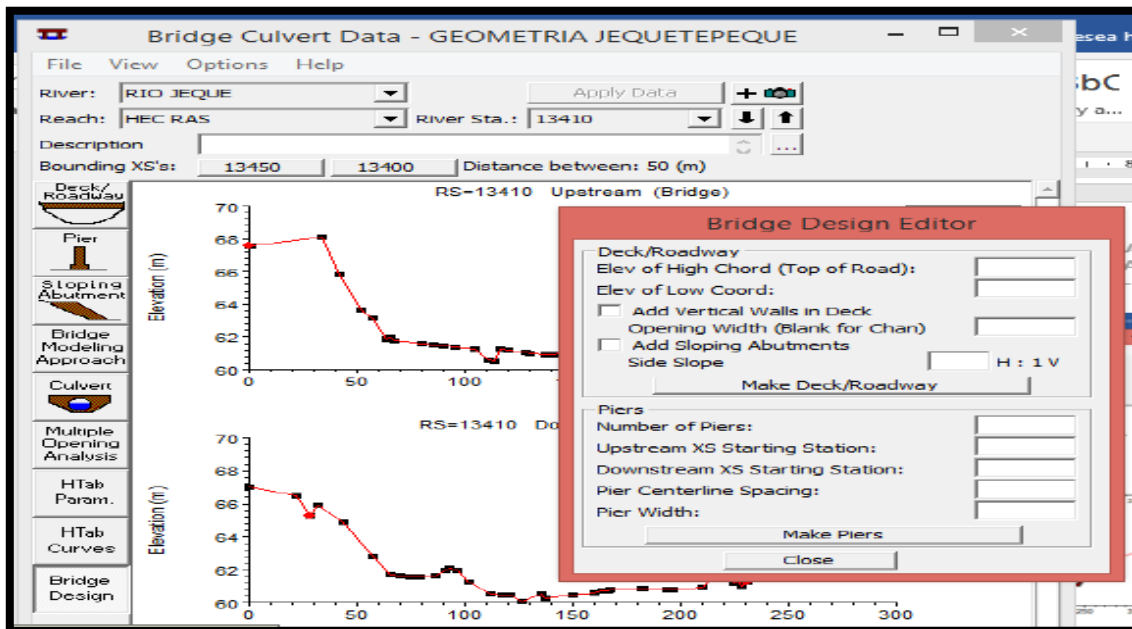


Figura 4. Interface de edición del puente.
 (Fuente: Elaboración propia)

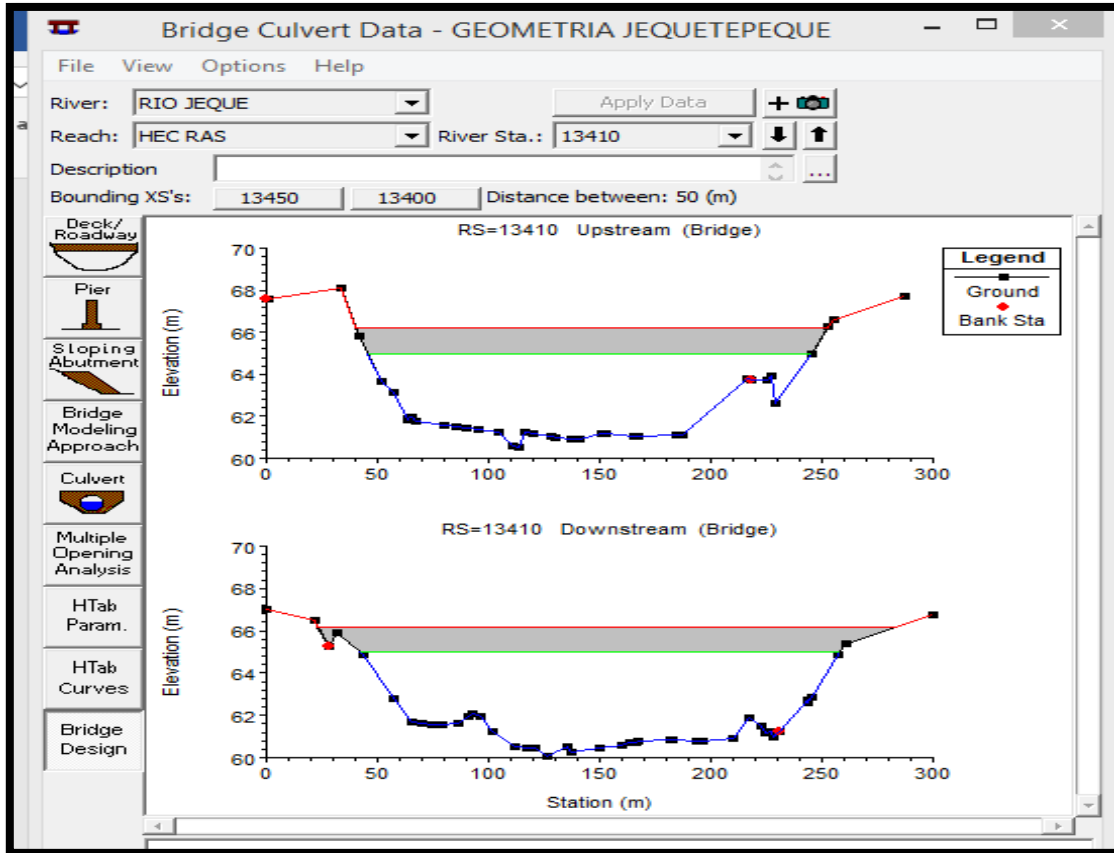


Figura 5. Vista simulada de la Superestructura del puente
 (Fuente: Elaboración propia)

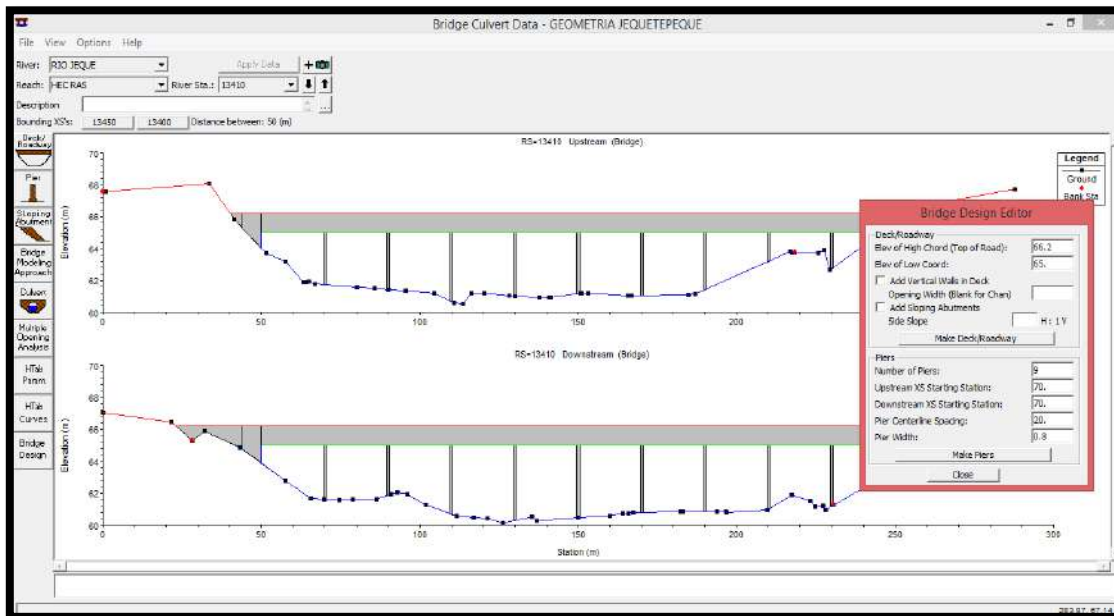
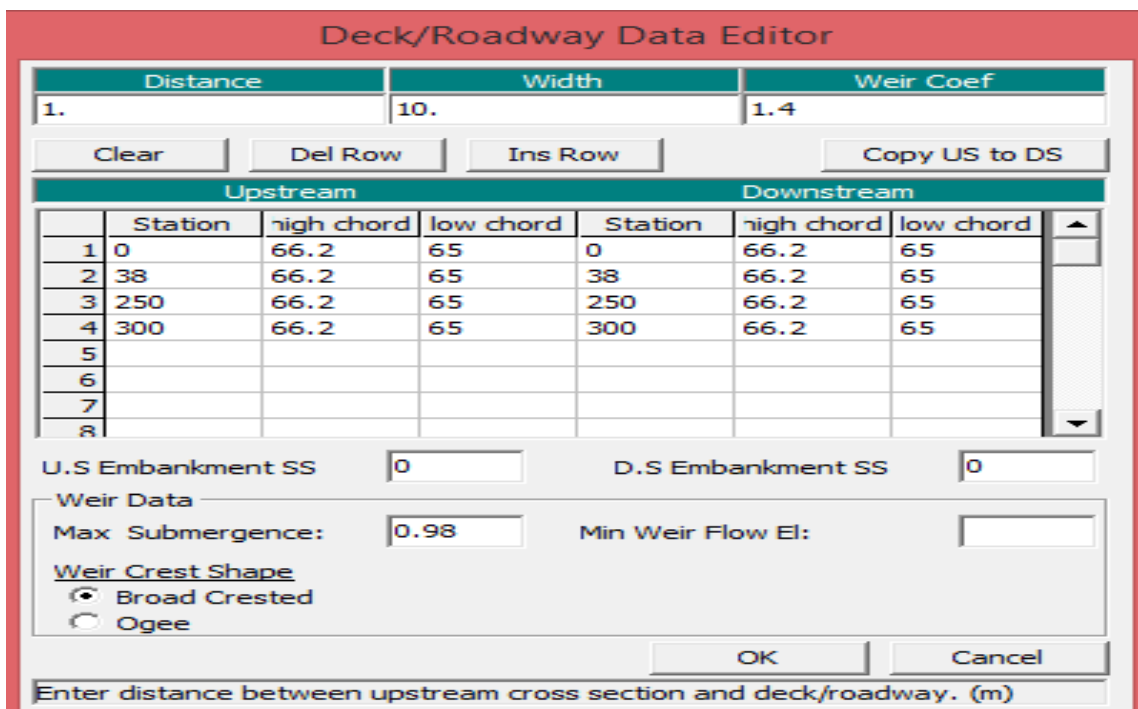


Figura 6. Vista simulada del puente Libertad con pilares.
 (Fuente: Elaboración propia)

- Para editar el largo del puente se debe ir a “Deck/Roadway Data editor”, en el cual se edita en:
 - ✓ “distance” la distancia a la progresiva conocida.
 - ✓ “Width” ancho del puente.
 - ✓ “Weir Coef” – por defecto
 - ✓ “Upstream”; “station” se edita la posición del puente aguas arriba.
 - ✓ “downstream”; “station” se edita la posición del puente aguas arriba.
 - ✓ “High chord” y “Low Chord” se refieren a la altura de la parte alta y baja del tablero, que ya se ha ingresado anteriormente.



Distance	Width	Weir Coef
1.	10.	1.4

Upstream				Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	0	66.2	65	0	66.2	65
2	38	66.2	65	38	66.2	65
3	250	66.2	65	250	66.2	65
4	300	66.2	65	300	66.2	65
5						
6						
7						
8						

U.S Embankment SS: D.S Embankment SS:

Weir Data
 Max Submergence: Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape
 Broad Crested
 Ogee

OK Cancel

Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

Figura 7. Edición de las dimensiones del puente, largo y ancho
 (Fuente: Elaboración propia)

- Para ingresar los estribos se debe ir a la opción “Sloping Abuments”; si se va ingresar 2 estribos ir a “Add” y dar un click. La cantidad se mostrará en la barra desplegable “#” e ingresar valores de estación y elevación.

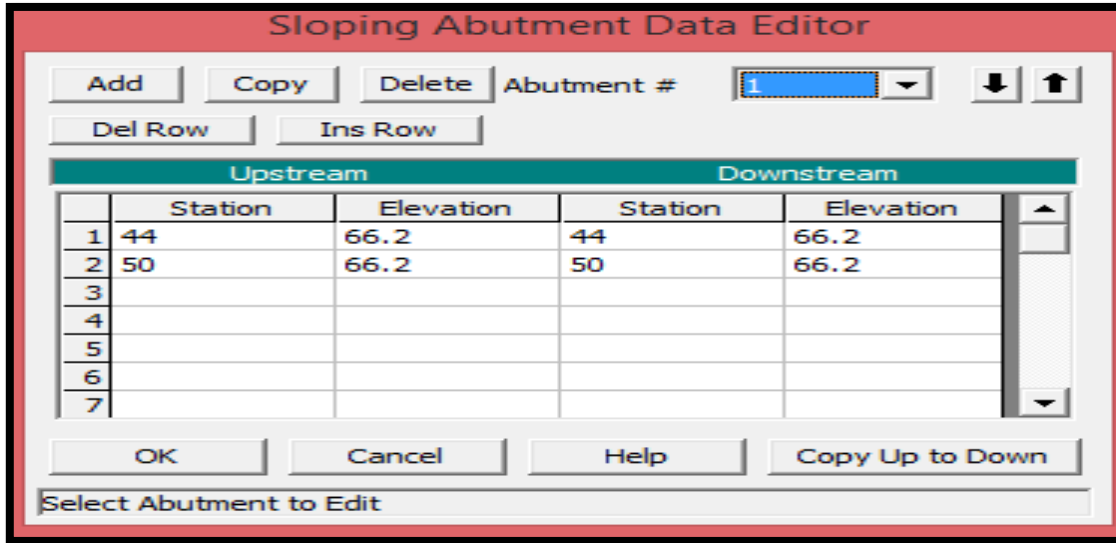


Figura 8. Ingreso de estribos.
 (Fuente: Elaboración propia)

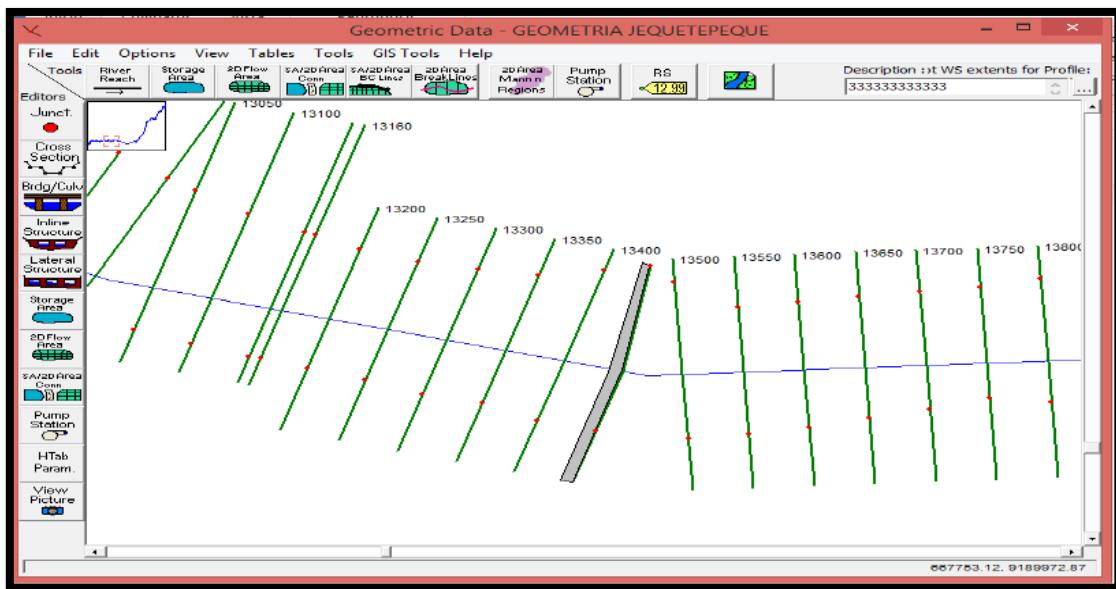


Figura 9. Vista del Puente en el perfil del rio Jequetepeque
 (Fuente: Elaboración propia)

- Se debe correr el Plan de análisis de flujo constante nuevamente en la opción “run”, “Steady Flow Analysis”.

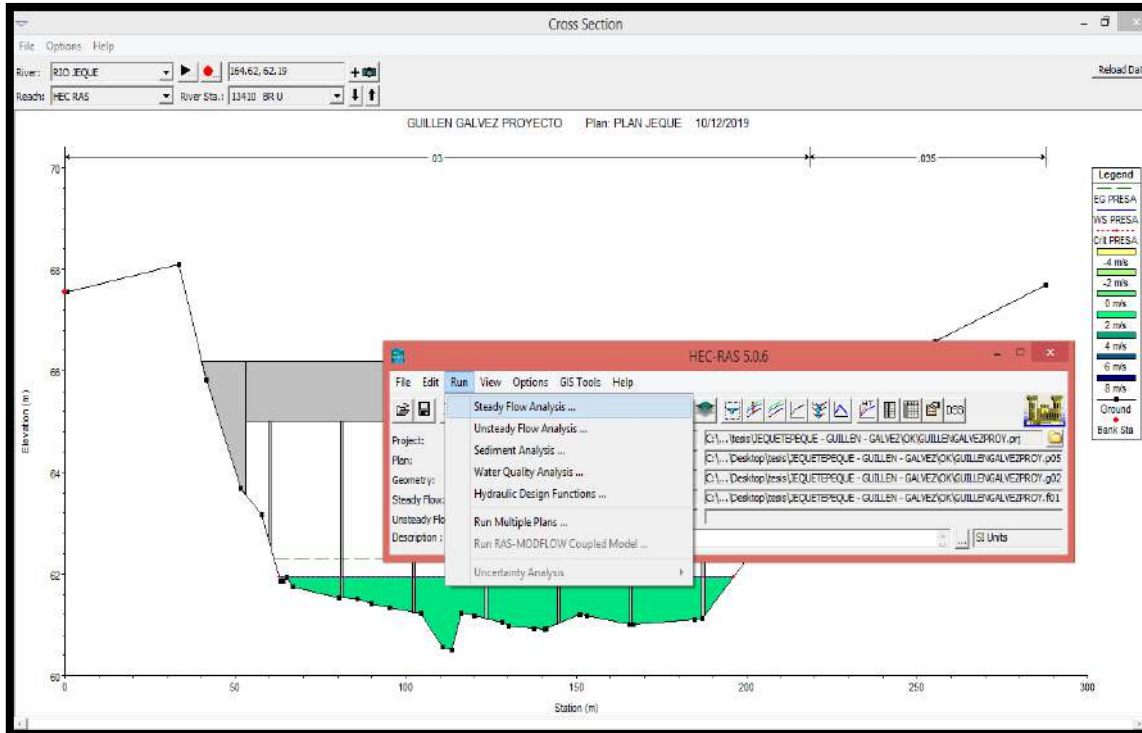


Figura 10. Análisis de flujo constante con el puente incorporado
(Fuente: Elaboración propia)

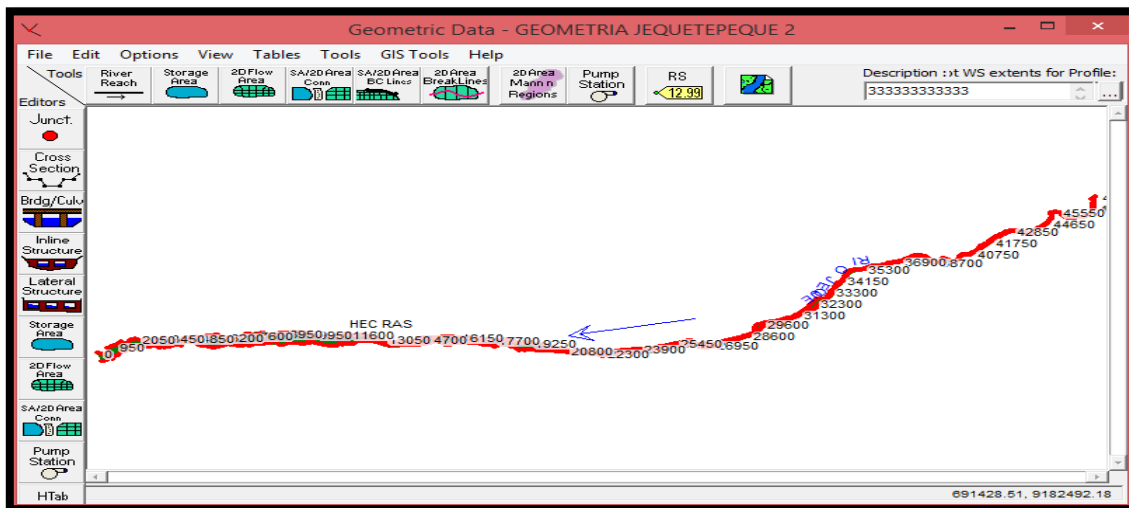
El programa entrega parámetros hidráulicos como niveles de tirante de agua, velocidades de flujo, Numero de Froude, Área hidráulica etc. que sirven para analizarse en los métodos de nivel de socavación.

ANEXO 3. Cálculo de Socavación con HEC RAS

La socavación en HEC-RAS tiene tres componentes: la socavación general (contraction), socavación en pilares (pier), y socavación en estribos (abutment). Las ecuaciones de socavación están basadas en los métodos de Ingeniería Hidráulica, (*Hydraulic Reference Manual 5.0*, febrero del 2016).

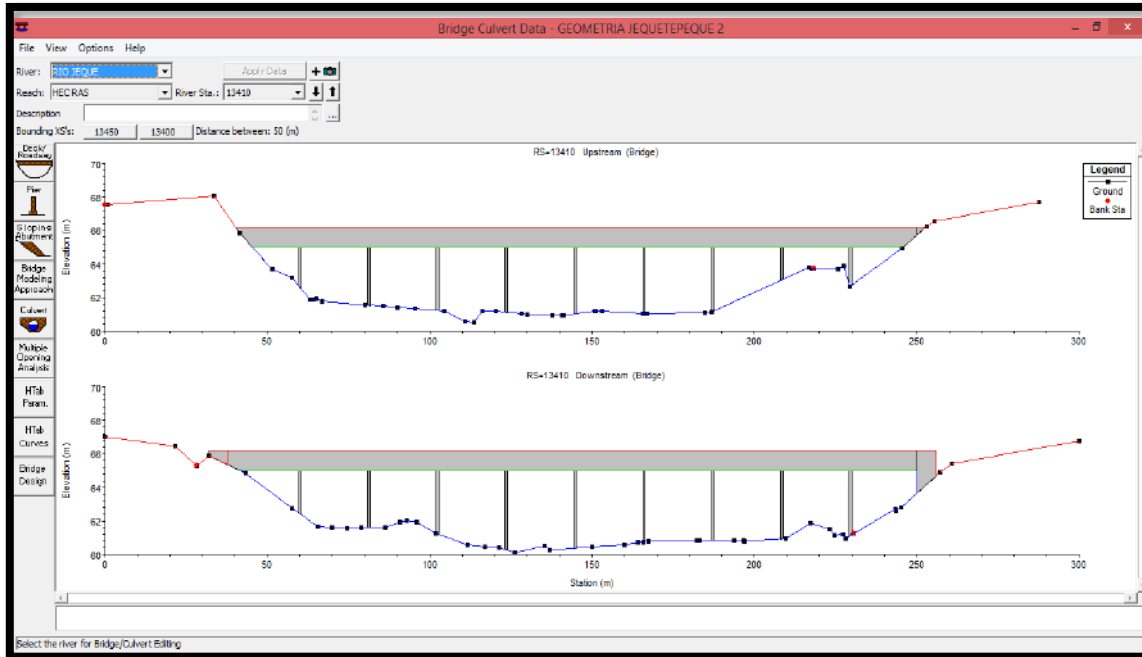
Nos enfocaremos en el capítulo 5, 10 y 12 del *Hydraulic Reference Manual 5.0*; el capítulo 5 *General Modeling Guidelines* nos da las pautas generales de modelamiento hidráulico, el capítulo 12 *Stable Channel Design Functions*, nos da alcances de diseño en canal estable y el capítulo 10 *Estimating Scourt at Bridges*, se centra en la socavación general, en pilares y estribos.

Datos geométricos



Sistema Esquemático de río

En el tramo del río Jequetepeque progresiva 13+410, introducimos el puente Libertad seleccionando la opción **Bridge/Culv** icono en el lado izquierdo del **Editor of Data Geometric**. Esto activa la opción **Puente/Culvert Editor Data**, la información del puente, *deck/roadway*, *piers*, *sloping abutments*, el puente tiene 212.00 m de longitud posee 9 pilares de 0.80m de ancho, 4.00 m de altura y de forma cuadrada.



Puente/Culvert Editor de Datos

Datos de flujo

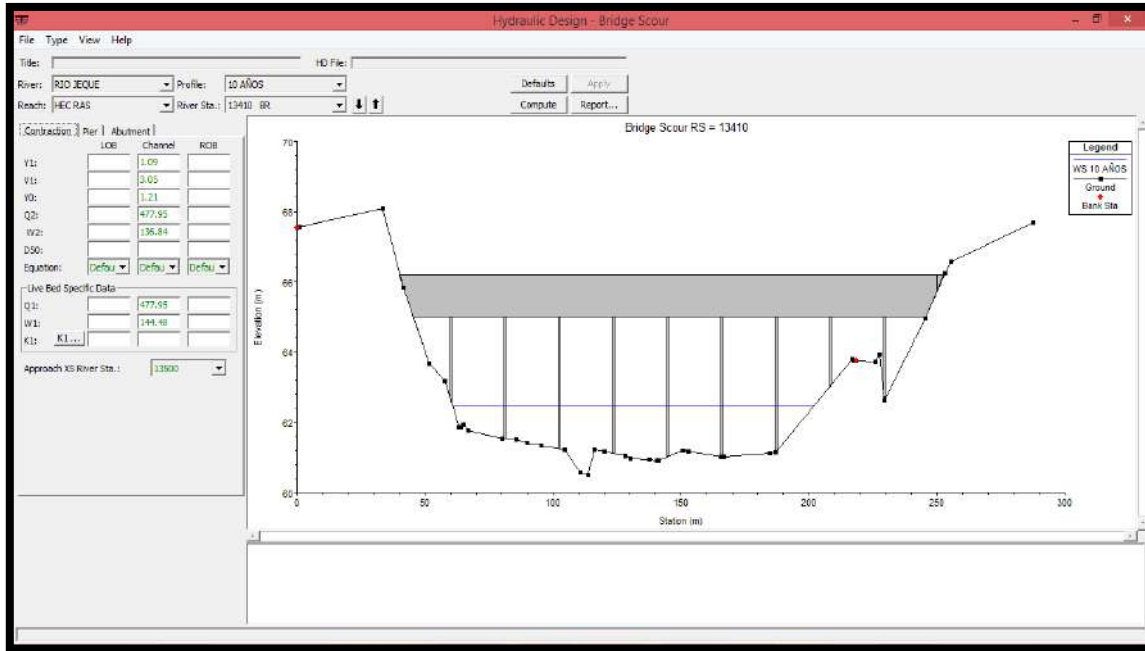
Para introducir los datos de flujo (*steady flow data*), de la ventana de programa principal **Edit** y seleccionamos la opción **Steady Flow Data**. Esto activa el **Steady Flow Data Editor** y un perfil con un valor de flujo para los periodos de retorno de 10, 50, 100, 300 y 500 años.

Análisis de Flujo constante

Después de introducir datos de geometría y flujo, se corre el programa. Esto activa el **Editor de Distribución del Flujo** mostrando la cantidad de secciones, en nuestro estudio contamos con 966 secciones productos de las secciones topográficas ingresados.

Diseño hidráulico

Después de realizar el análisis de flujo, se selecciona las opciones **Run**, **Hydraulic Design Functions**, **Functions**, y **Scour at Bridges**. Esto activa la opción **Bridge Scour Editor** como se muestra en la figura siguiente:



Diseño Hidráulico: editor de datos para socavación general por contracción

La parte superior del editor suele seleccionar el *Río*, *Estación del Río*, y número de perfil para el registrar análisis. El puente está localizado en la estación 13410.

Las demás pestañas están divididas en tres áreas: tabuladores de datos de entrada, un gráfico, y una ventana de resultados. Hay tres tabuladores, uno para cada uno de los tres tipos de socavación: general, en pilares, y estribos. Cuando se selecciona la opción **Computar**, los resultados se muestran gráficamente en la ventana de resultados.

Socavación general (*contraction*)

El usuario puede ingresar el D_{50} , la temperatura de agua para el factor K_1 , y seleccionar la ecuación para ser utilizada en el análisis.

Para nuestros cálculos, el D_{50} es de 12.351 mm, para el LOB, canal principal, y ROB.

D50:	<input type="text" value="12.35"/>	<input type="text" value="12.35"/>	<input type="text" value="12.35"/>
Equation:	<input type="button" value="Clear"/>	<input type="button" value="Clear"/>	<input type="button" value="Clear"/>

Para introducir la temperatura de agua al seleccionar **K1** se activa el **K1 Editor of Data**. Al introducir la temperatura el programa automáticamente determina que el valor de K1 valores 0.69, 0.64, y 0.59 para el LOB, canal principal, y ROB, respectivamente.

	LOB	Channel	ROB
S1 :	1.000000	0.004152	0.004152
V* (m/s):	5.17	0.33	0.13
Water Temp (C):		16.0	
w (m/s):	0.4724	0.4724	0.4724
V*/w :	10.944	0.699	0.275
K1 :	0.690	0.640	0.590

OK Cancel

EG slope in approach section

K1 Editor de Datos

Finalmente, al seleccionar la opción **Computar** en la parte superior del editor, los resultados aparecen en forma tabular en la esquina derecha del editor y también gráficamente. Como revisión de los resultados para la Socavación general, la velocidad crítica (V_c) para el LOB estuvo determinado en 4.17 m/s, por la ecuación de Laursen.

$$V_C = K_u y_1^{1/6} D_{50}^{1/3}$$

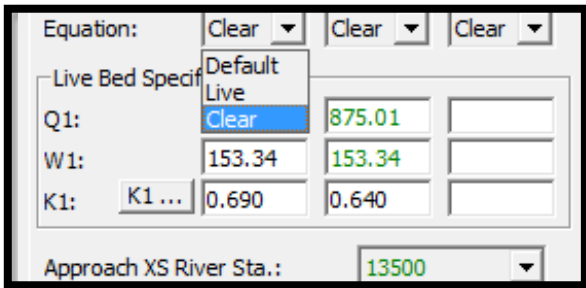
Donde:

V_C = Velocidad crítica por encima de qué material de tamaño D_{50} y más pequeño será transportado, (m / s)

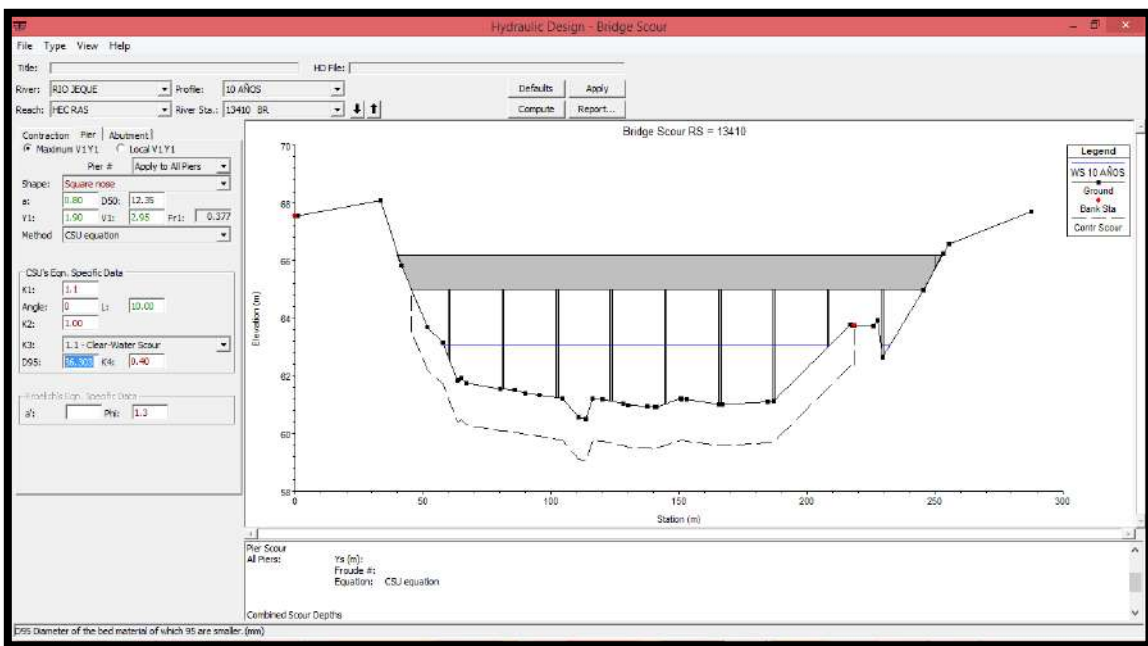
y_1 = Profundidad promedio de flujo en el canal principal o en el área del banco superior en la sección de aproximación, (m)

D_{50} = Tamaño de partícula del material del lecho en una mezcla de los cuales 50% son más pequeños, (m)

- Selección de ecuación o dejarlo en default

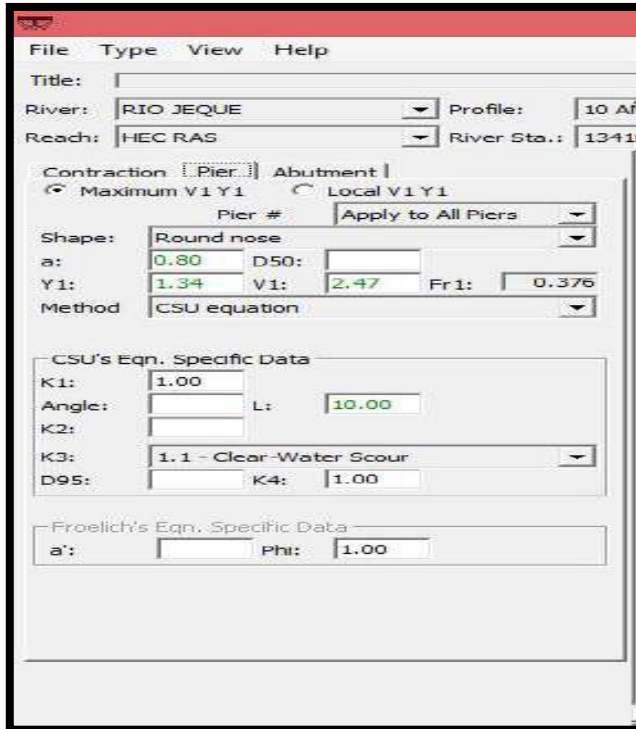


Finalmente, la socavación general (Y_s) se determinó en 2.78 y 2.78 metros para el LOB y canal principal, respectivamente. Como nota final, se tiene una socavación insignificante de 0.03m para el ROB porque el Estribo derecho extendió el canal principal. Esta socavación es mostrada en la exhibición gráfica.



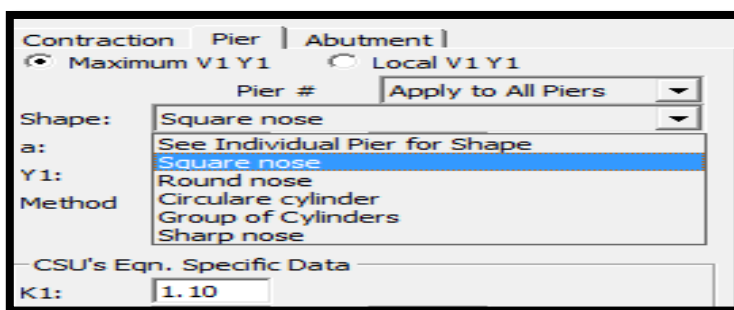
Socavación en pilares

Seleccionar la pestaña **Pier**, el modelo tiene la opción de utilizar la ecuación de CSU o de Froehlich. El usuario puede reemplazar cualquiera de estos valores en el campo apropiado.

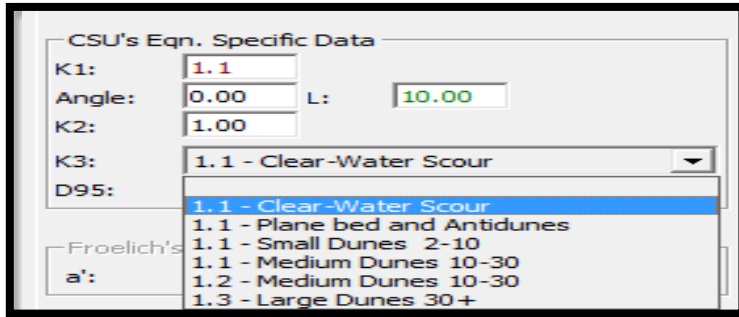


Diseño Hidráulico: editor de datos para socavación local en pilares

En esta investigación, el $V1$ y $Y1$ estuvieron seleccionados para informar al programa que debe utilizar las profundidad y valores de velocidades independiente para cada estribo. el método seleccionado por defecto es el “CSU equation.” Luego, la Forma de los *piers* estuvo seleccionado como “nariz cuadrada” puesto que el $K1$ tiene valor de 1.10.



El D_{50} es de 12.351 mm, el ángulo 0 grados puesto que el valor de $K2$ es 1.00. Luego, la condición de cama se selecciona como “sección de agua clara” (este conjunto $K3 = 1.1$)



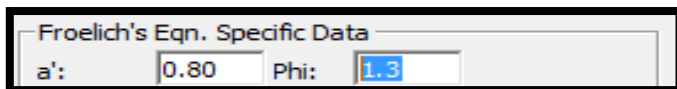
CSU's Eqn. Specific Data
 K1: 1.1
 Angle: 0.00 L: 10.00
 K2: 1.00
 K3: 1.1 - Clear-Water Scour
 D95: 1.1 - Clear-Water Scour
 1.1 - Plane bed and Antidunes
 1.1 - Small Dunes 2-10
 1.1 - Medium Dunes 10-30
 1.2 - Medium Dunes 10-30
 1.3 - Large Dunes 30+

El D₉₅ es 36.303mm.



D95: 36.30 K4: 0.40

- Factor de seguridad por la forma del pilar para la ecuación de Froelich, es añadido automáticamente.



Froelich's Eqn. Specific Data
 a': 0.80 Phi: 1.3

Esto completa la entrada de datos requeridos, entonces al **Computar**, los resultados se muestran gráficamente. El *pier* registra una profundidad de socavacion (Ys) para cada pilar, como ejemplo, la profundidad para el pilar número 3 es de 1.12m.

Socavación en Estribos

Para la socavación en estribos el programa puede utilizar la ecuación de Froehlich o la ecuación de Hire. Las variables para las ecuaciones aparecen en el lado izquierdo del tabulador y sus valores son obtenidos de los análisis hidráulicos.

Se tiene que introducir la forma del estribo, el ángulo de ataque de la corriente, y seleccionar la ecuación para ser utilizada. Para nuestra investigación, se seleccionó (K1) “Nariz cuadrada”.

Verticalidad del estribo

K1:	1.00 - Vertical abutment
Skew (deg):	1.00 - Vertical abutment
K2:	0.82 - Vert. with wing walls
Equation:	0.55 - Spill-through abutment
	HIRE

El ángulo de ataque de la corriente es 90 grados dando un K2 de 1.00

Angulo de ataque del flujo.

Skew (deg):	90.00	90.00
K2:	1.00	1.00

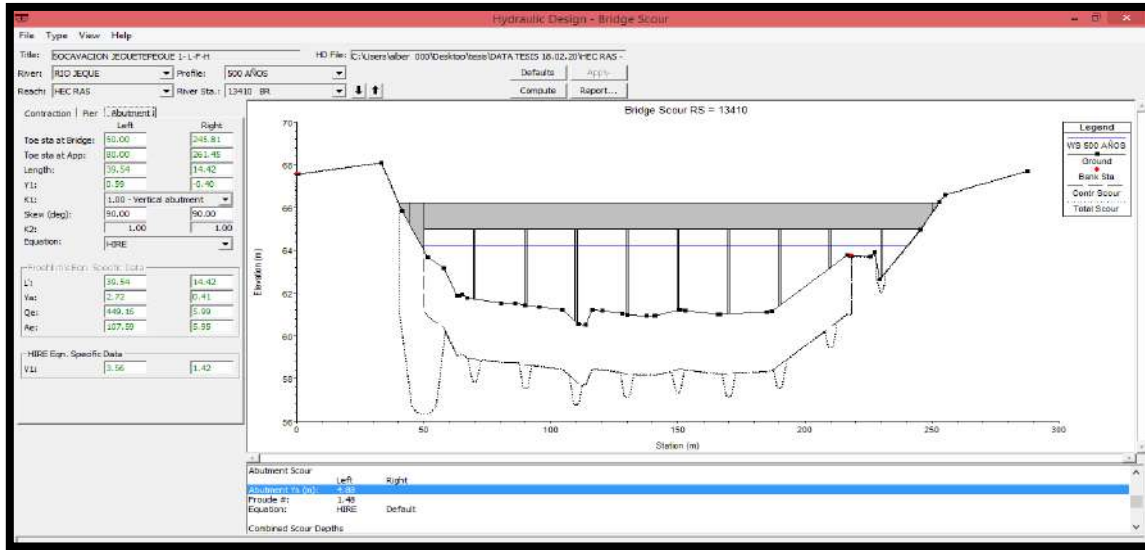
Para ambos pilares el izquierdo y derecho. Finalmente, la Ecuación se seleccionó en “Default.” Con esta selección, el programa calculará el L/y_1 para determinar que ecuación utilizará.

Elección de ecuación o dejarlo en default.

Equation:	HIRE
	Default
	Froehlich
	HIRE

El modelamiento está referido al capítulo 10 *Estimating Scourt at Bridges* del ***Hydraulic Reference Manual 5.0.***

Los resultados se muestran gráficamente, se usó la ecuación de Hire y la socavación es de 4.88m y 0m, respectivamente para el estribo izquierdo y derecho. Además, la tabla de resumen mostró los valores del Froude que se utilizaron en el cálculo.

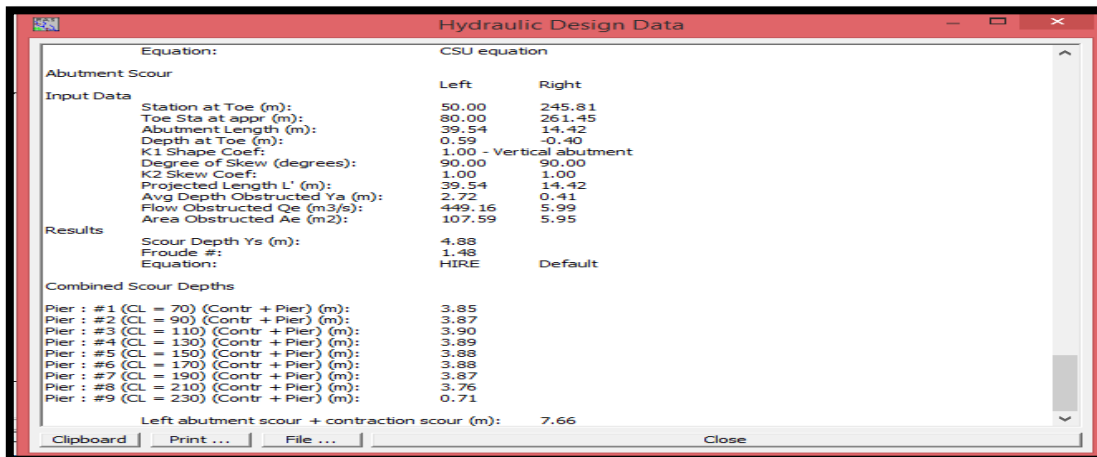


Diseño Hidráulico: editor de datos para socavación local en estribos

Socavación Total

La socavación total del puente es una combinación de la socavación general (contraction scour) y local (pier o abutment). Se puede visualizar la tabla de resumen.

Esta tabla se obtiene seleccionando la opción *Copy table to Clipboard*.



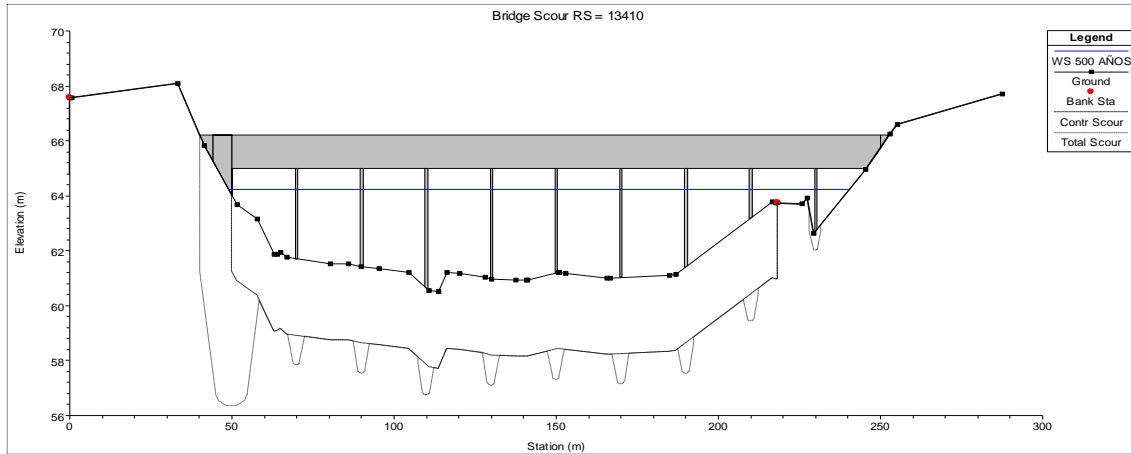
Equation:		CSU equation	
Abutment Scour			
Input Data		Left	Right
Station at Toe (m):		50.00	245.81
Toe Sta at appr (m):		80.00	261.45
Abutment Length (m):		39.54	14.42
Depth at Toe (m):		0.59	-0.40
K1 Shape Coef:		1.00 - Vertical abutment	
Degree of Skew (degrees):		90.00	90.00
K2 Skew Coef:		1.00	1.00
Projected Length L' (m):		39.54	14.42
Avg Depth Obstructed Ya (m):		2.72	0.41
Flow Obstructed Qe (m3/s):		449.16	5.99
Area Obstructed Ae (m2):		107.59	5.95
Results			
Scour Depth Ys (m):		4.88	
Froude #:		1.48	
Equation:		HIRE	Default
Combined Scour Depths			
Pier : #1 (CL = 70) (Contr + Pier) (m):		3.85	
Pier : #2 (CL = 90) (Contr + Pier) (m):		3.87	
Pier : #3 (CL = 110) (Contr + Pier) (m):		3.90	
Pier : #4 (CL = 130) (Contr + Pier) (m):		3.89	
Pier : #5 (CL = 150) (Contr + Pier) (m):		3.88	
Pier : #6 (CL = 170) (Contr + Pier) (m):		3.88	
Pier : #7 (CL = 190) (Contr + Pier) (m):		3.87	
Pier : #8 (CL = 210) (Contr + Pier) (m):		3.76	
Pier : #9 (CL = 230) (Contr + Pier) (m):		0.71	
Left abutment scour + contraction scour (m):		7.66	

Resumen de los resultados para socavación en el puente

Los primeros tres resultados de la tabla muestran la socavación general, en pilares, y en estribos, en la parte final de la tabla se muestra la combinación de profundidades. Para este caso, la socavación local en pilares y la socavación general es de 7.66 metros (= 4.88 + 2.78) para el estribo izquierdo y 0.03 metros (= 0 + 0.03)

para el estribo derecho. Además, el total de socavación en el pilar numero 3 es de 3.9 m (1.12+2.78).

Finalmente, la socavación se muestra gráficamente, la línea gruesa representa la socavación general y la línea delgada retrata la socavación total. Este gráfico se obtiene seleccionado *Copy Plot to Clipboard* del menú.



Cálculo de la profundidad de Socavación Total en HEC RAS

Resumen

Para computar la socavación en los puentes el usuario primero tiene que desarrollar un modelo del sistema de río para determinar los parámetros hidráulicos. Entonces, el programa automáticamente incorporará los resultados hidráulicos al *Bridge Scour Editor*. El usuario puede ajustar cualquiera de los valores que el programa ha seleccionado. Para cada registro de socavación, el modelador está preparado para introducir sólo una cantidad mínima de datos adicionales. Los resultados de socavación son mostrados tabulada y gráficamente. Finalmente, el usuario puede seleccionar *The Detail Report* del *Bridge Scour Editor* para obtener una tabla que muestra un listado con los datos de entrada utilizados y los resultados del análisis.

ANEXO 4. Estudio Hidrológico

Se obtuvieron Las características geomorfológicas de la cuenca Jequetepeque, mediante la información de las cartas nacionales del Instituto Geográfico Nacional del Perú.

1. Procesamiento geográfico de la cuenca mediante ArcGIS

- Descargamos la información necesaria, en formatos Shapefile (Shp), tales como:
 - Cartas Nacionales, la cuenca Jequetepeque está delimitada en los cuadrantes 14e, 14f, 15d, 15e, 15f y 15g.
 - Cuencas Hidrográficas.
 - Limites departamentales, provinciales y distritales.
 - Red vial de departamental, provincial y distrital, entre otros.

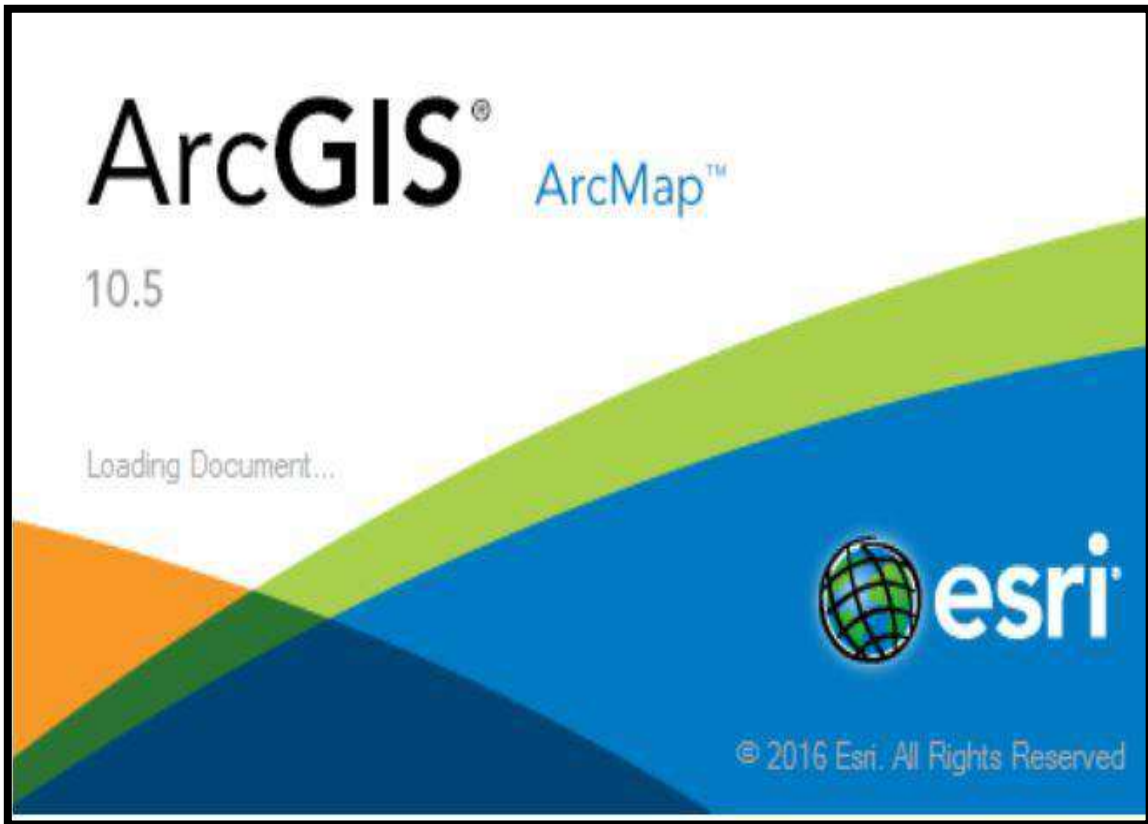


Figura 1. Ventana principal de ArcGIS

2. Cómo utilizar las Herramientas de Geoprocésamiento en ArcGIS

Introducción.

Geoprocésamiento es el conjunto de procedimientos para establecer relaciones y análisis entre dos o más capas independientemente de su naturaleza.

En ArcMap, las herramientas de ArcToolBox, son las que otorgan a la aplicación una infinidad de herramientas para los análisis geográficos. A continuación, las principales herramientas:

- Dissolve
- Merge
- Clip
- Intersect
- Unión
- Buffer

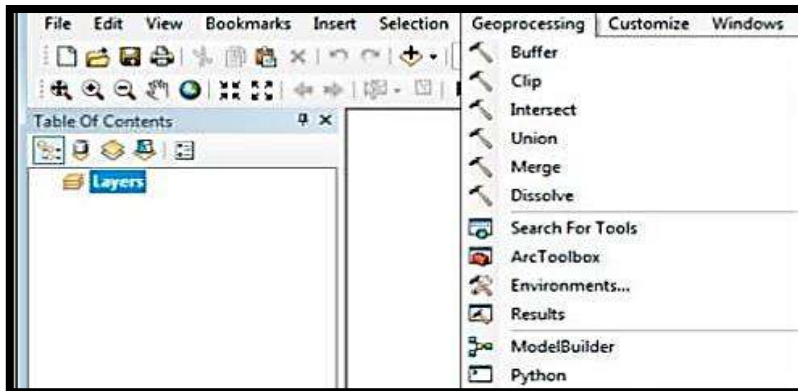
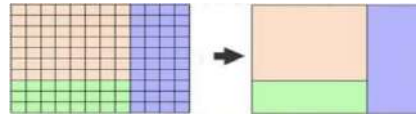


Figura 2. Herramientas de Geoprocessing
(Fuente: Elaboración propia)

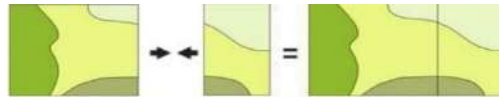
2.1. Dissolve.

Mediante esta operación podremos disolver los límites entre elementos y unificar entidades de una misma capa siempre y cuando presenten un atributo, o valor común, dentro de su tabla de atributos. Permiten simplificar los elementos visuales de nuestra cartografía, así como los registros de la tabla de atributos unificando elementos que presenten iguales propiedades.



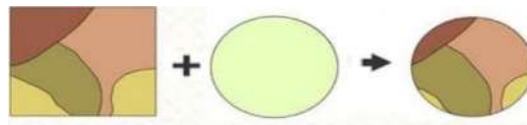
2.2. Merge.

En la opción Merge, las entidades espaciales de dos o más capas, se unen para generar una única capa resultante. Gracias a esta función podemos unificar diferentes capas cartográficas monotemáticas en una sola.



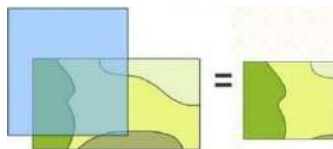
2.3. Clip.

Bajo esta sencilla herramienta, una de las capas sirve como silueta para recortar a las entidades de otra capa y otorgarle la misma forma espacial. Se obtiene, como resultado, una capa cuyos elementos siguen los límites de la capa clipeante.



2.4. Intersect.

Por medio de esta herramienta, dos capas se cruzan obteniendo, como resultado, los límites comunes que comparten las entidades geográficas de cada capa.



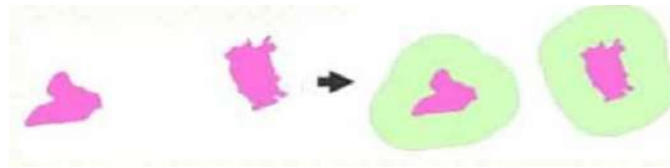
2.5. Unión.

Por medio de esta opción conseguiremos unir, íntegramente, los límites de dos capas obteniendo, como resultado, una sola capa cuyas entidades presentan una información proveniente de la combinación de ambas capas.



2.6. Buffer

La opción Buffer es una sencilla herramienta encargada de establecer análisis de proximidad. También conocidos como **Zonas de Influencia** son una de las aplicaciones más comunes y utilizadas de forma continua en los Sistemas de Información Geográfica ya que permiten obtener nueva información gráfica para determinar qué cosas se encuentran en un área de influencia determinada.



3. Procedimiento

- Por intermedio de la Herramienta *Catalog* se ingresa los archivos Shapefile de información de cuencas hidrográficas del Perú.

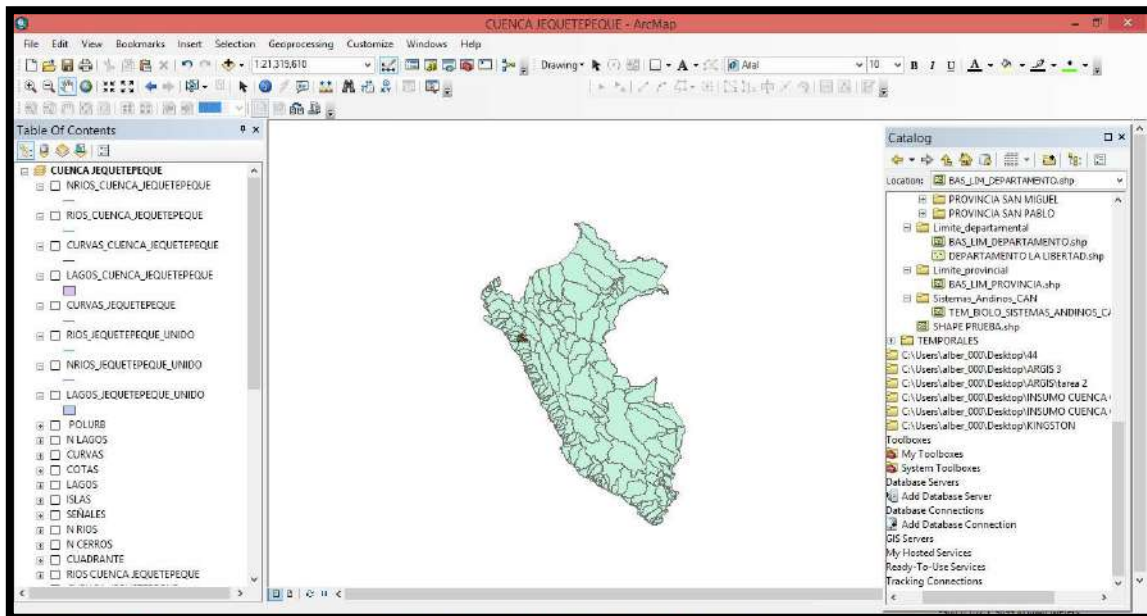


Figura 3. Cuencas Hidrográficas del Perú.
(Fuente: Elaboración propia)

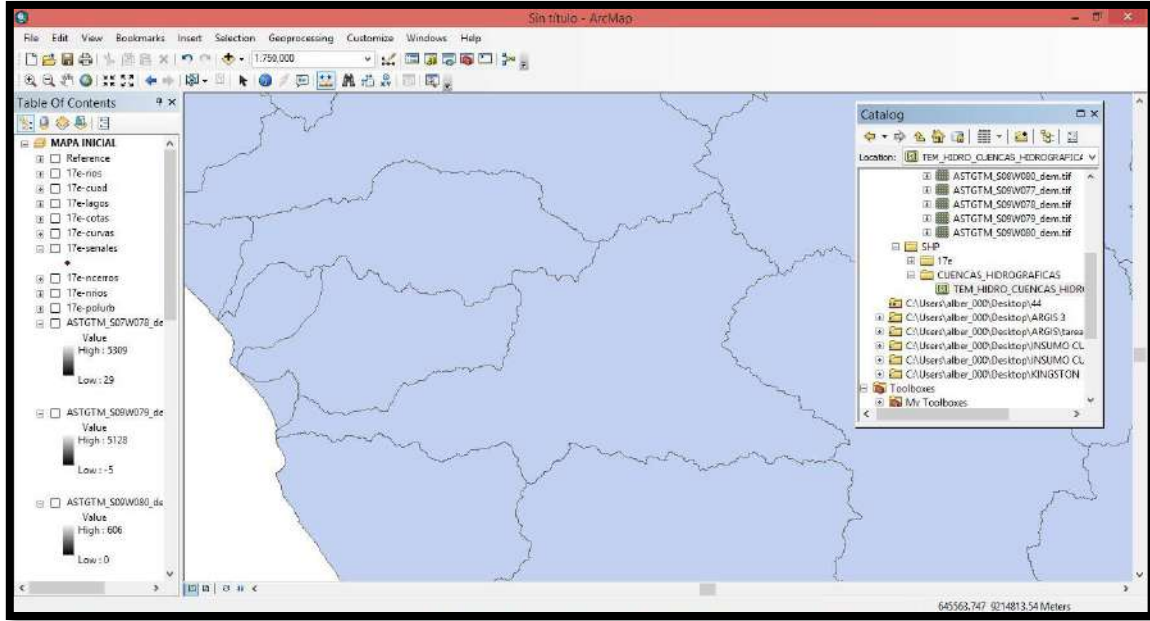


Figura 4. Reconocimiento de Cuenca Jequetepeque (Fuente: Elaboración propia)

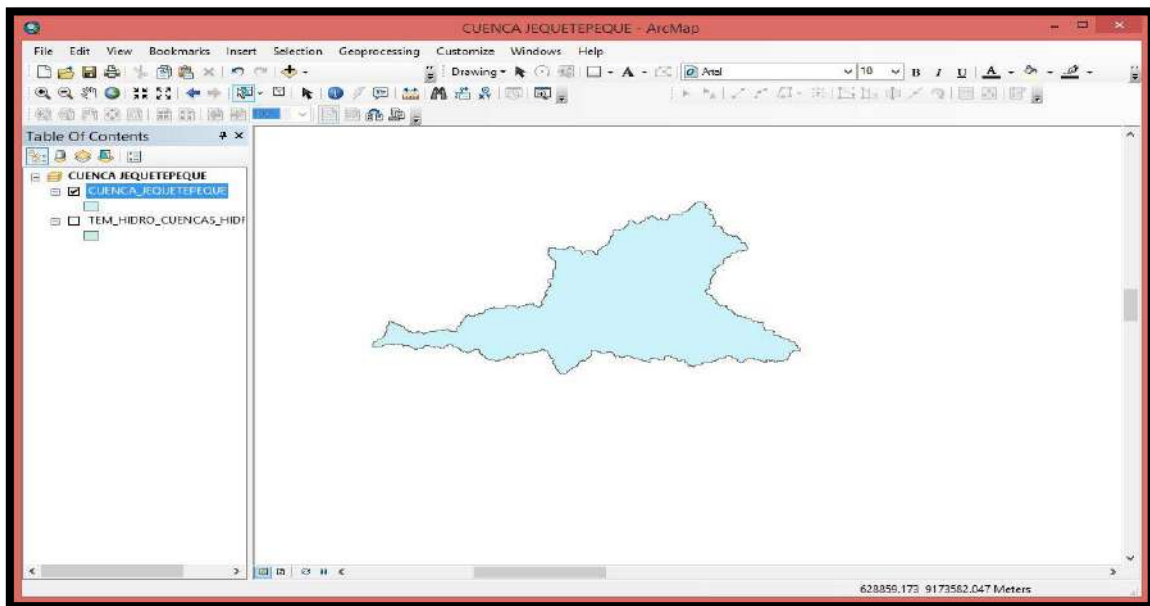


Figura 5. Cuenca Jequetepeque (Fuente: Elaboración propia)

- Se ingresa datos vectoriales de ríos, lagos, curvas de nivel, ciudades, nevados, etc.

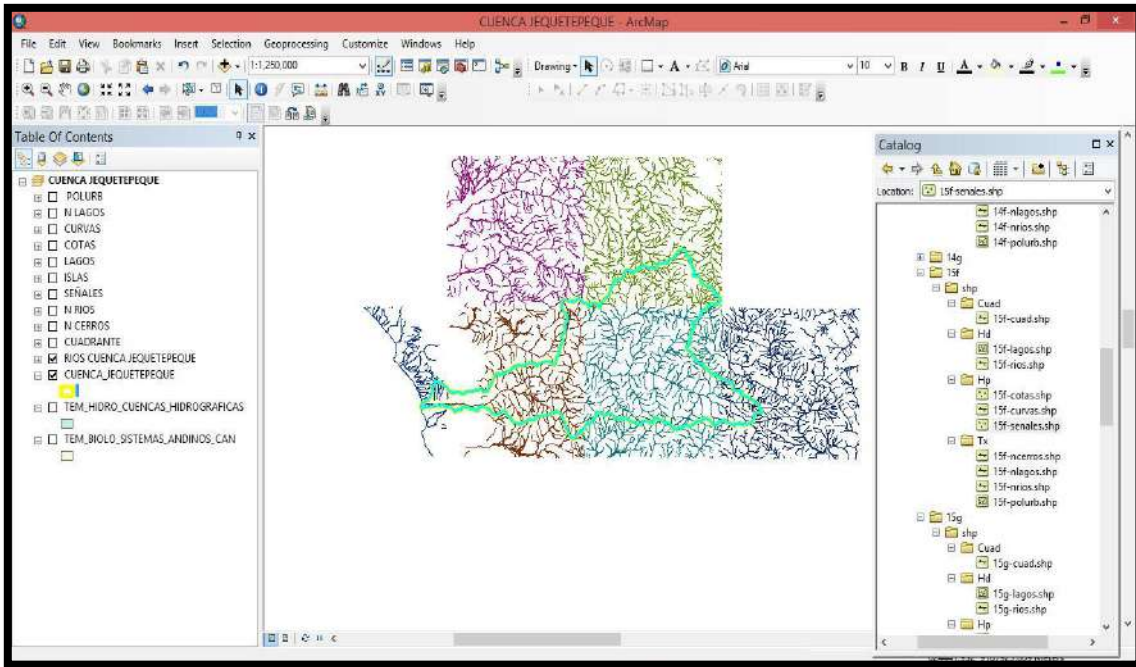


Figura 6. Gestión de Datos Vectoriales
Fuente (Elaboración propia)

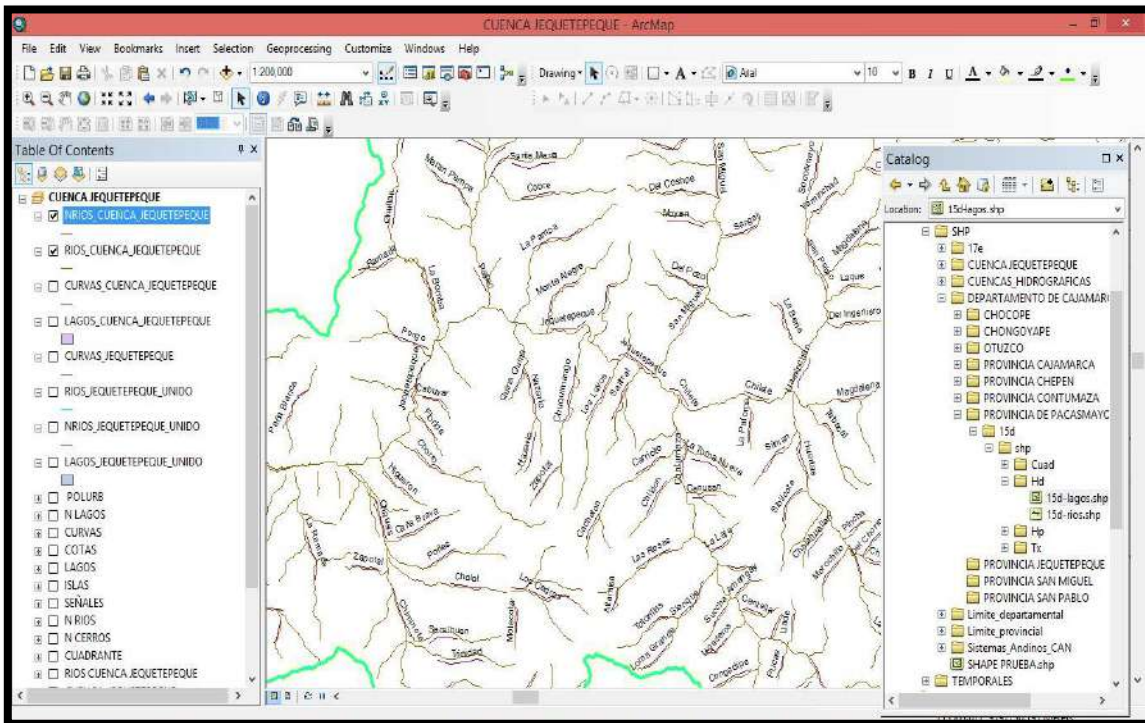


Figura 7. Rios de la cuenca Jequetepeque
(Fuente: Elaboración propia)

- La herramienta *Merge* Nos permite unir únicamente los datos que nos interesan dentro de la cuenca.

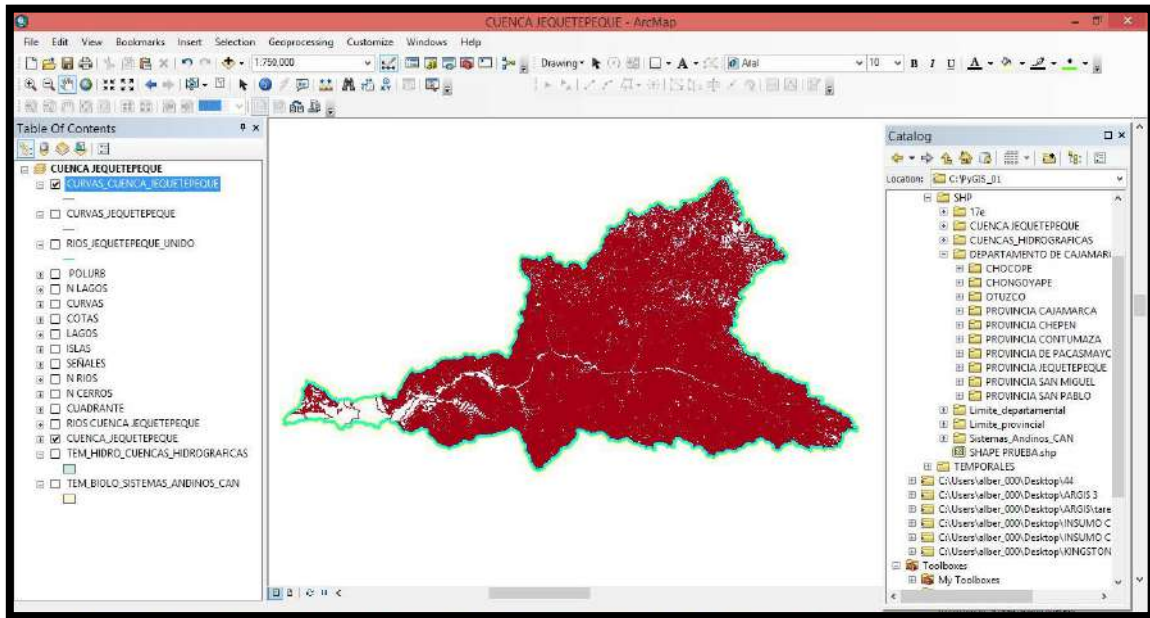


Figura 8. Curvas de nivel de la cuenca Jequetepeque
(Fuente: Elaboración propia)

3.1 Cálculo de Área y Perímetro

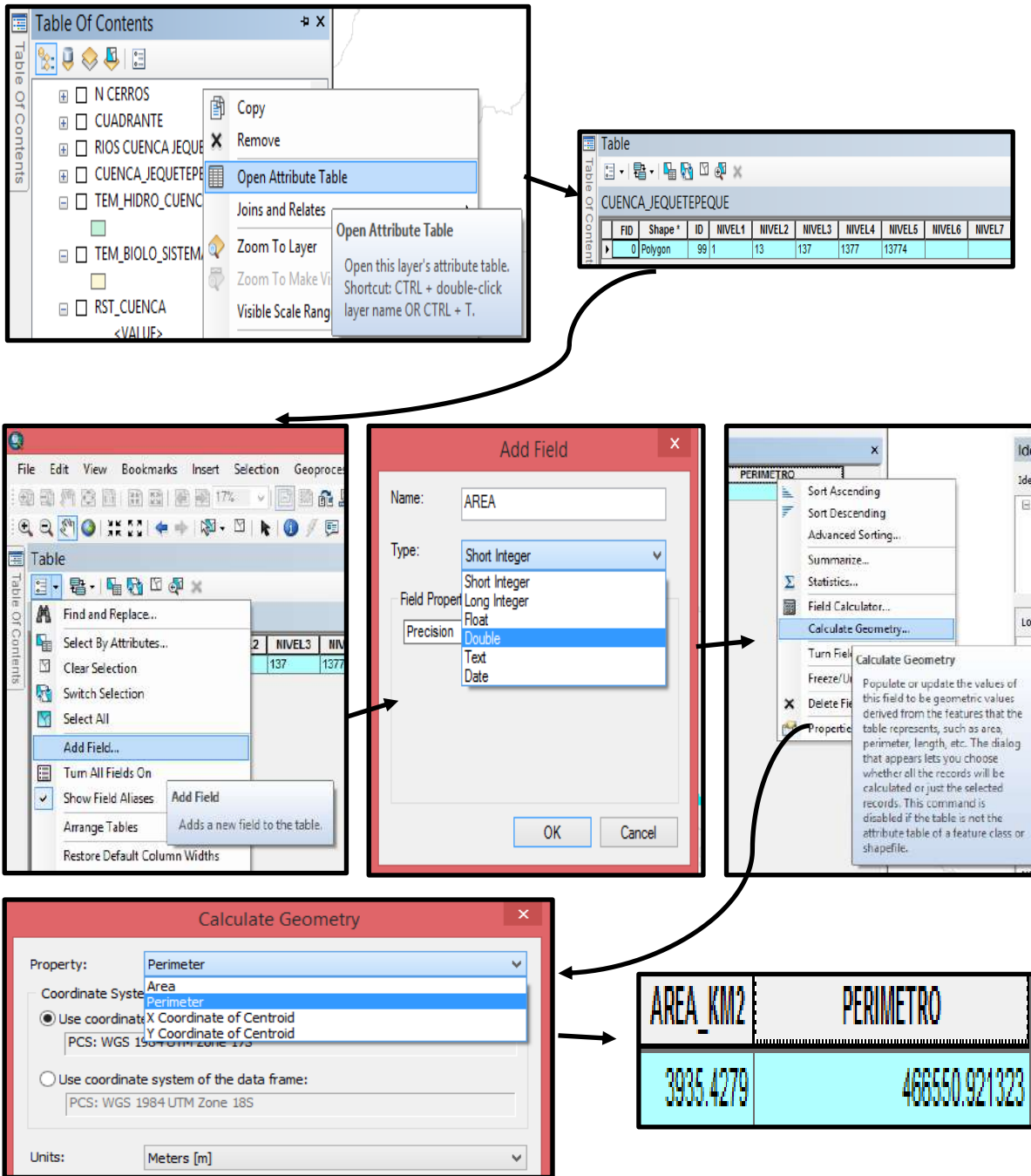
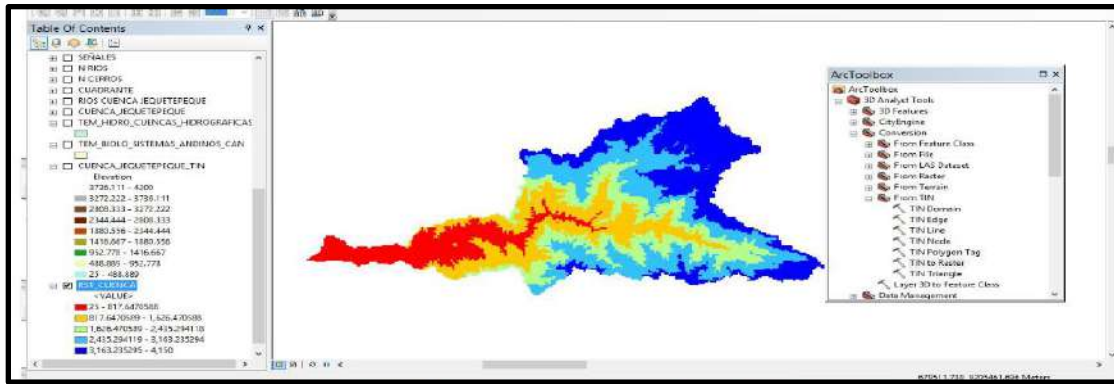


Figura 9. Cálculo de Área y perímetro de Cuenca (Fuente: Elaboración propia)

Área = 3935.4279 km²

Perímetro= 466.55092 km

3.2. Cálculo de cota máxima y mínima



FID	Shape *	Z	CODIGO
1978	Polyline	25	0956
1979	Polyline	25	0956
91	Polyline	50	1056
92	Polyline	50	1056
93	Polyline	50	1056
94	Polyline	50	1056
433	Polyline	50	1056
1959	Polyline	50	0956
1960	Polyline	50	0956
1975	Polyline	50	0956
1976	Polyline	50	0956
1984	Polyline	50	0956
1981	Polyline	75	0956
606	Polyline	100	1056
610	Polyline	100	1056
1977	Polyline	100	0956
1980	Polyline	125	0956
90	Polyline	150	1056
95	Polyline	150	1056
96	Polyline	150	1056
97	Polyline	150	1056
478	Polyline	150	1056
479	Polyline	150	1056
609	Polyline	150	1056
1967	Polyline	150	0956
1974	Polyline	150	0956
480	Polyline	175	1056
8	Polyline	200	1056
46	Polyline	200	1056

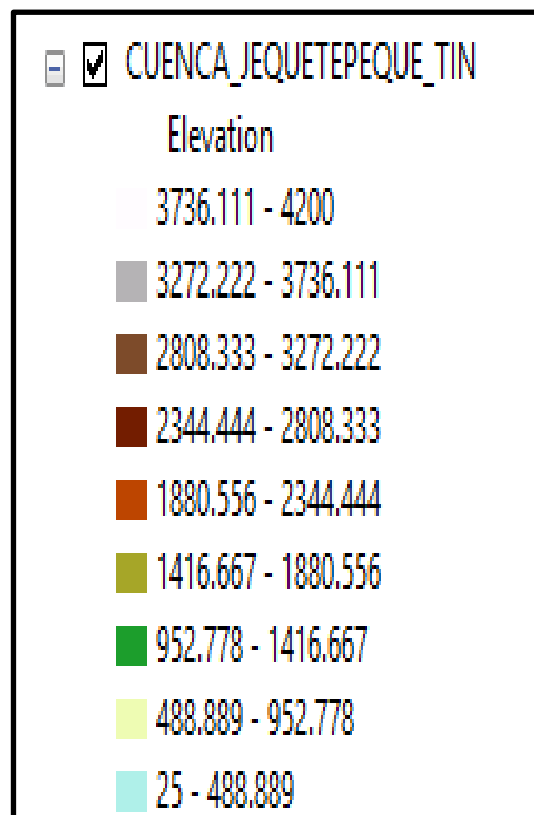


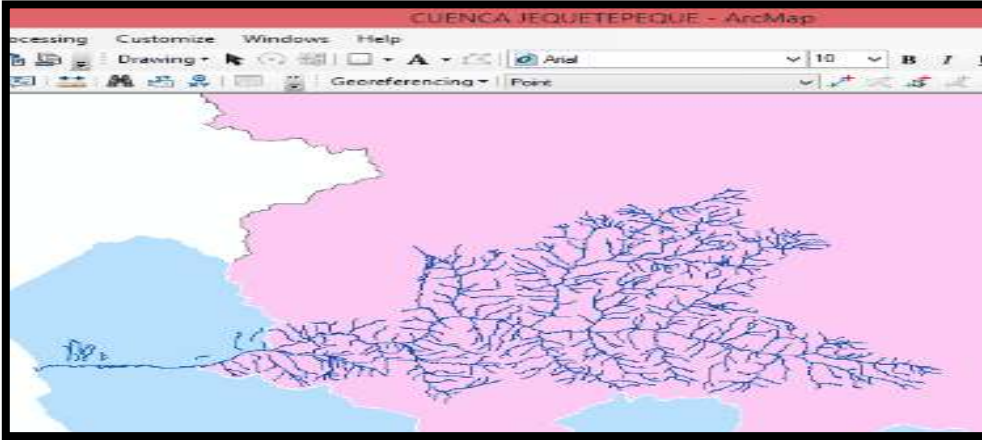
Figura 10. Cálculo de cotas máxima y mínima.
(Fuente: Elaboración propia)

Cota máxima= 4201 msnm

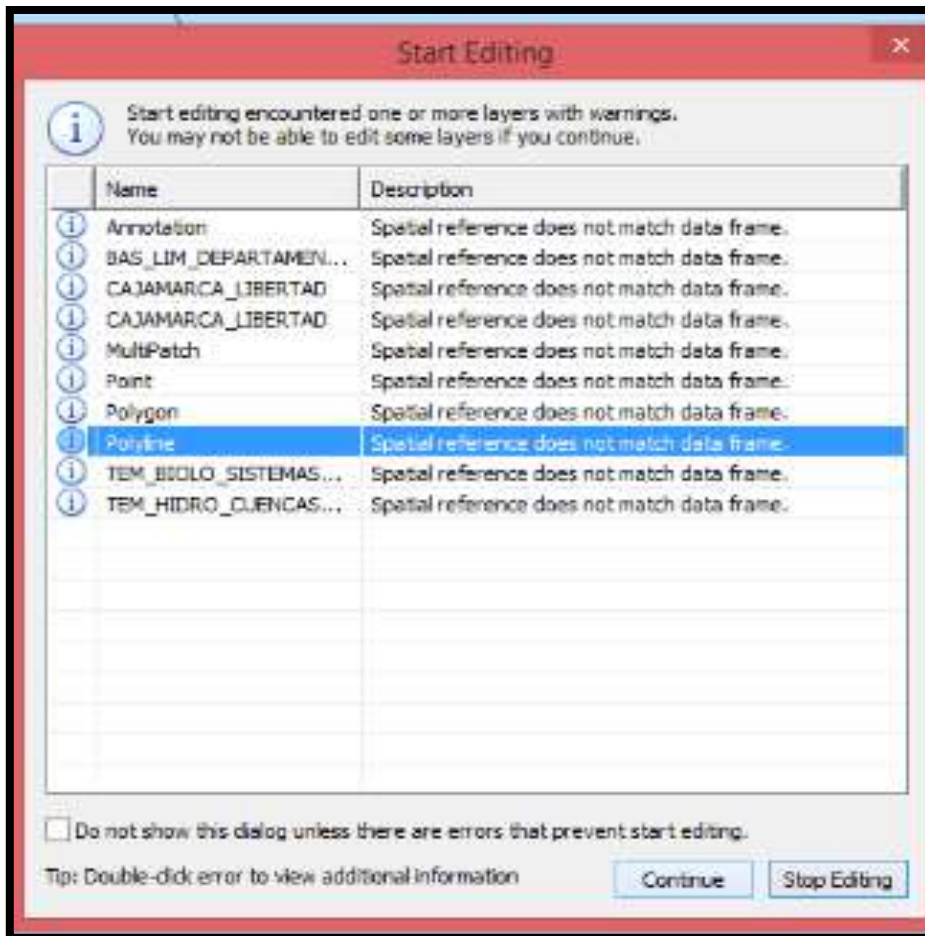
Cota mínima= 0 msnm

3.3. Cálculo de cauce principal

1. Se filtra la información vectorial solo de los ríos.



2. Luego se inicia el *editor* para eliminar los ríos secundarios.



3. Luego se elimina los ríos secundarios y nos quedamos con los que podría reunir las condiciones de cauce principal, este es el que irriga mayor superficie.

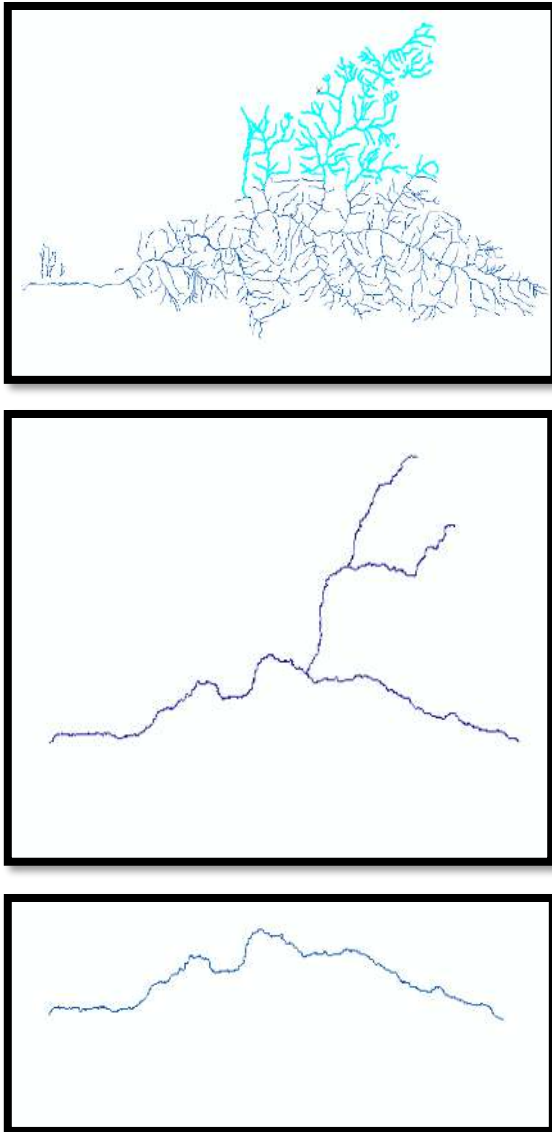
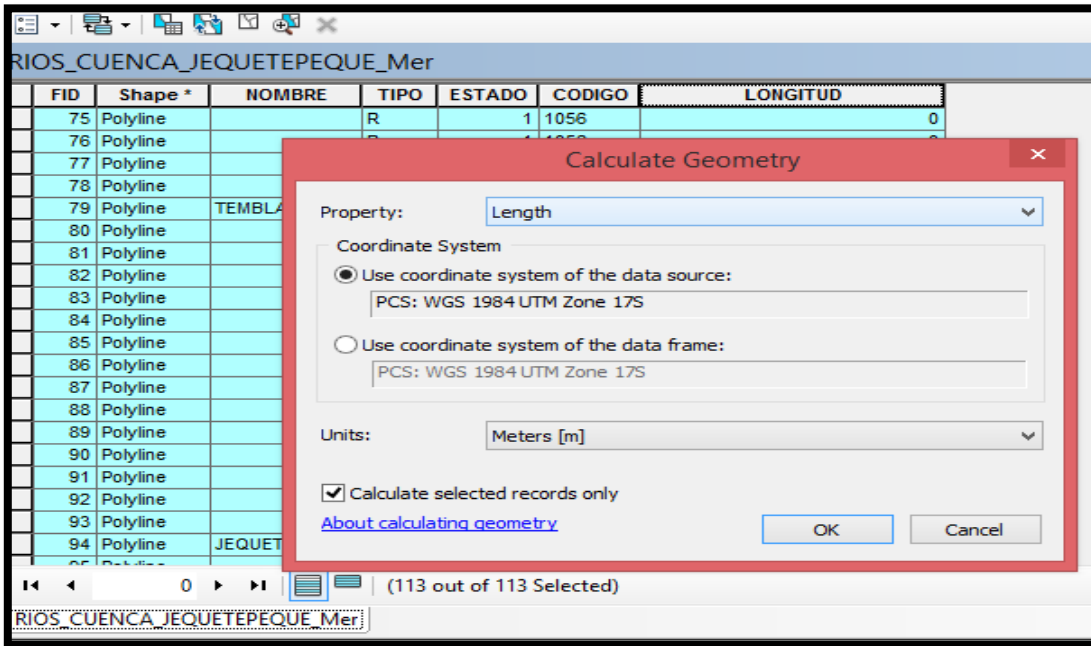


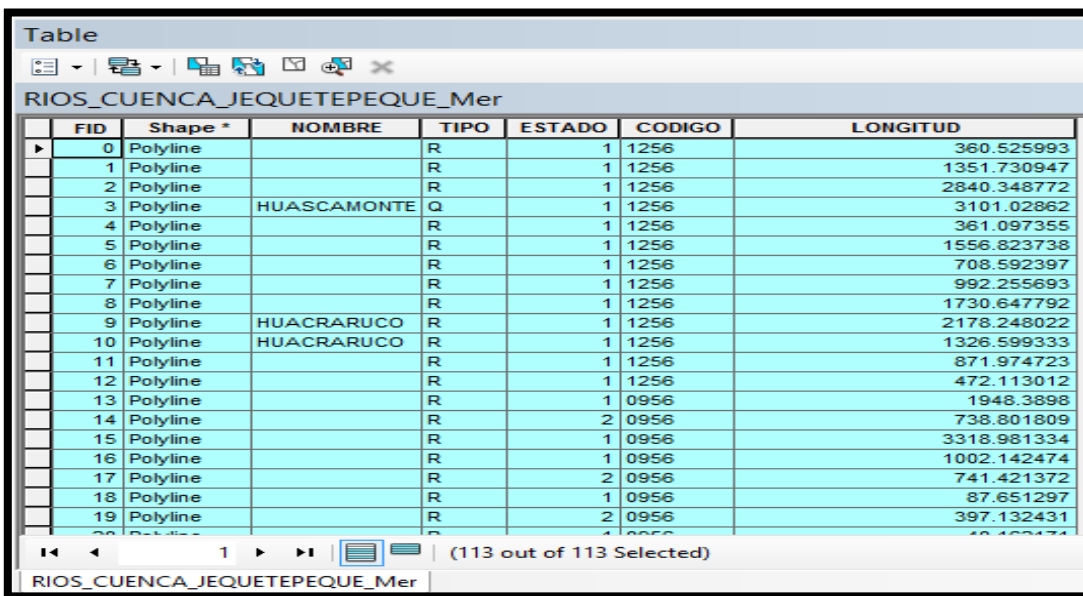
Figura 11. Posibles cauces principales

(Fuente: Elaboración propia)

4. El proceso final consiste en medir independientemente cada cauce, para esto se unen los ríos que conforman un cauce con la herramienta *Merge*, se finaliza el editor y se revisa la información de longitud de cauce en las tablas de atributos de cada cauce independientemente.



5. Cauce San José – San Marcos



The screenshot shows a table titled 'RIOS_CUENCA_JEQUETEPEQUE_Mer' with columns 'FID', 'Shape *', 'NOMBRE', 'TIPO', 'ESTADO', 'CODIGO', and 'LONGITUD'. The table contains 20 rows of data, each representing a river segment with its corresponding length in meters.

FID	Shape *	NOMBRE	TIPO	ESTADO	CODIGO	LONGITUD
0	Polyline		R	1	1256	360.525993
1	Polyline		R	1	1256	1351.730947
2	Polyline		R	1	1256	2840.348772
3	Polyline	HUASCAMONTE	Q	1	1256	3101.02862
4	Polyline		R	1	1256	361.097355
5	Polyline		R	1	1256	1556.823738
6	Polyline		R	1	1256	708.592397
7	Polyline		R	1	1256	992.255693
8	Polyline		R	1	1256	1730.647792
9	Polyline	HUACRARUCO	R	1	1256	2178.248022
10	Polyline	HUACRARUCO	R	1	1256	1326.599333
11	Polyline		R	1	1256	871.974723
12	Polyline		R	1	1256	472.113012
13	Polyline		R	1	0956	1948.3898
14	Polyline		R	2	0956	738.801809
15	Polyline		R	1	0956	3318.981334
16	Polyline		R	1	0956	1002.142474
17	Polyline		R	2	0956	741.421372
18	Polyline		R	1	0956	87.651297
19	Polyline		R	2	0956	397.132431
20	Polyline		R	1	0956	40.400174

The status bar at the bottom indicates '(113 out of 113 Selected)'.

Figura 12. Longitudes de los ríos que conforman el cauce San José – San Marcos (Fuente: Elaboración propia)

FID	NOMBRE	TIPO	ESTADO	CODIGO	LONGITUD
0	, R, 1, 1256,	360.525992970000000			
1	, R, 1, 1256,	1351.730946570000000			
2	, R, 1, 1256,	2840.348771819999900			
3	HUASCAMONTE, Q, 1, 1256,	3101.028620430000000			
4	, R, 1, 1256,	61.097355252000000			
5	, R, 1, 1256,	556.823738130000000			
6	, R, 1, 1256,	708.592397463999990			
7	, R, 1, 1256,	92.255692833000010			
8	, R, 1, 1256,	730.647791509999900			
9	HUACRARUCO, R, 1, 1256,	2178.248021700000200			
10	HUACRARUCO, R, 1, 1256,	1326.599332580000000			
11	, R, 1, 1256,	871.974722861000030			
12	, R, 1, 1256,	472.113011625000010			
13	, R, 1, 0956,	1948.389800019999900			
14	, R, 2, 0956,	738.801808971000010			
15	, R, 1, 0956,	3318.981334030000200			

Asistente para convertir texto en columnas - paso 1 de 3

El asistente estima que sus datos son Delimitados.
Si esto es correcto, elija Siguiente, o bien elija el tipo de datos que mejor los describa.

Tipo de los datos originales

Elija el tipo de archivo que describa los datos con mayor precisión:

Delimitados - Caracteres como comas o tabulaciones separan campos.
 De ancho fijo - Los campos están alineados en columnas con espacios entre uno y otro.

Vista previa de los datos seleccionados:

2	FID, NOMBRE, TIPO, ESTADO, CODIGO, LONGITUD
3	0, , R, 1, 1256, 360.525992970000000
4	1, , R, 1, 1256, 1351.730946570000000
5	2, , R, 1, 1256, 2840.348771819999900
6	3, HUASCAMONTE, Q, 1, 1256, 3101.028620430000000

Asistente para convertir texto en columnas - paso 2 de 3

Esta pantalla le permite establecer los separadores contenidos en los datos. Se puede ver cómo cambia el texto en la vista previa.

Separadores

Tabulación
 Punto y coma
 Coma
 Espacio
 Otro:

Considerar separadores consecutivos como uno solo
 Calificador de texto:

Vista previa de los datos

FID	NOMBRE	TIPO	ESTADO	CODIGO	LONGITUD
0	R	1	1256	360.525992970000000	
1	R	1	1256	1351.730946570000000	
2	R	1	1256	2840.348771819999900	
3	HUASCAMONTE	Q	1	1256	3101.0286204300

Figura 13. Exportación a Excel
 (Fuente: Elaboración propia)

Ríos que conforman cauce San José – San Marcos

N	NOMBRE	LONGIT	N	NOMBRE	LONGIT	N°	NOMBRE	LONGIT
0	R	360.52599	4	MAGDALEN	2702.4003	80	R	315.15267
1	R	1351.7309	4	R	520.68830	81	R	236.61876
2	R	2840.3487	4	SAN JUAN	1726.6364	82	R	1276.5663
3	HUASCAMON	3101.0286	4	SAN JUAN	2459.1325	83	R	2094.8823
4	R	361.09735	4	R	1699.1002	84	R	191.84142
5	R	1556.8237	4	R	2014.5809	85	R	493.80846
6	R	708.59239	4	R	1005.0087	86	R	1906.6168
7	R	992.25569	4	R	258.53927	87	R	396.43256
8	R	1730.6477	4	R	310.03359	88	R	1742.2784
9	HUACRARUC	2178.2480	4	R	280.03393	89	R	4193.1123
1	HUACRARUC	1326.5993	5	R	1685.0588	90	R	133.67040
1	R	871.97472	5	R	302.06235	91	R	2223.2497
1	R	472.11301	5	R	83.024092	92	R	2367.6714
1	R	1948.3898	5	R	1704.1830	93	R	52.017187
1	R	738.80180	5	R	1686.5663	94	JEQUETEPEQ	7524.5639
1	R	3318.9813	5	R	469.60928	95	R	668.31247
1	R	1002.1424	5	R	1643.8715	96	R	79.861777
1	R	741.42137	5	R	199.48537	97	R	132.67194
1	R	87.651297	5	R	873.31893	98	R	2134.0683
1	R	397.13243	5	R	2385.0570	99	R	2646.7582
2	R	40.162171	6	MAGDALEN	3497.6967	10	R	535.58151
2	R	567.59410	6	R	1311.7807	10	JEQUETEPEQ	11869.006
2	JEQUETEPEQ	2587.9534	6	R	406.49394	10	R	2292.9267
2	R	41.121491	6	R	223.15539	10	R	5020.0493
2	R	287.12640	6	R	82.710322	10	R	2410.4009
2	R	241.10089	6	CHILETE	5205.6798	10	R	3020.0117
2	R	2128.068	6	R	2300.1975	10	R	407.95115
2	R	606.22653	6	R	360.57613	10	R	2342.4870
2	CHILETE	2558.9713	6	JEQUETEPEQ	872.42864	10	R	93.263068
2	R	3142.1753	6	R	2243.4796	10	R	1075.0064
3	R	72.073030	7	JEQUETEPEQ	3172.9742	11	JEQUETEPEQ	1954.1752
3	R	231.19743	7	R	182.85635	11	R	549.41684
3	R	854.28853	7	R	281.48686	11	R	1109.4987
3	R	671.05044	7	R	1742.6477		TOTAL	173294.58
3	R	174.77398	7	R	487.83517			
3	MAGDALENA	6129.8791	7	R	181.39465			
3	R	142.02112	7	R	559.51488			
3	R	1024.6939	7	R	289.48937			
3	R	114.54332	7	R	4793.2556			
3	R	2326.9675	7	TEMBLADER	4572.1135			

(Fuente: Elaboración propia)

6. Cauce San José – Negritos

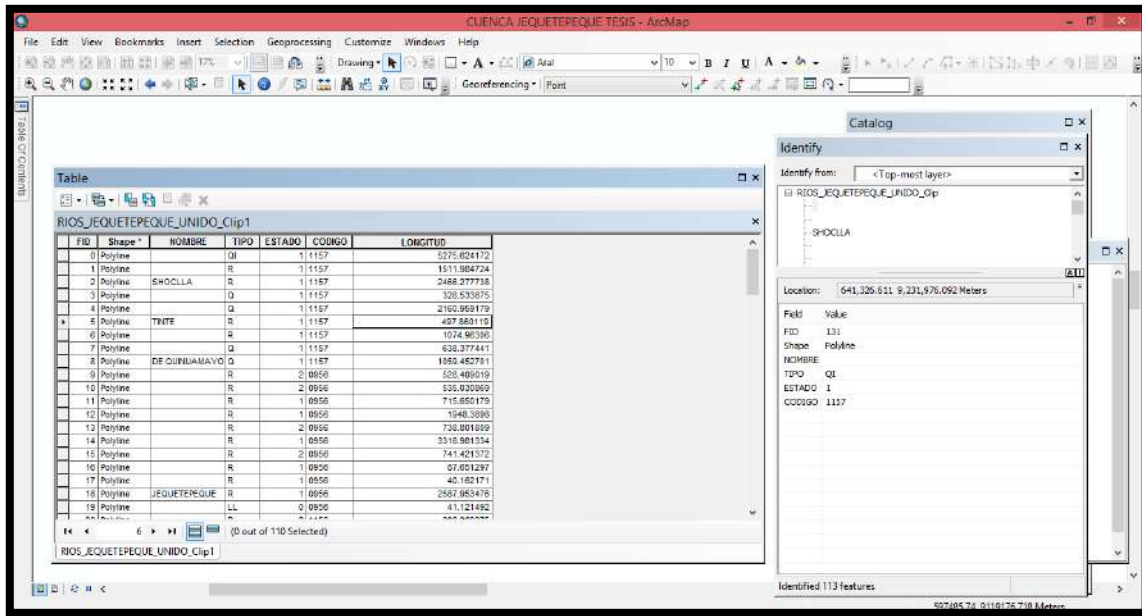


Figura 14. Longitudes de los ríos que conforman el cauce San José – Negritos
 (Fuente: Elaboración propia)

Ríos que conforman cauce San José – Negritos

N	NOMBRE	LONGIT	N	NOMBRE	LONGIT	N°	NOMBRE	LONGITU
0	QI	5275.6241	3	GRANDE	2949.1551	72	R	56.206591
1	R	1511.9847	3	LLAPA	5611.7341	73	R	2169.1653
2	SHOCLLA	2466.2777	3	R	1332.4960	74	R	1206.5584
3	Q	328.53387	3	R	513.56336	75	R	698.04992
4	Q	2160.9591	4	PUGLUSH	4758.5472	76	R	613.23006
5	TINTE	497.86011	4	R	1145.5327	77	R	229.88298
6	R	1074.9630	4	R	1440.2766	78	R	403.62135
7	Q	638.37744	4	R	1502.6069	79	R	1282.1361
8	DE	1059.4527	4	SAN	1957.3503	80	R	474.37291
9	R	528.40901	4	R	1839.9920	81	R	1906.6168
1	R	535.03086	4	R	693.75523	82	R	396.43256
1	R	715.65017	4	R	3172.9967	83	R	1742.2784
1	R	1948.3898	4	R	746.72426	84	R	4193.1123
1	R	738.80180	4	R	1302.6661	85	R	2367.6714
1	R	3318.9813	5	SAN	4711.6215	86	R	52.017187
1	R	741.42137	5	R	606.22653	87	JEQUETEPEQ	7524.5639
1	R	87.651297	5	R	72.073030	88	R	668.31247
1	R	40.162171	5	R	231.19743	89	R	79.861777
1	JEQUETEPEQ	2587.9534	5	R	854.28853	90	R	132.67194
1	LL	41.121491	5	R	671.05044	91	R	3134.0683
2	R	208.36937	5	R	214.41324	92	R	2646.7582
2	R	1887.1389	5	JEQUETEPEQ	872.42864	93	R	535.58151
2	R	740.24112	5	R	2243.4796	94	JEQUETEPEQ	11869.006
2	R	1872.9817	5	JEQUETEPEQ	3172.9742	95	R	4577.1304
2	R	665.89788	6	R	182.85635	96	R	314.92786
2	REJO	1491.9956	6	R	281.48686	97	R	238.93208
2	R	1740.6848	6	R	1742.6477	98	R	294.79734
2	R	498.18164	6	R	181.39465	99	R	2292.9267
2	R	534.32358	6	R	559.51488	10	R	4020.0493
2	R	1270.0999	6	R	340.17003	10	R	2410.4009
3	R	4327.5733	6	R	213.01732	10	R	1020.0117
3	REJO	4597.6085	6	JEQUETEPEQ	1601.0151	10	R	407.95115
3	TUMBADEN	3101.8683	6	R	313.87297	10	R	2342.4870
3	R	1600.8589	6	R	391.17647	10	R	93.263068
3	R	1021.1383	7	R	281.09912	10	R	1075.0064
3	R	660.63754	7	R	1536.6522	10	JEQUETEPEQ	1954.1752
						10	R	549.41684
						10	R	1109.4987
							TOTAL	169842.41

(Elaboración propia)

7. Cauce Principal

- ✓ Cauce San José- San Marcos = 173294.585m
- ✓ Cauce San José-Negritos = 169842.412m
- ✓ El Cauce principal resulta ser el cauce de José- San Marcos.

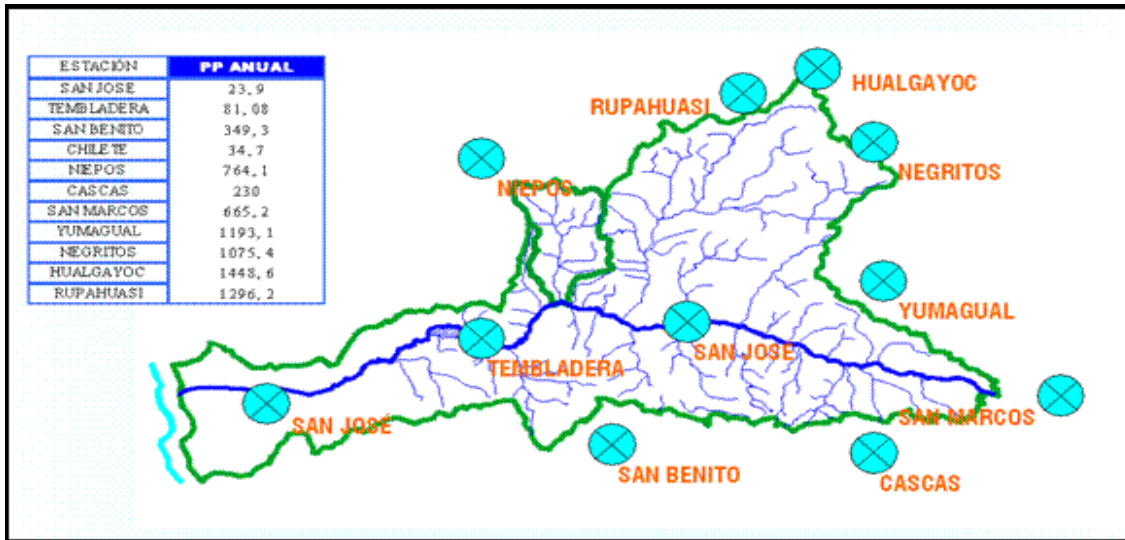


Figura 15. Cauce Principal
(Fuente: Elaboración propia)

- ✓ Pendiente del cauce principal

Cota máxima = 4201 msnm

Cota mínima = 0 msnm

Longitud = 173294.585m

$$S = (4201 - 0) / 173294.585 = 0.0242 \text{ m/m}$$

$$S = 2.42\%$$

- ✓ Índice de compacidad:

$$I_c = 0.282 \times (P/A^{1/2}) = 0.282 \times (466.55/3935.43^{1/2}) = 2.097$$

- ✓ Factor de forma

$$F_f = A/L^2 = 3935.4279 / 173.294585^2 = 0.131$$

- ✓ Pendiente del tramo evaluado

Considerando el nivel del aliviadero de la presa Gallito Ciego se tiene:

Cota máxima: 410 msnm.

Cota mínima: 0 msnm.

$$S = (410 - 0) / 48320 = 0.0085 \text{ m/m}$$

Resultados

Parámetros Geomorfológicos de la cuenca Jequetepeque	
Area	3935.42 km ²
Perímetro	466.55 km
Cota máxima	4201.00
Cota mínima	0.00
Longitud cauce principal	173.29km
Pendiente del cauce principal	0.0242m/m
Índice de compacidad	2.097
Factor de forma	0.131
Pendiente del tramo evaluado	0.0085m/m

Cálculo De Caudal De Diseño

Se estimó el caudal de diseño con el programa River mediante los métodos estadísticos de Gumbel, Pearson III y Log Normal en base a los caudales históricos obtenidos de la estación Hidrológica del distrito de Yonán.

Los datos son los siguientes:

AÑO	CAUDALES MÁXIMOS DIARIOS (m ³ /s)	AÑO	CAUDALES MÁXIMOS DIARIOS (m ³ /s)
1965	199.00	1991	251.80
1966	102.10	1992	110.90
1967	239.80	1993	244.60
1968	57.00	1994	319.40
1969	122.20	1995	146.90
1970	139.90	1996	294.30
1971	344.30	1997	174.30
1972	376.00	1998	509.50
1973	239.90	1999	379.60
1974	134.80	2000	340.00
1975	197.50	2001	409.40
1976	130.70	2002	333.70
1977	246.70	2003	128.30
1978	37.90	2004	106.60
1979	205.50	2005	194.50
1980	52.20	2006	331.60
1981	237.90	2007	194.90
1982	76.10	2008	393.00
1983	692.40	2009	338.90
1984	512.10	2010	264.20
1985	40.30	2011	219.40
1986	145.30	2012	311.90
1987	335.20	2013	270.70
1988	102.20	2014	135.70
1989	205.40	2015	438.20
1990	102.60	2017	983.85

El software River que fue diseñado por el Ministerio de Agricultura del Perú para cálculos de diseño Hidráulico y defensas riverenas.



Método Estadístico: Presionamos “Caudal de Diseño” y nos brindara los tres métodos, seleccionamos “Método Estadístico”.

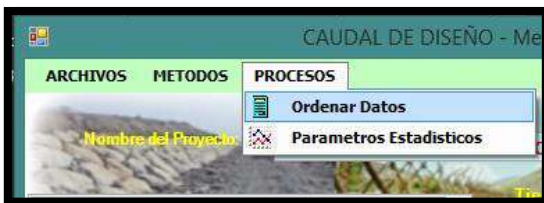


✓ Se abrió una ventana, en la cual se tenía que completar 5 datos básicos, empezando con “Nombre del Proyecto”, una vez terminado de digitar, presionamos “Enter” para

acceder al siguiente dato, “Estación”, bajo el mismo procedimiento se completan los demás, como “Tiempo Retorno” -> “Registro – Año Inicio” -> “Registro – Años Final”, periodo de retorno = 500 años.



Al presionar “Enter” en el último dato, nos abrió un cuadro, en el cual se digito los caudales máximos diarios en m³/s.



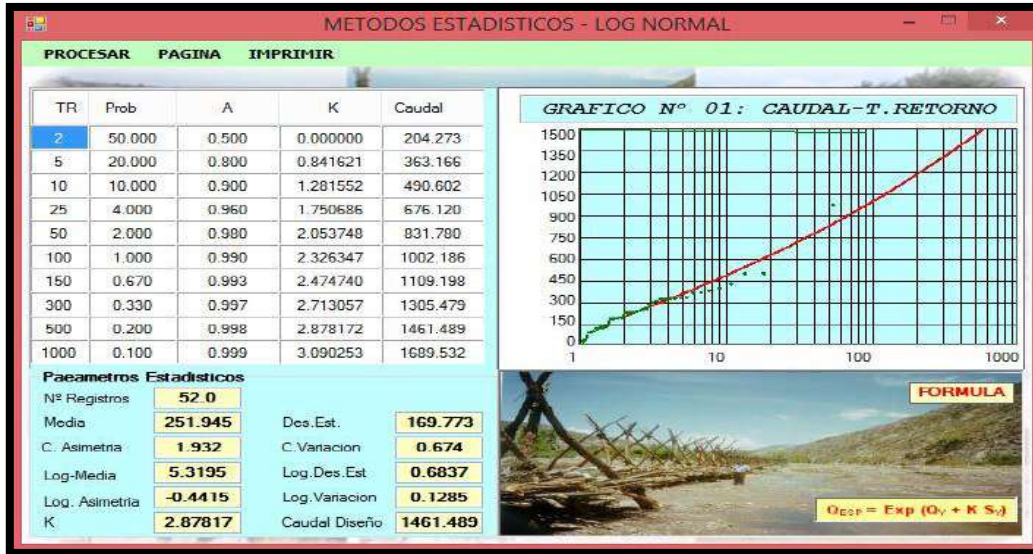
- ✓ Ordenamos los datos, la cual se hará de forma descendente para luego obtener los parámetros estadísticos, presionamos “Procesos” y seleccionamos “Ordenar Datos”
- ✓ Procedemos a obtener los parámetros estadísticos, los cuales son: Suma de registros, Media, Desviación Estándar, Coeficiente de Asimetría, Coeficiente de Variación, Número de Registros, Media-Log, Log-Desviación Estándar, Log Coeficiente de Asimetría y Log-Coeficiente de Variación; presionamos “Procesos” y seleccionamos “Parámetros Estadísticos”, se calcularon los parámetros antes mencionados y el “T.R.”.



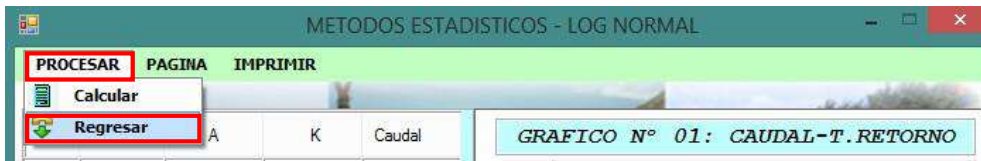
Una vez calculado, procedemos a calcular el caudal de diseño.

✓ Método Log Normal, presionamos “METODOS” y seleccionamos “Log. Normal”, abrirá una ventana en la cual presionamos “Calcular”, en el cual tendremos una tabla con los CAUDALES para distintos periodos de retorno, grafica del CAUDAL vs T. RETORNO, los parámetros estadísticos y la fórmula empleada.

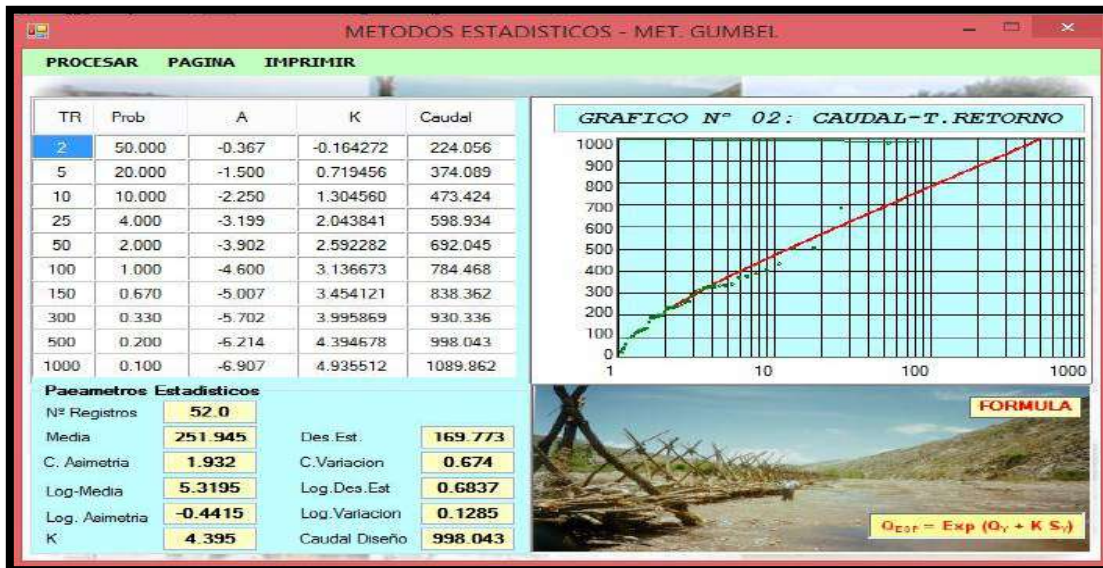


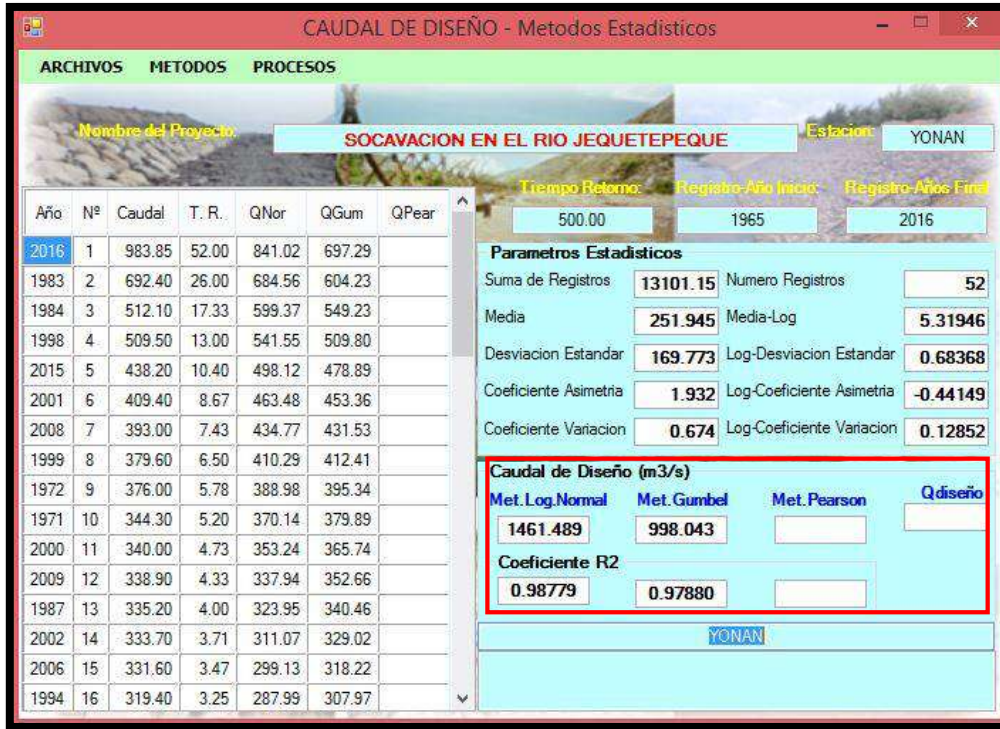


✓ Luego para volver a calcular por el siguiente método, presionamos “Procesos” y seleccionamos “Regresar”.



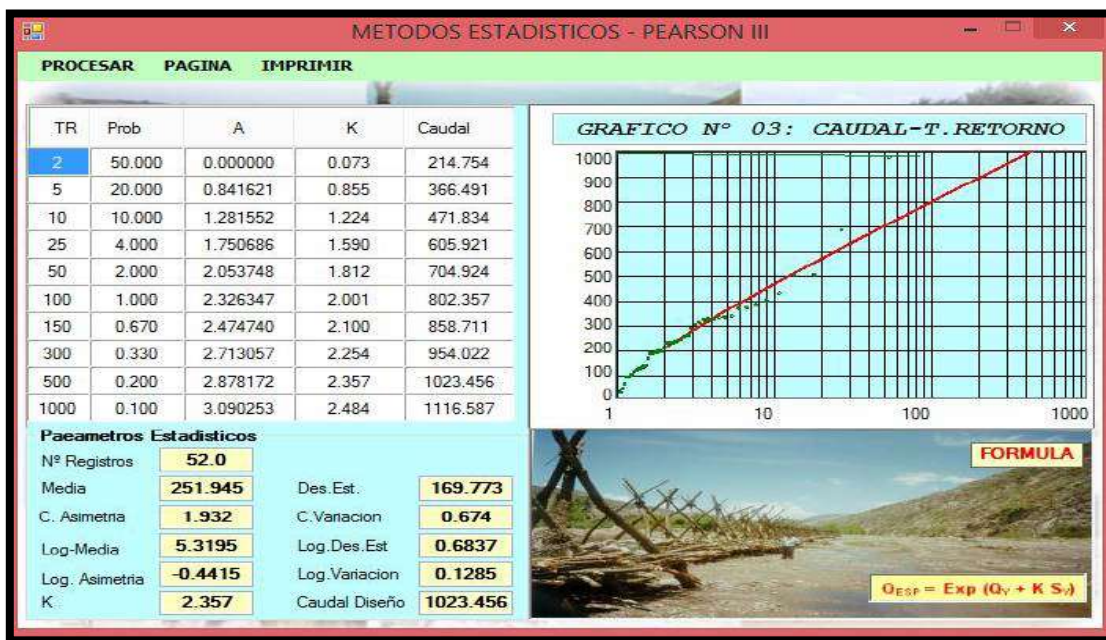
✓ Método Gumbel, mediante lo antes descrito realizamos el mismo procedimiento.





Conforme fuimos calculando los caudales mediante los métodos, los caudales según el periodo de retorno, van apareciendo en la parte inferior, junto al coeficiente de correlación.

✓ Método Pearson III.



- ✓ Elección de caudal de diseño para 500 años, River selecciona el caudal que tenga el mayor coeficiente de correlación.

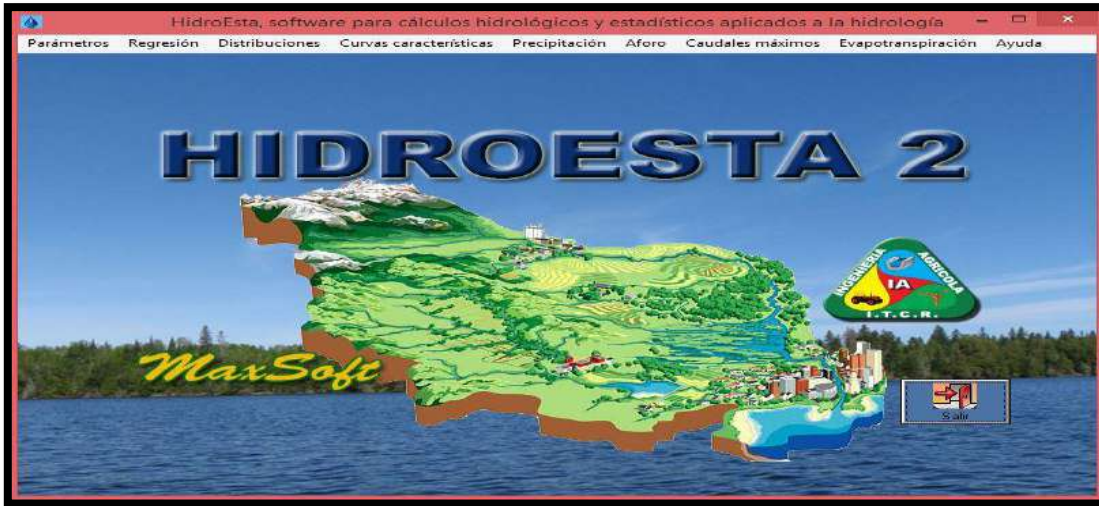


Año	Nº	Caudal	T. R.	QNor	QGum	QPear
2016	1	983.85	52.00	841.02	697.29	710.48
1983	2	692.40	26.00	684.56	604.23	611.57
1984	3	512.10	17.33	599.37	549.23	552.84
1998	4	509.50	13.00	541.55	509.80	510.69
2015	5	438.20	10.40	498.12	478.89	477.67
2001	6	409.40	8.67	463.48	453.36	450.44
2008	7	393.00	7.43	434.77	431.53	427.21
1999	8	379.60	6.50	410.29	412.41	406.92
1972	9	376.00	5.78	388.98	395.34	388.87
1971	10	344.30	5.20	370.14	379.89	372.59
2000	11	340.00	4.73	353.24	365.74	357.74
2009	12	338.90	4.33	337.94	352.66	344.06
1987	13	335.20	4.00	323.95	340.46	331.38
2002	14	333.70	3.71	311.07	329.02	319.53
2006	15	331.60	3.47	299.13	318.22	308.41
1994	16	319.40	3.25	287.99	307.97	297.91

- ✓ Resumen de caudales de diseño para diferentes periodos de retorno, considerando el **caudal máximo** para la estación Yonán.

T.R.	Método Estadístico (m ³ /s)		
	Log Normal	Gumbel	Pearson III
2	204.273	224.056	214.754
5	363.166	374.089	366.491
10	490.602	473.424	471.834
25	676.120	598.934	605.921
50	831.780	692.045	704.924
100	1002.186	784.468	802.357
150	1109.198	838.362	858.711
300	1305.479	930.336	954.022
500	1461.489	998.043	1023.456
1000	1689.532	1089.862	1116.587
Coef. R2	0.98779	0.97880	0.98115

- ✓ Otra alternativa es el software Hidroesta que le agrega un factor de seguridad Delta Q al caudal de diseño, emplea los métodos estadísticos de Gumbel y Nash.



- ✓ Caudal de Diseño con el método estadístico Gumbel para 500 años de retorno.

Cálculo de caudal de diseño utilizando la distribución Gumbel

Ingreso de datos:
 Año de inicio:

Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER.

N°	X
2005	194.5
2006	331.6
2007	194.9
2008	393.0
2009	338.9
2010	264.2
2011	219.4
2012	311.9
2013	270.7
2014	135.7
2015	438.2
2016	983.85
[>]	

Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T): años

Resultados:

N° años disponibles	Qm	SQ	YN	SN	Qmáx	DeltaQ	IntervaloQ	Qdiseño
52	251.9452	169.773	0.5496	1.1603	1080.8372	166.8011	914.04 - 1247.64	1247.6382

Archivos y resultados:

Calcula... Limpiar Imprimir Menú Principal Crear Accesar Excel Reporte

10:34 p.m. 08/06/2020

Resultados

Cálculo de caudal de diseño utilizando la distribución Gumbel

Resultados de los cálculos:

Número de años disponibles: 52
 Promedio Q: 251.9452
 Desviación estándar Q: 169.773
 Parámetro YN: 0.5496
 Parámetro SN: 1.1603
 Q máximo: 1080.8372
 Delta Q: 166.8011
 Intervalo variación Q: 914 .04 - 1247 .64

El caudal de diseño por Gumbel, para un período de retorno de 500 años es:
 1247.6382 m³/s

✓ Caudal de Diseño con el método estadístico Nash para 500 años de retorno.

Ingreso de datos:
 Año de inicio: 1965

Nota: Una vez que digite el dato, presionar ENTER

N°	X
2005	194.5
2006	331.6
2007	194.9
2008	393.0
2009	338.9
2010	264.2
2011	219.4
2012	311.9
2013	270.7
2014	135.7
2015	438.2
2016	983.85
[>]	

m	Q	T	X	Q*X	Q ²	X ²
1	983.85	53.0	-2.0824	-2048.73	967960.82	4.3362
2	692.4	26.5	-1.7771	-1230.49	479417.76	3.1582
3	512.1	17.6667	-1.5968	-817.71	262246.41	2.5497
4	509.5	13.25	-1.4675	-747.69	259590.25	2.1536
5	438.2	10.6	-1.3662	-598.66	192019.24	1.8665
6	409.4	8.8333	-1.2825	-525.06	167608.36	1.6448
7	393.0	7.5714	-1.211	-475.92	154449.0	1.4665
8	379.6	6.625	-1.1484	-435.92	144096.16	1.3187
9	376.0	5.8889	-1.0925	-410.77	141376.0	1.1935
10	344.3	5.3	-1.0419	-358.72	118542.49	1.0855
11	340.0	4.8182	-0.9956	-338.49	115600.0	0.9911
12	338.9	4.4167	-0.9528	-322.89	114853.21	0.9077
13	335.2	4.0769	-0.9129	-305.99	112359.04	0.8333
14	333.7	3.7857	-0.8755	-292.14	111355.69	0.7664
15	331.6	3.5333	-0.8402	-278.6	109958.56	0.7059
16	319.4	3.3125	-0.8067	-257.65	102016.36	0.6507
17	311.9	3.1176	-0.7748	-241.65	97281.61	0.6003
18	294.3	2.9444	-0.7442	-219.03	86612.49	0.5539
19	270.7	2.7895	-0.7149	-193.52	73278.49	0.5111
20	264.2	2.65	-0.6866	-181.41	69801.64	0.4715

Período de retorno de cálculo del caudal de diseño (T): 500 años

Sumatorias:
 13101.15 -31.2411 -12133.39 4770738.49 32.05

N° años disponibles	Qm	Xm	a	b	Qmáx	DeltaQ	IntervaloQ	Qdiseño
52	251.9452	-0.6008	59.1753	-320.8604	1041.2492	77.1175	964.13 - 1118.37	1118.3667

Archivos y resultados:
 Crear Accesar Excel Reporte

10:35 p.m. 08/06/2020

Resultados

Cálculo del caudal de diseño utilizando el método estadístico propuesto por Nash

Resultados de los cálculos:

Número de años disponibles:	52
Qm:	251.9452
Xm:	-0.6008
a:	59.1753
b:	-320.8604
Q máximo:	1041.2492
Delta Q:	77.1175
Intervalo variación Q:	964 .13 - 1118 .37

El caudal de diseño con el método estadístico propuesto por Nash,
para un período de retorno de 500 años es: 1118.3667 m³/s

Comparación de resultados de los programas River e Hidroesta para un periodo de retorno de 500 años.

CAUDAL DE DISEÑO (m ³ /s) (500 AÑOS)				
RIVER			HIDROESTA	
LOG NORMAL	GUMBEL	PERSON III	GUMBEL + DELTA Q	NASH + DELTA Q
1461.489	998.043	1023.456	1247.64	1118.37

Método Empírico: Presionamos “Caudal de Diseño” y nos brindara los tres métodos, seleccionamos “Método Empírico”.



- Procedemos a ingresar los datos de la cuenca como “Longitud de Cauce Principal (Km)”, “Pendiente del Cauce del Rio (Manning)”, en m/m -> “Diferencia de Cotas (m)” -> “Área de la Cuenca Húmeda (Km)” -> “Periodo de Retorno (años)” -> “Coeficiente de Escorrentía (C)”.

- El coeficiente de escorrentía (C), está en función al tipo de superficie y del periodo de retorno, bajo la siguiente tabla:

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA "C"							
Características de la Superficie	Periodo de retorno en años						
	2	5	10	25	50	100	500
Areas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto, tejados	0.75	0.80	0.83	0.86	0.92	0.97	1.00
Zonas Verdes (jardines, parques, etc)							
Condición pobre (cubierta de pasto <50 % del área)							
Plano (0 - 2) %	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.95	0.58
Promedio (2 - 7) %	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.97	0.97
Superior al 7 %	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	
Condición prom. (cubierta de pasto 50 - 75 % del área)							
Plano (0 - 2) %	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.95	0.95
Promedio (2 - 7) %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.97	0.97
Superior al 7 %	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.53
Condición alta (cubierta de pasto > 75 % del área)							
Plano (0 - 2) %	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.36
Promedio (2 - 7) %	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.46
Superior al 7 %	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.51
Zonas Rurales							
Campos de Cultivo							
Plano (0 - 2) %	0.30	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio (2 - 7) %	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Superior al 7 %	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales, prados y dehesas							
Plano (0 - 2) %	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio (2 - 7) %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Superior al 7 %	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques, montes arbolados							
Plano (0 - 2) %	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio (2 - 7) %	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Superior al 7 %	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Chow et al (1988) (Manual de River 2019)

- ✓ Caudal de diseño para periodo de retorno de 2 años.

CALCULO CAUDAL - METODO EMPIRICO

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR

CUENCA JEQUETEPEQUE

Información de la cuenca		Formula de R. Temez	
Longitud de Cauce Principal (Km)	173.29	$T_c = 0.3 (L / S_j^{0.25})^{0.75}$	
Pendiente del Cauce del Rio (Manning)	0.0242	Longitud del cauce principal (Km)	173.29
Diferencia de Cotas (m)	4201.00	Pendiente media del Tramo	0.0242
Area de la Cuenca Humeda (Km)	3935.43	Tiempo de Concentracion (Horas)	18.6958
Periodo de Retomo (años)	2.00	Formula de Kirpich	
Coefficiente de Escorrentia (C)	0.3900	$T_c = 0.06628 (L^{0.77})(S_k^{-0.385})$	
Soil Conservation Service of California		Longitud del Cauce Principal (Km)	173.29
$T_c = (0.871(L^3 / H))^{0.385}$		Diferencia de Cotas Extremas (m)	4201.00
Diferencia de cotas extremas (m)	4201.00	Pendiente cauce principal (Manning)	0.0242
Longitud del cauce principal (Km)	173.29	Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7054
Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7134	Caudal Maximo - Metodo de Mac Math	
Promedio de Tiempo de Concentracion (Tc)		$Q = 0.001 C I A^{0.58} S^{0.45}$	
16.0382	Seleccion Tc (Horas) 18.6958	Coefficiente de Escorrentia (C)	0.39
Formula de Mac Math - Calculo de Intensidad		Area de la Cuenca Humeda (Ha)	393543.00
$I = 2.6934 T^{0.2747} T_c^{0.3679}$		Pendiente (0/00)	24.20
Periodo de Retomo (Años)	2.00	Intensidad (mm/hora)	40.7899
Tiempo de Concentracion (Minutos)	0.00	Caudal Maximo (m3/s)	117.00
Intensidad (mm/hora)	40.7899		

- ✓ Caudal de diseño para periodo de retorno de 5 años.

CALCULO CAUDAL - METODO EMPIRICO

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR

CUENCA JEQUETEPEQUE

Información de la cuenca		Formula de R. Temez	
Longitud de Cauce Principal (Km)	173.29	$T_c = 0.3 (L / S_j^{0.25})^{0.75}$	
Pendiente del Cauce del Rio (Manning)	0.0242	Longitud del cauce principal (Km)	173.29
Diferencia de Cotas (m)	4201.00	Pendiente media del Tramo	0.0242
Area de la Cuenca Humeda (Km)	3935.43	Tiempo de Concentracion (Horas)	18.6958
Periodo de Retomo (años)	5.00	Formula de Kirpich	
Coefficiente de Escorrentia (C)	0.4200	$T_c = 0.06628 (L^{0.77})(S_k^{-0.385})$	
Soil Conservation Service of California		Longitud del Cauce Principal (Km)	173.29
$T_c = (0.871(L^3 / H))^{0.385}$		Diferencia de Cotas Extremas (m)	4201.00
Diferencia de cotas extremas (m)	4201.00	Pendiente cauce principal (Manning)	0.0242
Longitud del cauce principal (Km)	173.29	Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7054
Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7134	Caudal Maximo - Metodo de Mac Math	
Promedio de Tiempo de Concentracion (Tc)		$Q = 0.001 C I A^{0.58} S^{0.45}$	
16.0382	Seleccion Tc (Horas) 18.6958	Coefficiente de Escorrentia (C)	0.42
Formula de Mac Math - Calculo de Intensidad		Area de la Cuenca Humeda (Ha)	393543.00
$I = 2.6934 T^{0.2747} T_c^{0.3679}$		Pendiente (0/00)	24.20
Periodo de Retomo (Años)	2.00	Intensidad (mm/hora)	40.7899
Tiempo de Concentracion (Minutos)	18.70	Caudal Maximo (m3/s)	126.00
Intensidad (mm/hora)	40.7899		

- ✓ Caudal de diseño para periodo de retorno de 10 años.

CALCULO CAUDAL - METODO EMPIRICO

CUENCA JEQUETEPEQUE

Informacion de la cuenca		Formula de R. Temez	
Longitud de Cauce Principal (Km)	173.29	$T_c = 0.3 (L / S_j)^{0.25} 0.75$	
Pendiente del Cauce del Rio (Manning)	0.0242	Longitud del cauce principal (Km)	173.29
Diferencia de Cotas (m)	4201.00	Pendiente media del Tramo	0.0242
Area de la Cuenca Humeda (Km)	3935.43	Tiempo de Concentracion (Horas)	18.6958
Periodo de Retomo (años)	10.00	Formula de Kirpich	
Coefficiente de Escorrentia (C)	0.4400	$T_c = 0.06628 (L^{0.77})(S_k^{-0.385})$	
Soil Conservation Service of California		Longitud del Cauce Principal (Km)	173.29
$T_c = (0.871(L^3/H))^{0.385}$		Diferencia de Cotas Extremas (m)	4201.00
Diferencia de cotas extremas (m)	4201.00	Pendiente cauce principal (Manning)	0.0242
Longitud del cauce principal (Km)	173.29	Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7054
Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7134	Caudal Maximo - Metodo de Mac Math	
Promedio de Tiempo de Concentracion (Tc)		$Q = 0.001 C I A^{0.58} S^{0.45}$	
16.0382	Seleccion Tc (Horas) 18.6958	Coefficiente de Escorrentia (C)	0.44
Formula de Mac Math - Calculo de Intensidad		Area de la Cuenca Humeda (Ha)	393543.00
$I = 2.6934 T^{0.2747} T_c^{0.3679}$		Pendiente (D/00)	24.20
Periodo de Retomo (Años)	10.00	Intensidad (mm/hora)	63.4687
Tiempo de Concentracion (Minutos)	0.00	Caudal Maximo (m3/s)	206.00
Intensidad (mm/hora)	63.4687		

- ✓ Caudal de diseño para periodo de retorno de 25 años.

CALCULO CAUDAL - METODO EMPIRICO

CUENCA JEQUETEPEQUE

Informacion de la cuenca		Formula de R. Temez	
Longitud de Cauce Principal (Km)	173.29	$T_c = 0.3 (L / S_j)^{0.25} 0.75$	
Pendiente del Cauce del Rio (Manning)	0.0242	Longitud del cauce principal (Km)	173.29
Diferencia de Cotas (m)	4201.00	Pendiente media del Tramo	0.0242
Area de la Cuenca Humeda (Km)	3935.43	Tiempo de Concentracion (Horas)	18.6958
Periodo de Retomo (años)	25.00	Formula de Kirpich	
Coefficiente de Escorrentia (C)	0.4800	$T_c = 0.06628 (L^{0.77})(S_k^{-0.385})$	
Soil Conservation Service of California		Longitud del Cauce Principal (Km)	173.29
$T_c = (0.871(L^3/H))^{0.385}$		Diferencia de Cotas Extremas (m)	4201.00
Diferencia de cotas extremas (m)	4201.00	Pendiente cauce principal (Manning)	0.0242
Longitud del cauce principal (Km)	173.29	Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7054
Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7134	Caudal Maximo - Metodo de Mac Math	
Promedio de Tiempo de Concentracion (Tc)		$Q = 0.001 C I A^{0.58} S^{0.45}$	
16.0382	Seleccion Tc (Horas) 18.6958	Coefficiente de Escorrentia (C)	0.48
Formula de Mac Math - Calculo de Intensidad		Area de la Cuenca Humeda (Ha)	393543.00
$I = 2.6934 T^{0.2747} T_c^{0.3679}$		Pendiente (D/00)	24.20
Periodo de Retomo (Años)	25.00	Intensidad (mm/hora)	81.6345
Tiempo de Concentracion (Minutos)	0.00	Caudal Maximo (m3/s)	289.00
Intensidad (mm/hora)	81.6345		

- ✓ Caudal de diseño para periodo de retorno de 50 años.

CALCULO CAUDAL - METODO EMPIRICO

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR

CUENCA JEQUETEPEQUE

Información de la cuenca		Formula de R. Temez	
Longitud de Cauce Principal (Km)	173.29	$T_c = 0.3 (L / S_j)^{0.25} 0.75$	
Pendiente del Cauce del Rio (Manning)	0.0242	Longitud del cauce principal (Km)	173.29
Diferencia de Cotas (m)	4201.00	Pendiente media del Tramo	0.0242
Area de la Cuenca Humeda (Km)	3935.43	Tiempo de Concentracion (Horas)	18.6958
Periodo de Retomo (años)	50.00	Formula de Kirpich	
Coefficiente de Escorrentia (C)	0.5100	$T_c = 0.06628 (L^{0.77})(S_k^{-0.385})$	
Soil Conservation Service of California		Longitud del Cauce Principal (Km)	173.29
$T_c = (0.871(L^3 / H))^{0.385}$		Diferencia de Cotas Extremas (m)	4201.00
Diferencia de cotas extremas (m)	4201.00	Pendiente cauce principal (Manning)	0.0242
Longitud del cauce principal (Km)	173.29	Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7054
Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7134	Caudal Maximo - Metodo de Mac Math	
Promedio de Tiempo de Concentracion (Tc)	16.0382	$Q = 0.001 C I A^{0.58} S^{0.45}$	
Seleccion Tc (Horas)	18.6958	Coefficiente de Escorrentia (C)	0.51
Formula de Mac Math - Calculo de Intensidad		Area de la Cuenca Humeda (Ha)	393543.00
$I = 2.6934 T^{0.2747} T_c^{0.3679}$		Pendiente (0/00)	24.20
Periodo de Retomo (Años)	50.00	Intensidad (mm/hora)	98.7567
Tiempo de Concentracion (Minutos)	0.00	Caudal Maximo (m3/s)	371.00
Intensidad (mm/hora)	98.7567		

- ✓ Caudal de diseño para periodo de retorno de 100 años.

CALCULO CAUDAL - METODO EMPIRICO

PROCESAR PAGINA IMPRIMIR

CUENCA JEQUETEPEQUE

Información de la cuenca		Formula de R. Temez	
Longitud de Cauce Principal (Km)	173.29	$T_c = 0.3 (L / S_j)^{0.25} 0.75$	
Pendiente del Cauce del Rio (Manning)	0.0242	Longitud del cauce principal (Km)	173.29
Diferencia de Cotas (m)	4201.00	Pendiente media del Tramo	0.0242
Area de la Cuenca Humeda (Km)	3935.43	Tiempo de Concentracion (Horas)	18.6958
Periodo de Retomo (años)	100.00	Formula de Kirpich	
Coefficiente de Escorrentia (C)	0.5400	$T_c = 0.06628 (L^{0.77})(S_k^{-0.385})$	
Soil Conservation Service of California		Longitud del Cauce Principal (Km)	173.29
$T_c = (0.871(L^3 / H))^{0.385}$		Diferencia de Cotas Extremas (m)	4201.00
Diferencia de cotas extremas (m)	4201.00	Pendiente cauce principal (Manning)	0.0242
Longitud del cauce principal (Km)	173.29	Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7054
Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7134	Caudal Maximo - Metodo de Mac Math	
Promedio de Tiempo de Concentracion (Tc)	16.0382	$Q = 0.001 C I A^{0.58} S^{0.45}$	
Seleccion Tc (Horas)	18.6958	Coefficiente de Escorrentia (C)	0.54
Formula de Mac Math - Calculo de Intensidad		Area de la Cuenca Humeda (Ha)	393543.00
$I = 2.6934 T^{0.2747} T_c^{0.3679}$		Pendiente (0/00)	24.20
Periodo de Retomo (Años)	100.00	Intensidad (mm/hora)	119.4702
Tiempo de Concentracion (Minutos)	0.00	Caudal Maximo (m3/s)	476.00
Intensidad (mm/hora)	119.4702		

- ✓ Caudal de diseño para periodo de retorno de 500 años.

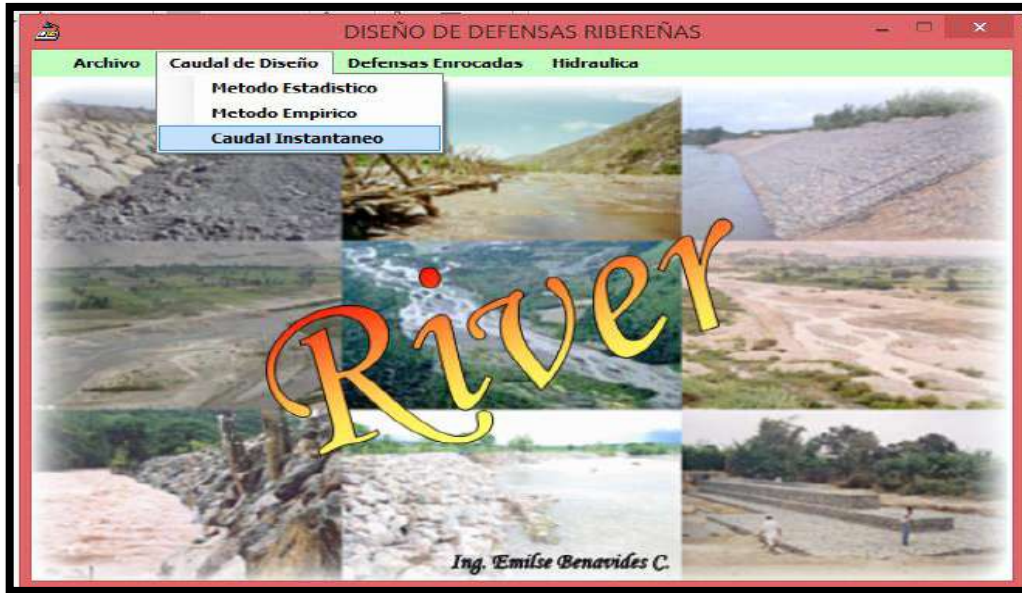
CALCULO CAUDAL - METODO EMPIRICO

CUENCA JEQUETEPEQUE

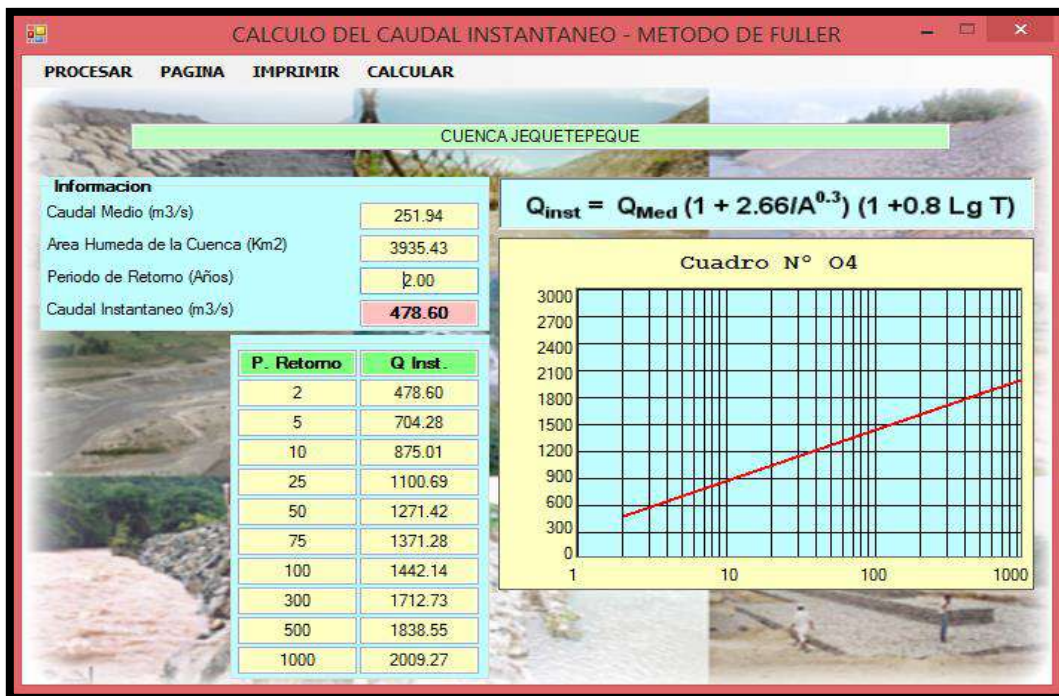
Información de la cuenca		Formula de R. Temez	
Longitud de Cauce Principal (Km)	173.29	$T_c = 0.3 (L / S_p)^{0.25} 0.75$	
Pendiente del Cauce del Rio (Manning)	0.0242	Longitud del cauce principal (Km)	173.29
Diferencia de Cotas (m)	4201.00	Pendiente media del Tramo	0.0242
Area de la Cuenca Humeda (Km)	3935.43	Tiempo de Concentracion (Horas)	18.6958
Periodo de Retomo (años)	500.00	Formula de Kirpich	
Coficiente de Escorrentia (C)	0.6100	$T_c = 0.06628 (L^{0.77})(S_k^{-0.385})$	
Soil Conservation Service of California		Longitud del Cauce Principal (Km)	173.29
$T_c = (0.871(L^3 / H))^{0.385}$		Diferencia de Cotas Extremas (m)	4201.00
Diferencia de cotas extremas (m)	4201.00	Pendiente cauce principal (Manning)	0.0242
Longitud del cauce principal (Km)	173.29	Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7054
Tiempo de Concentracion (Horas)	14.7134	Caudal Maximo - Metodo de Mac Math	
Promedio de Tiempo de Concentracion (Tc)		$Q = 0.001 C I A^{0.58} S^{0.45}$	
16.0382	Seleccion Tc (Horas) 18.6958	Coficiente de Escorrentia (C)	0.61
Formula de Mac Math - Calculo de Intensidad		Area de la Cuenca Humeda (Ha)	393543.00
$I = 2.6934 T^{0.2747} T_c^{0.3679}$		Pendiente (0/00)	24.20
Periodo de Retomo (Años)	500.00	Intensidad (mm/hora)	185.8946
Tiempo de Concentracion (Minutos)	0.00	Caudal Maximo (m3/s)	836.00
Intensidad (mm/hora)	185.8946		

Método Empírico Mac Math	
T.R.	Caudal de Diseño (m³/s)
2	117
5	126
10	206
25	289
50	371
100	476
500	836

- **Caudal Instantáneo:** Presionamos “Caudal de Diseño” y nos brindara los tres métodos, seleccionamos “Caudal Instantáneo”.



- Ingresamos los datos de “Caudal Medio (m³/s)”, el cual hace mención al promedio, “Área de la Cuenca Húmeda (Km²)” y “Periodo de Retorno (años)”.



T.R.	Q. Instantáneo
2	478.60
5	704.28
10	875.01
25	1100.69
50	1271.42
75	1371.28
100	1442.14
300	1712.73
500	1838.55
1000	2009.27

• **Caudal de diseño por el método de Envolvente de Creager:**

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) \times \text{Log}(T) \times A^{(m A^{-n})}$$

Donde:

Q_{max} : Caudal máximo Instantáneo m^3/s)

T: Periodo de Retorno

A: Área de la cuenca

C_1, C_2, m, n : Constantes para las diferentes regiones del Perú

Los valores de las constantes C_1, C_2, m, n se presentan de la siguiente manera, así como también el mapa de avenidas particularizados para cada región del Perú.

Constantes del método de la envolvente regional de Creager

Región	C1	C2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

Fuente: Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú

Descripción	Valor
Región	3.00
Área (Km ²)	3935.43
C1	0.27
C2	1.48
m	1.02
n	0.04
C1+C2	1.75

T	Log (T)	Am(A ⁻ⁿ)	Q. max
2	0.30	429.82	226.43
5	0.70	429.82	525.76
10	1.00	429.82	752.19
25	1.40	429.82	1051.51
50	1.70	429.82	1277.94
75	1.88	429.82	1410.40
100	2.00	429.82	1504.38
150	2.18	429.82	1636.83
300	2.48	429.82	1863.26
500	2.70	429.82	2030.13
1000	3.00	429.82	2256.56

Otra metodología es la que resalte la influencia de El Fenómeno “El Niño”, en especial en la Vertiente del Pacífico del Perú, departamentos de Piura y Tumbes, donde es necesario un tratamiento especial del análisis para determinar el caudal de diseño.

Según los antecedentes, “El Fenómeno El Niño / Oscilación Sur” (“ENOS”), tiene impactos globales en el planeta y tiene su origen en la interacción océano – atmósfera, los efectos en el continente se manifiesta alterando el régimen de caudales de los ríos, incrementando significativamente unos y generando fuertes déficit en otros. Según los antecedentes el “ENOS”, ha tenido gran influencia sobre la vertiente del Océano Pacífico,

variando de Norte a Sur según los años. Los Niños Extraordinarios del 82/83 y 97/98 tuvieron un impacto generalizado en toda la vertiente, creando condiciones de excesos hídricos que provocaron desastres.

El Análisis de caudales máximos permitirá determinar los caudales máximos instantáneos producidos en diferentes escenarios de Eventos “ENOS”. La información utilizada son caudales máximos diarios y máximos instantáneos de la información disponible. En estaciones que no cuentan con información, se aplicaran extrapolaciones y relaciones empíricas como las desarrolladas por Tucci (1991), las cuales permiten obtener los caudales máximos instantáneos, cuyas relaciones matemáticas son:

$$\text{Cuencas menores de } 3500 \text{ km}^2 \quad : \quad Q_{\text{máx}} = Q_{\text{md}} (1+2.66 A^{-0.30})$$

$$\text{Cuencas mayores de } 3500 \text{ km}^2 \quad : \quad Q_{\text{máx}} = Q_{\text{md}} (1+1.2 A^{-0.036})$$

Siendo:

$Q_{\text{máx}}$: caudal máximo instantáneo

Q_{md} : caudal máximo diario

A : área de la cuenca de recepción en el punto de control hidrométrico

Tomando como referencia el máximo caudal registrado en el fenómeno de El niño 2017 procedemos a calcular el caudal de diseño con el método de Tucci.

$$Q_{\text{md}_{2017}} = 983.85 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Área de Cuenca} = 3935.43$$

$$Q_{\text{max}} = Q_{\text{md}}(1+1.2*3935.43^{-0.036})$$

$$Q_{\text{max}} = 1860.23 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Elección del caudal máximo extraordinario.

CAUDAL DE DISEÑO m ³ /s									
T.R.	Método Estadístico					Método Empírico	Caudal Instantáneo	Regional Creager	ENOS El Niño 2017
	Log Normal	Gumbel	Pearson III	Gumbel + Delta Q	Nash + Delta Q	Método de Mac Math	Método de Fuller		Método de Tucci
2	204.273	224.056	214.754	-	-	117	478.60	226.43	1860.23
5	363.166	374.089	366.491	-	-	126	704.28	525.76	
10	490.602	473.424	471.834	-	-	206	875.01	752.12	
25	676.12	598.934	605.921	-	-	289	1100.69	1051.51	
50	831.78	692.045	704.924	-	-	371	1271.42	1277.95	
75	-	-	-	-	-	-	1371.28	1410.40	
100	1002.186	784.468	802.357	-	-	476	1442.14	1504.38	
150	1109.198	838.362	858.711	-	-	-	-	1636.83	
300	1305.479	930.336	954.022	-	-	-	1712.73	1863.26	
500	1461.489	998.043	1023.456	1247.64	1118.37	836	1838.55	2030.13	
1000	1689.532	1089.862	1116.587	-	-	-	2009.27	2256.56	
Coef. R2	0.9878	0.9788	0.9812						

Para elegir el caudal de diseño se tiene que evaluar todos los factores como se mostrará a continuación:

✓ Luego de haber empleado el programa River e Hidroesta que utilizan métodos estadísticos, encontramos que el método estadístico Log Normal posee un mayor coeficiente de correlación R2 (0.9878); este método calculó un caudal de 1461.489m³/s para un T.R. de 500 años.

- ✓ El método Empírico Mac Math basado en la morfología de la cuenca calculó un caudal de $836\text{m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 500 años, sin embargo, esto se contradice con el caudal registrado en el fenómeno El niño del 2017 que registró un caudal máximo diario de $983.85\text{ m}^3/\text{s}$.
- ✓ El método de Fuller calcula el caudal instantáneo teniendo en cuenta el Área de la cuenca y los registros de caudales históricos, encontró un caudal de $1838.55\text{ m}^3/\text{s}$ para un T.R. de 500 años.
- ✓ El método regional de Envolvente de Creager emplea solo la información del Área de cuenca y coeficientes en base a la ubicación regional de la misma, dio como resultado un caudal de $2030.13\text{ m}^3/\text{s}$ para un T.R. de 500 años.
- ✓ En consideración de los antecedentes del “El Fenómeno El Niño / Oscilación Sur” (“ENOS”) se utiliza la fórmula empírica de Tucci, teniendo como dato el caudal máximo registrado en el fenómeno de El Niño 2017, calculamos un caudal de diseño de $1860.23\text{ m}^3/\text{s}$.
- ✓ Encontramos que el método más apropiado a emplear en esta investigación es el método Fuller, debido a que emplea datos geomorfológicos e hidrométricos, además, En base a lo que se menciona en el Manual de hidrología y drenaje (2019) del MTC “se debe tener dar un tratamiento especial en la zona de influencia de la Vertiente del Pacífico del Perú, departamentos de Piura y Tumbes”, es el que arroja resultados más cercanos al método Tucci, considerando así la ocurrencia de fenómenos extremos.
- ✓ El método Log Normal es nuestra segunda opción a emplear por tener un Coeficiente de correlación R^2 mayor en comparación a los demás métodos estadísticos, sin embargo, consideramos que en los caudales históricos empleados como data están incluidos caudales de años en los que hubo sequía, lo que mermaría el caudal a diseñar

teniendo en cuenta el constante aumento de temperatura atmosférica causado por el cambio climático.

T.R. (AÑOS)	CAUDAL DE DISEÑO (m³/s)
2	478.60
5	704.28
10	875.01
25	1100.69
50	1271.42
75	1371.28
100	1442.14
300	1712.73
500	1838.55
1000	2009.27

ANEXO 5. Estudio Geotécnico

Trabajos de Campo

Se realizaron 3 calicatas:

Calicata 1: margen derecha aguas abajo, eje del puente, progresiva 13+410.

Calicata 2: margen izquierda aguas abajo, eje del puente, progresiva 13+410.

Calicata 3: margen central del puente, progresiva 13+450.

- Las 3 calicatas se realizaron a 1.50 m de profundidad.

Materiales y herramientas.

- Libreta de campo.
- Lapicero.
- Pico, pala y costales.
- Wincha (50m).
- Cámara fotográfica.
- Equipo de protección personal.

Personal

- 03 personas que operen el pico (excavación a tajo abierto).
- 01 persona que opere la pala (extracción de las muestras).
- 01 persona a cargo de realizar las medidas y apuntes necesarios.
- 01 personas a cargo de las evidencias fotográficas.

La excavación alcanzó las siguientes medidas:

Proyecto	Exploración a cielo abierto			
Ubicación	Puente Jequetepeque			
Calicata	Profundidad (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Nº de muestras
C-1	1.5	1	1	2
C-2	1.5	1	1	2
C-3	1.5	1	1	2



Figura 1. Nivel de agua

La excavación estuvo limitada por la presencia de napa freática



Figura 2. Excavación a 1m



Figura 3. Excavación a 1.50m



Figura 4. Excavación culminada



Figura 5. Excavación en el eje del puente



Figura 6. Excavación a 0.80m



Figura 7. En la calicata del margen derecho no se encontró nivel de napa freática.

Trabajos de Laboratorio

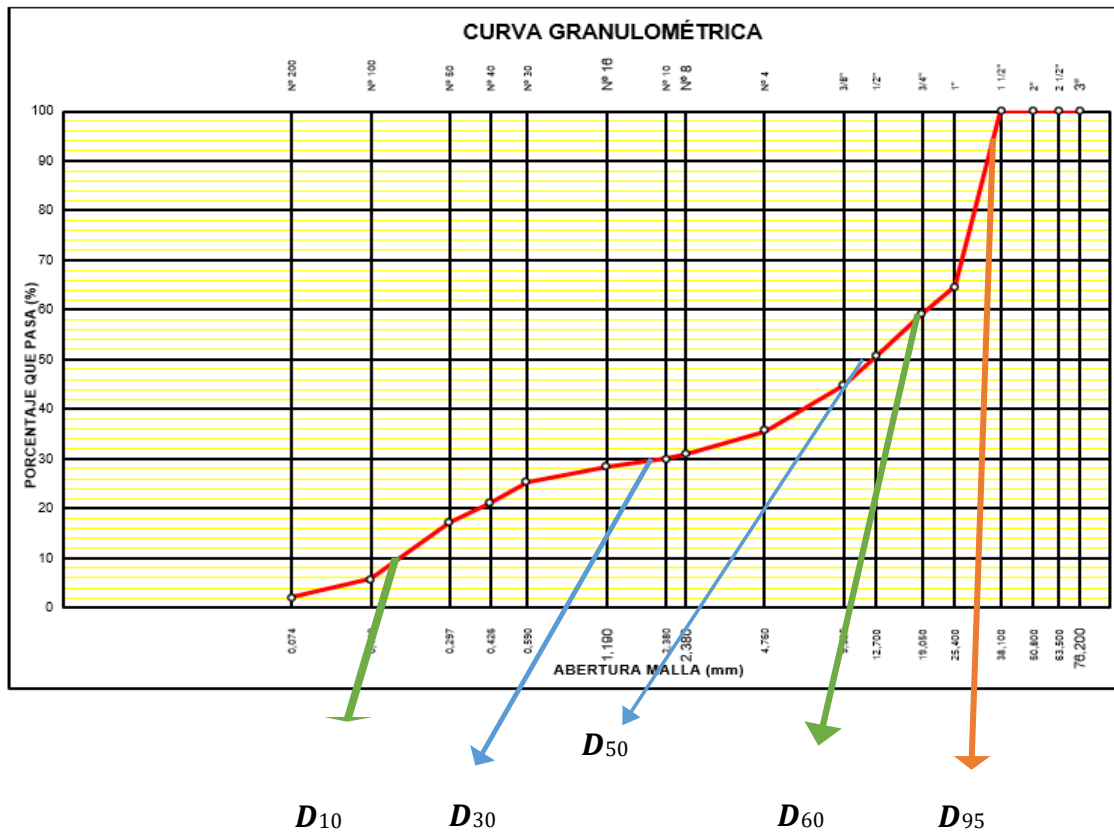
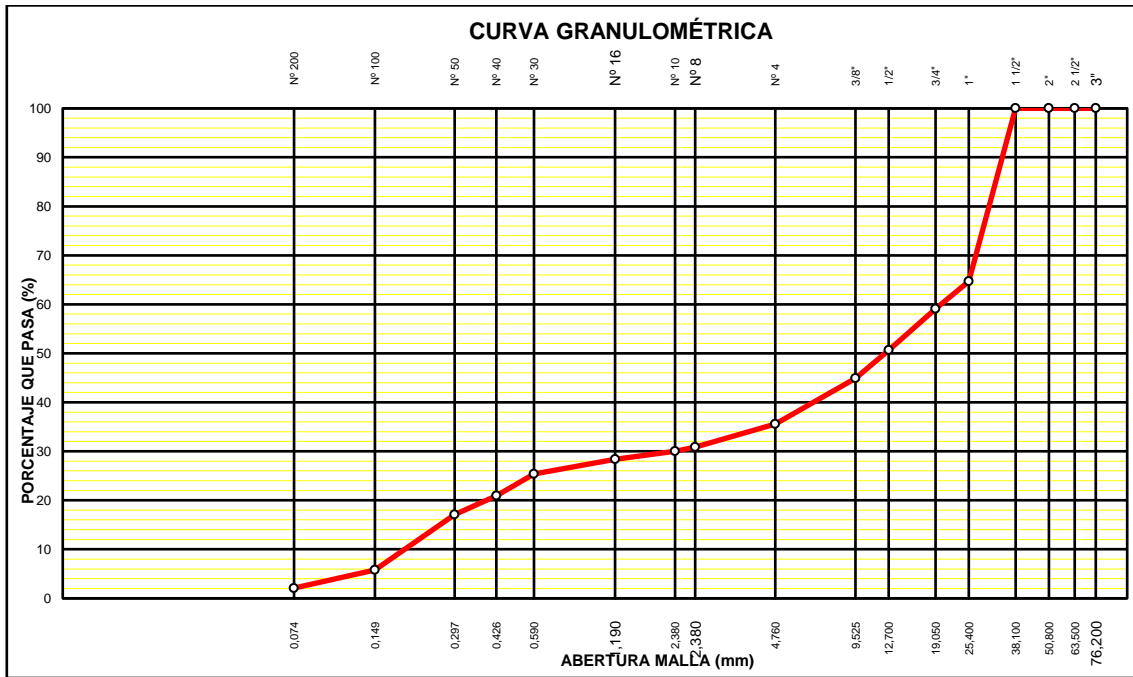
Granulometría

Las 6 muestras fueron analizadas por separado (ver ANEXO 6), y también analizadas de manera promediada dando como resultado el siguiente cuadro granulométrico.

TAMIZ (N°)	Apertura Tamiz(mm)	Peso retenido (g)	Peso retenido acumulado (g)	retenido %	Reten. acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)
3"	76.2	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.5	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	353.27	353.27	35.33	35.33	64.67
3/4"	19.05	55.83	409.10	5.58	40.91	59.09
1/2"	12.7	84.65	493.75	8.46	49.37	50.63
3/8"	9.525	57.37	551.12	5.74	55.11	44.89
N° 4	4.76	93.57	644.69	9.36	64.47	35.53
N° 8	2.38	46.70	691.39	4.67	69.14	30.86
N° 10	2	8.82	700.21	0.88	70.02	29.98
N° 16	1.19	15.78	715.99	1.58	71.60	28.40
N° 30	0.59	30.42	746.41	3.04	74.64	25.36
N° 40	0.426	44.11	790.51	4.41	79.05	20.95
N° 50	0.297	38.63	829.14	3.86	82.91	17.09
N° 100	0.149	113.26	942.40	11.33	94.24	5.76
N° 200	0.074	36.77	979.17	3.68	97.91	2.09
- N° 200	-	20.86	1000.00	2.09	100.00	0.00

Tamaño máximo nominal: 1”.

Curva Granulométrica



Cálculo de coeficientes de Uniformidad y Curvatura

$$D_{10} = 0.297 - (17.09 - 10.00) (0.297 - 0.149) / (17.09 - 5.76) = 0.204$$

$$D_{30} = 2.38 - (30.86 - 30.00) (2.38 - 2) / (30.86 - 29.98) = 2.009$$

$$D_{60} = 25.4 - (64.67 - 60.00) (25.4 - 19.05) / (64.67 - 59.09) = 20.086$$

Coeficiente de Uniformidad (C_U):

$$C_U = D_{60} / D_{10}$$

$$C_U = 20.086 / 0.204$$

$$C_U = 98.461$$

Coeficiente de Curvatura (C_C):

$$C_C = (D_{30})^2 / (D_{60} \times D_{10})$$

$$C_C = (2.009^2) / (20.086 \times 0.204)$$

$$C_C = 0.99$$

Diámetro D_{50} y D_{95} :


$$D_{50} = 12.7 - (50.63 - 50) (12.7 - 9.525) / (50.63 - 44.89) = 12.351$$

$$D_{95} = 38.1 - (100 - 95) (38.1 - 25.4) / (100 - 64.67) = 36.303$$

Diámetro Medio :

$$D_m = 12318.890 / 100 = 12.319$$

ANEXO 6. Resultados de laboratorio del análisis granulométrico



CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

☰ Calle Los Ángeles N° 120. Urb. El Paraíso – Chiclayo. ☎ (074) 512307, ☎ 978 360 036 – 993 595 300.
 ✉ constructora.ayr.chiclayo@gmail.com

CONTENIDO DE HUMEDAD
 (NTP 339.127, MTC E 108)

PROYECTO	: "Socavación en base de pilares y estribos de puente La Libertad, Pacasmayo, La Libertad - 2020"	RESP. LAB.	: R.H.B.C.
UBICACIÓN	: Pacasmayo - La Libertad	TEC. LAB.	: J.A.S.A.
MATERIAL	: Cantera Rio Jequetepeque Km 13+450	FECHA	: 22/05/2020
SOLICITANTE	: CHRIS BELU GALVEZ ALCALDE - ALBERT HEINS GUILLEN CABALLERO		


DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA	: M-01
----------------	--------


DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA		1	2	
N° DE TARA	:	5	15	
PESO DE LA TARA	:			
TARA + SUELO HÚMEDO	:	1200	1000	
TARA + SUELO SECO	:	1162	969	
PESO DEL AGUA	:	38	31	
PESO DEL SUELO SECO	:	1162	969	
% DE HUMEDAD	:	3.3	3.2	3.2


Observaciones : Las muestras fueron traídas por el solicitante.



CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
Jaime A. Severino Aquino
TECNICOLABORATORISTA



CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
Ing. Royser H. Balsa Caycan
ING. CIVIL AMBIENTAL
CIP: 189234



CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
L.E.M.
CHICLAYO

Escaneado con CamScanner



CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

★ Calle Los Ángeles N° 120. Urb. El Paraíso - Chiclayo. ☎ (074) 512307. 📠 978 360 036 - 993 595 300.
✉ constructora.ar.chiclayo@gmail.com

ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NTP 400.012, NTP 339.134, NTP 339.135, MTG E 204)

PROYECTO : "Socavación en base de pilares y estribos de puente La Libertad, Pacasmayo, La Libertad - 2020"
UBICACIÓN : Pacasmayo - La Libertad
MATERIAL : Cantera Rio Jequetepeque Km 13+450
SOLICITANTE : CHRIS BELU GALVEZ ALCALDE - ALBERT HEINS GUILLEN CABALLERO

RESP. LAB. : R.H.B.C.
TEC. LAB. : J.A.S.A.
FECHA : 22/05/2020

DATOS DE LA MUESTRA

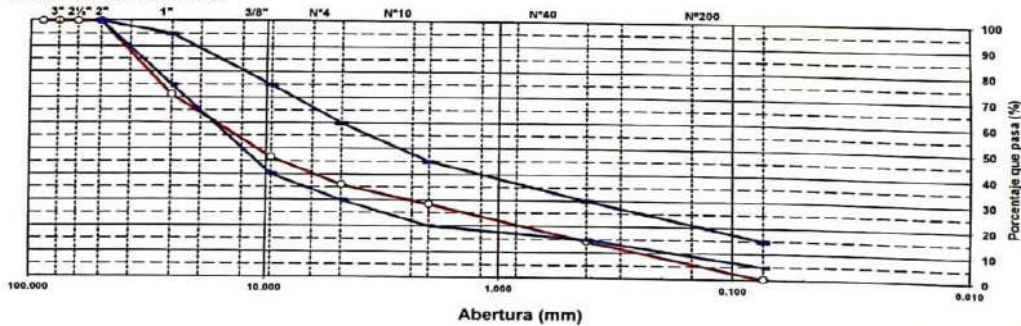
MUESTRA : M-01

DATOS DE ENSAYO							DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARO.	%RET. AC.	% Q PASA	GRADACIÓN "B"		
3 1/2"	88.900						PESO TOTAL	= 1000 gr
3"	76.200						T. M.N.	= 1"
2 1/2"	63.500						PESO FRACCIÓN FINO	= 360.0 gr
2"	50.800					100 - 100		
1 1/2"	38.100				100.0			
1"	25.400	207.05	20.8	28.8	71.2	75 - 95		
3/4"	19.100	103.24	10.3	39.1	60.9		CLASF. AASHTO	= A-1-a (0)
1/2"	12.700	85.75	8.6	47.7	52.3		CLASF. SUCS	= GP
3/8"	9.520	56.57	5.7	53.3	46.7	40 - 75	D60	= 18.20
1/4"	6.350						D30	= 2.47
# 4	4.760	105.77	10.6	63.9	36.1	30 - 60	D10(DIAMETRO EFECTIVO)	= 0.30
# 8	2.360	64.92	6.5	70.4	29.6		Cu	= 61.4
# 10	2.000	11.17	1.1	71.5	28.5	20 - 45	Cc	= 1.12
# 16	1.190	25.95	2.6	74.1	25.9			
# 20	0.840							
# 30	0.590	49.01	4.9	70.1	21.0			
# 40	0.420	65.38	6.6	85.6	14.4	15 - 30	CONT. DE HUMEDAD	= 3.2 %
# 50	0.300	43.06	4.3	89.9	10.1			
# 80	0.177							
# 100	0.149	84.30	8.5	98.4	1.6			
# 200	0.074	12.99	1.3	99.7	0.3	5 - 15		
< # 200	FONDO	3.22	0.3	100.0				

Descripción suelo: **GRAVA BIEN GRADADA CON ARENA**

Coef. Uniformidad >6
Coef. Curvatura 1.1

CURVA GRANULOMETRICA





CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Calle Los Ángeles N° 120. Urb. El Paraíso – Chiclayo. ☎ (074) 512307, 📠 978 360 036 – 993 595 300.
✉ constructora.gvr.chiclayo@gmail.com

CONTENIDO DE HUMEDAD
(NTP 339.127, MTC E 108)

PROYECTO	: "Socavación en base de pilares y estribos de puente La Libertad, Pacasmayo, La Libertad - 2020"		
UBICACIÓN	: Pacasmayo - La Libertad	RESP. LAB.	: R.H.B.C.
MATERIAL	: Cantera Rio Jequetepeque Km 13+450	TEC. LAB.	: J.A.S.A.
SOLICITANTE	: CHRIS BELU GALVEZ ALCALDE - ALBERT HEINS GUILLEN CABALLERO	FECHA	: 22/05/2020

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA : M-02

DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA		1	2		
N° DE TARA	:	9	11		
PESO DE LA TARA	:				
TARA + SUELO HÚMEDO	:	1200	1000		
TARA + SUELO SECO	:	1151	962		
PESO DEL AGUA	:	49	38		
PESO DEL SUELO SECO	:	1151	962		
% DE HUMEDAD	:	4.3	4.0		4.1

Observaciones : Las muestras fueron traídas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
J. Severino
Jaime A. Severino Aquino
TÉCNICO LABORATORISTA

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
Royce H. Barja Caycay
Ing. Royce H. Barja Caycay
ING. CIVIL AMBIENTAL
N°: 199234





CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Calle Los Ángeles N° 120. Urb. El Paraíso - Chiclayo. ☎ (074) 512307, 📠 978 360 036 - 993 595 300.
✉ constructora.ar.chiclayo@gmail.com

ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NTP 400.012, NTP 339.134, NTP 339.135, MTC E 204)

PROYECTO : "Socavación en base de pilares y estribos de puente La Libertad, Pacasmayo, La Libertad - 2020"
UBICACIÓN : Pacasmayo - La Libertad
MATERIAL : Cantera Rio Jequetepeque Km 13+450
SOLICITANTE : CHRIS BELU GALVEZ ALCALDE - ALBERT HEINS GUILLEN CABALLERO

RESP. LAB. : R.H.B.C.
TEC. LAB. : J.A.S.A.
FECHA : 22/05/2020

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA : M-02

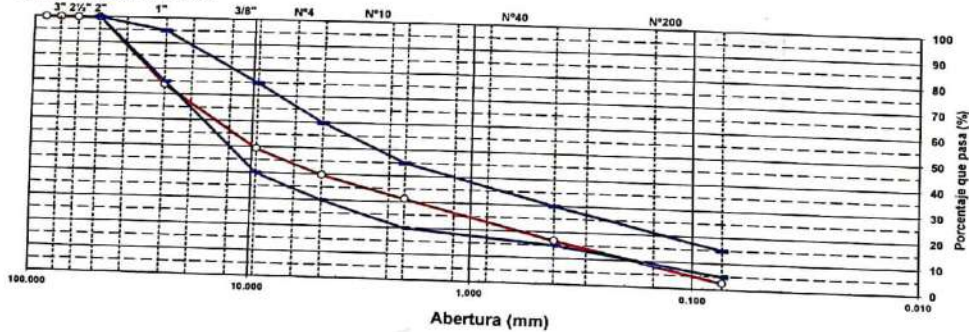
DATOS DE ENSAYO

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARQ.	%RET. AC.	% Q' PASA	GRADACIÓN "B"	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3 1/2"	88.900						PESO TOTAL = 1000 gr
3"	76.200						T. M.N. = 1"
2 1/2"	63.500						PESO FRACCIÓN FINO = 397.0 gr
2"	50.800					100 - 100	
1 1/2"	38.100						
1"	25.400	262.41	26.2	26.2	73.8	75 - 95	
3/4"	19.100	110.26	11.0	37.3	62.7		CLASF. AASHTO = A-1-a [0]
1/2"	12.700	81.80	8.2	45.4	54.6		CLASF. SUCS = GP
3/8"	9.520	50.70	5.1	50.5	49.5	40 - 75	D60 = 16.66
1/4"	6.350						D30 = 1.49
# 4	4.750	96.96	9.7	60.2	39.8	30 - 60	D10 (DIÁMETRO EFECTIVO) = 0.2
# 8	2.360	70.32	7.0	67.3	32.6		Cu = 70.1
# 10	2.000	14.96	1.5	68.8	31.3	20 - 45	Cc = 0.56
# 16	1.190	21.80	2.2	70.9	29.1		
# 20	0.840						
# 30	0.590	52.77	5.3	76.2	23.8		
# 40	0.420	69.26	6.9	83.2	16.8	15 - 30	CONT. DE HUMEDAD = 4.1 %
# 50	0.300	40.65	4.1	87.3	12.8		
# 80	0.177						
# 100	0.149	82.32	8.3	95.5	4.5		
# 200	0.074	18.68	1.9	97.4	2.6	5 - 15	
< # 200	FONDO	26.24	2.6	100.0			

Coef. Uniformidad >6
Coef. Curvatura >3

Descripción suelo: **GRAVA POBREMENTE GRADADA CON ARENA**

CURVA GRANULOMÉTRICA



Observaciones : Las muestras fueron traídas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
Jaime A. Severino Aquino
TÉCNICO LABORATORISTA

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
Ing. Royser H. Benza Caycay
ING. CIVIL AMBIENTAL
N° 189234



Escaneado con CamScanner



CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Calle Los Ángeles N° 120. Urb. El Paraíso – Chiclayo. ☎ (074) 512307, 📠 978 360 036 – 993 595 300.
✉ constructora.ayr.chiclayo@gmail.com

CONTENIDO DE HUMEDAD
(NTP 339.127, MTC E 108)

PROYECTO	: "Socavación en base de pilares y estribos de puente La Libertad, Pacasmayo, La Libertad - 2020"		
UBICACIÓN	: Pacasmayo - La Libertad	RESP. LAB.	: R.H.B.C.
MATERIAL	: Cantera Rio Jequetepeque Km 13+450	TEC. LAB.	: J.A.S.A.
SOLICITANTE	: CHRIS BELU GALVEZ ALCALDE - ALBERT HEINS GUILLEN CABALLERO	FECHA	: 22/05/2020

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA : M-03

DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA		1	2		
N° DE TARA	:	20	7		
PESO DE LA TARA	:				
TARA + SUELO HÚMEDO	:	1200	1000		
TARA + SUELO SECO	:	1140	947		
PESO DEL AGUA	:	60	53		
PESO DEL SUELO SECO	:	1140	947		
% DE HUMEDAD	:	5.3	5.6		5.4

Observaciones : Las muestras fueron traídas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
Jaime A. Severino Aquino
TÉCNICO LABORATORISTA

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
Ing. Rosendo J. Barja Caycay
ING. CIVIL ESPECIALIZADO
CIP 18923





CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

☐ Calle Los Ángeles N° 120. Urb. El Paraíso - Chiclayo. ☎ (074) 512307, ☎ 978 360 036 - 993 595 300.
✉ constructora.ayr.chiclayo@gmail.com

ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NTP 400.012, NTP 339.134, NTP 339.135, MTC E 204)

PROYECTO : "Socavación en base de pilares y estribos de puente La Libertad, Pacasmayo, La Libertad - 2020"
UBICACIÓN : Pacasmayo - La Libertad
MATERIAL : Cantera Río Jequetepeque Km 13+450
SOLICITANTE : CHRIS BELU GALVEZ ALCALDE - ALBERT HEINS GUILLEN CABALLERO

RESP. LAB. : R.H.B.C.
TEC. LAB. : J.A.S.A.
FECHA : 22/05/2020

DATOS DE LA MUESTRA

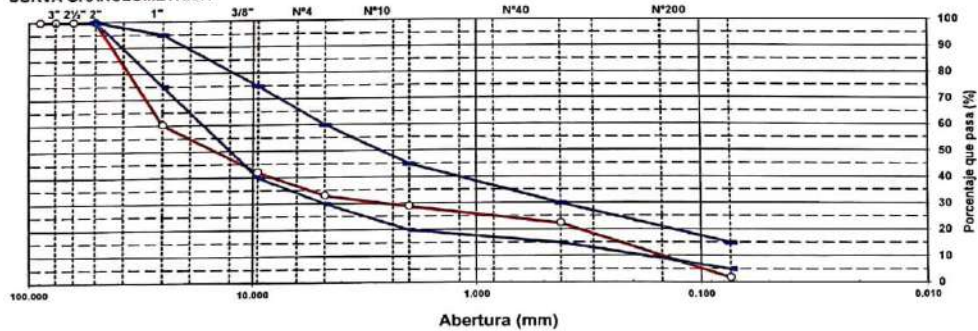
MUESTRA : M-03

DATOS DE ENSAYO

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q PASA	GRADACIÓN "B"	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3 1/2"	89.500						PESO TOTAL = 1000 gr
3"	76.200						T.M.N. = 1"
2 1/2"	63.500						PESO FRACCIÓN FINO = 332.0 gr
2"	50.800					100 - 100	
1 1/2"	38.100				100.0		
1"	25.400	306.46	39.6	39.6	60.4	75 - 95	
3/4"	19.100	34.27	3.4	43.1	56.9		CLASF. AASHTO = A-1-a (0)
1/2"	12.700	86.22	8.6	51.7	48.3		CLASF. SUCS = GP
3/8"	9.520	61.34	6.1	57.8	42.2	40 - 75	D69 = 24.631
1/4"	6.350						D30 = 2.52
# 4	4.760	90.17	9.0	66.8	33.2	30 - 60	D10 DIÁMETRO EFECTIVO = 0.2
# 8	2.360	35.05	3.5	70.3	29.7		Cu = 134.0
# 10	2.000	6.94	0.7	71.0	29.0	20 - 45	Cc = 1.40
# 16	1.190	12.09	1.2	72.2	27.8		
# 20	0.840						
# 30	0.590	21.34	2.1	74.4	25.7		
# 40	0.420	31.90	3.2	77.5	22.5	15 - 30	CONT. DE HUMEDAD = 5.4 %
# 50	0.300	32.86	3.3	80.8	19.2		
# 80	0.177						
# 100	0.149	130.07	13.0	93.8	6.2		
# 200	0.074	42.85	4.3	98.1	1.9	5 - 15	
< # 200	FONDO	19.10	1.9	100.0			
							Coef. Uniformidad >6
							Coef. Curvatura 1.4

Descripción suelo: GRAVA BIEN GRADADA CON ARENA

CURVA GRANULOMÉTRICA



Observaciones: Las muestras fueron traídas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.
Jaime A. Severino Aquino
TÉCNICO-LABORATORISTA

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.
Ing. Royser H. Burela Cayay
ING. CIVIL AMBIENTAL
109234





CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

🏠 Calle Los Ángeles N° 120. Urb. El Paraíso – Chiclayo. ☎ (074) 512307, 📠 978 360 036 – 993 595 300.
✉ constructora.ayr.chiclayo@gmail.com

CONTENIDO DE HUMEDAD
(NTP 339.127, MTC E 108)

PROYECTO	: "Socavación en base de pilares y estribos de puente La Libertad, Pacasmayo, La Libertad - 2020"		
UBICACIÓN	: Pacasmayo - La Libertad	RESP. LAB.	: R.H.B.C.
MATERIAL	: Cantera Rio Jequetepeque Km 13+450	TEC. LAB.	: J.A.S.A.
SOLICITANTE	: CHRIS BELU GALVEZ ALCALDE - ALBERT HEINS GUILLEN CABALLERO	FECHA	: 22/05/2020

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA : M-04

DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA	1	2		
N° DE TARA	: 8	36		
PESO DE LA TARA	:			
TARA + SUELO HÚMEDO	: 1200	1000		
TARA + SUELO SECO	: 1148	956		
PESO DEL AGUA	: 52	44		
PESO DEL SUELO SECO	: 1148	956		
% DE HUMEDAD	: 4.5	4.6		4.6

Observaciones : Las muestras fueron traídas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
J. Severino Aquino
Jaime A. Severino Aquino
TÉCNICO LABORATORISTA

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
Ing. Royser A. Zúñiga Caycay
Ing. Royser A. Zúñiga Caycay
ING. CIVIL AMBIENTAL
CIP: 18923





CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Calle Los Ángeles N° 120. Urb. El Paraíso – Chiclayo. ☎ (074) 512307. 📠 978 360 036 – 993 595 300.
✉ constructora.ar.chiclayo@gmail.com

ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NTP 400.012, NTP 339.134, NTP 339.135, MTC E 204)

PROYECTO : "Socavación en base de pilares y estribos de puente La Libertad, Pacasmayo, La Libertad - 2020"
UBICACIÓN : Pacasmayo - La Libertad
MATERIAL : Cantera Rio Jequetepeque Km 13+450
SOLICITANTE : CHRIS BELU GALVEZ ALCALDE - ALBERT HEINS GUILLEN CABALLERO

RESP. LAB. : R.H.B.C.
TEC. LAB. : J.A.S.A.
FECHA : 22/05/2020

DATOS DE LA MUESTRA

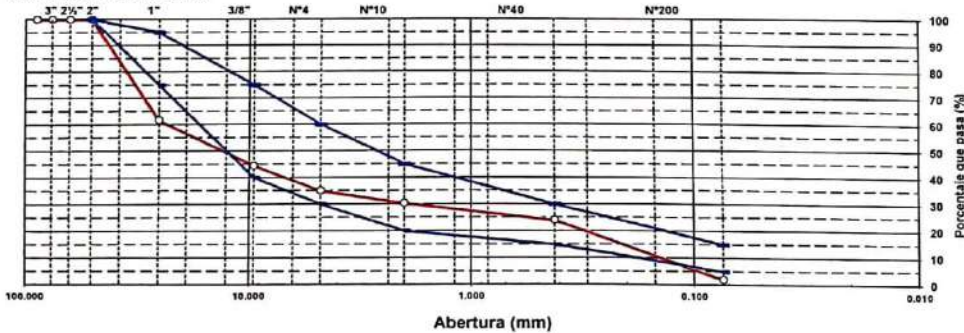
MUESTRA : M-04

DATOS DE ENSAYO

TAMIZ	ABERT. (mm)	PESO RET.	% RET. PARC.	% RET. AC.	% Q' PASA	GRADACIÓN "B"	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3 1/2"	88.900						PESO TOTAL = 999 gr	
3"	76.200						T. M.N. = 1"	
2 1/2"	63.500						PESO FRACCIÓN FINO = 351.0 gr	
2"	50.800					100 - 100		
1 1/2"	38.100				100.0			
1"	25.400	381.86	38.2	38.2	61.8	75 - 95		
3/4"	19.100	29.91	3.0	41.2	58.8		CLASF. AASHTO = A-1-a (0)	
1/2"	12.700	80.23	8.0	49.2	50.8		CLASF. SUCS = GP	
3/8"	9.520	62.85	6.3	55.5	44.5	40 - 75	D60 = 21.435	
1/4"	6.350						D30 = 1.67	
# 4	4.760	94.15	9.4	65.0	35.1	30 - 60	D10 (DIAMETRO EFECTIVO) = 0.2	
# 8	2.360	39.70	4.0	68.9	31.1		Cu = 122.0	
# 10	2.000	7.06	0.7	69.6	30.4	20 - 45	Cc = 0.74	
# 16	1.190	11.26	1.1	70.7	29.3			
# 20	0.840							
# 30	0.590	20.12	2.0	72.7	27.3			
# 40	0.420	31.88	3.2	75.9	24.1	15 - 30	CONT. DE HUMEDAD = 4.6 %	
# 50	0.300	42.08	4.2	80.1	19.9			
# 80	0.177							
# 100	0.149	129.36	12.9	93.0	7.0			
# 200	0.074	49.27	4.9	98.0	2.0	5 - 15		
< # 200	FONDO	20.27	2.0	100.0				
							Coef. Uniformidad	>5
							Coef. Curvatura	>3

Descripción suelo: GRAVA POBREMENTE GRADADA CON ARENA

CURVA GRANULOMÉTRICA



Observaciones : Las muestras fueron traídas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
Jairine A. Severino Aquino
TÉCNICO LABORATORISTA

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
Ing. Roysef H. Ortega Cayay
ING. CIVIL AMBIENTAL
CIP: 18924





CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Calle Los Ángeles N° 120. Urb. El Paraíso - Chiclayo. ☎ (074) 512307, 📠 978 360 036 - 993 595 300.
✉ constructora.ayr.chiclayo@gmail.com

CONTENIDO DE HUMEDAD
(NTP 339.127, MTC E 108)

PROYECTO	: "Socavación en base de pilares y estribos de puente La Libertad, Pacasmayo, La Libertad - 2020"		
UBICACIÓN	: Pacasmayo - La Libertad	RESP. LAB.	: R.H.B.C.
MATERIAL	: Cantera Rio Jequetepeque Km 13+450	TEC. LAB.	: J.A.S.A.
SOLICITANTE	: CHRIS BELU GALVEZ ALCALDE - ALBERT HEINS GUILLEN CABALLERO	FECHA	: 22/05/2020

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA : M-05

DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA		1	2	
N° DE TARA	:	3	12	
PESO DE LA TARA	:			
TARA + SUELO HÚMEDO	:	1200	1000	
TARA + SUELO SECO	:	1150	958	
PESO DEL AGUA	:	50	42	
PESO DEL SUELO SECO	:	1150	958	
% DE HUMEDAD	:	4.3	4.4	4.4

Observaciones : Las muestras fueron traídas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
J. Severino Aquino
Jaime A. Severino Aquino
TÉCNICO LABORATORISTA

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
Ing. Royser A. Banda Caycay
Ing. Royser A. Banda Caycay
ING. CIVIL AMBIENTAL
CIP 189234



Escaneado con CamScanner



CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Calle Los Ángeles N° 120. Urb. El Paraíso - Chiclayo. ☎ (074) 512307. 📠 978 360 036 - 993 595 300.
✉ constructora.ar.chiclayo@gmail.com

ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NTP 400.012, NTP 339.134, NTP 339.135, MTC E 204)

PROYECTO : "Socavación en base de pilares y estribos de puente La Libertad, Pacasmayo, La Libertad - 2020"
UBICACIÓN : Pacasmayo - La Libertad
MATERIAL : Cantera Río Jequetepeque Km 13+450
SOLICITANTE : CHRIS BELU GALVEZ ALCALDE - ALBERT HEINS GUILLEN CABALLERO

RESP. LAB. : R.H.B.C.
TEC. LAB. : J.A.S.A.
FECHA : 22/05/2020

DATOS DE LA MUESTRA

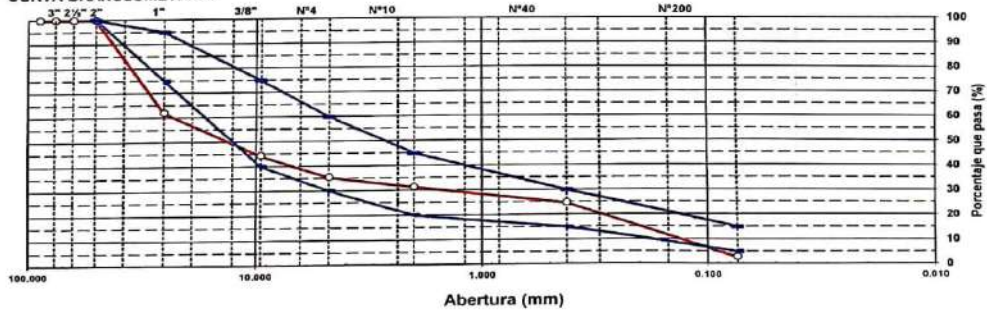
MUESTRA : M-05

DATOS DE ENSAYO

TAMIZ	ABERT. mm	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% C/ PASA	GRADACIÓN "B"	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3 1/2"	89.900						PESO TOTAL = 1002 gr	
3"	76.200						T. M.N. = 1"	
2 1/2"	63.500						PESO FRACCIÓN FINO = 356.0 gr	
2"	50.800					100 - 100		
1 1/2"	38.100				100.0			
1"	25.400	380.26	38.0	38.0	62.0	75 - 95		
3/4"	19.100	31.45	3.1	41.1	58.9		CLASF. AASHTO = A-1-a (0)	
1/2"	12.700	90.12	9.0	50.1	49.9		CLASF. SUCS = GP	
3/8"	9.520	55.49	5.5	55.7	44.4	40 - 75	D60 = 21.125	
1/4"	6.350						D30 = 1.45	
# 4	4.760	88.25	8.8	64.5	35.5	30 - 60	D10 (DIAMETRO EFECTIVO) = 0.2	
# 8	2.360	33.95	3.4	67.9	32.2		Cu = 127.1	
# 10	2.000	8.15	0.8	68.7	31.3	20 - 45	Cc = 0.60	
# 16	1.190	13.44	1.3	70.0	30.0			
# 20	0.840							
# 30	0.590	21.13	2.1	72.1	27.9			
# 40	0.420	31.29	3.1	75.2	24.8	15 - 30	CONT. DE HUMEDAD = 4.4 %	
# 50	0.300	39.05	3.9	79.1	20.9			
# 80	0.177							
# 100	0.149	129.11	12.9	92.0	8.0			
# 200	0.074	51.00	5.1	97.1	2.9	5 - 15		
< # 200	FONDO	28.88	2.9	100.0				
							Coef. Uniformidad >6	
							Coef. Curvatura >3	

Descripción suelo: **GRAVA POBREMENTE GRADADA CON ARENA**

CURVA GRANULOMETRICA



Observaciones : Las muestras fueron traídas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.
Jaime A. Severino Aquino
TÉCNICO LABORATORISTA

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.
Ing. Royser L. Poma Cayay
ING. CIVIL AMBIENTAL
CIP 18983





CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

🏠 Calle Los Ángeles N° 120. Urb. El Paraíso – Chiclayo. ☎ (074) 512307, 📠 978 360 036 – 993 595 300.
✉ constructora.avr.chiclayo@gmail.com

**CONTENIDO DE HUMEDAD
(NTP 339.127, MTC E 108)**

PROYECTO	: "Socavación en base de pilares y estribos de puente La Libertad, Pacasmayo, La Libertad - 2020"		
UBICACIÓN	: Pacasmayo - La Libertad	RESP. LAB. :	R.H.B.C.
MATERIAL	: Cantera Rio Jequetepeque Km 13+450	TEC. LAB. :	J.A.S.A.
SOLICITANTE	: CHRIS BELU GALVEZ ALCALDE - ALBERT HEINS GUILLEN CABALLERO	FECHA :	22/05/2020

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA : M-06

DATOS DEL ENSAYO

MUESTRA		1	2		
N° DE TARA	:	29	10		
PESO DE LA TARA	:				
TARA + SUELO HÚMEDO	:	1200	1000		
TARA + SUELO SECO	:	1147	957		
PESO DEL AGUA	:	53	43		
PESO DEL SUELO SECO	:	1147	957		
% DE HUMEDAD	:	4.6	4.5		4.6

Observaciones : Las muestras fueron traídas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
J. Severino Aquino
Jaime A. Severino Aquino
TÉCNICO LABORATORISTA

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA
A&R S.A.C.
Ing. Royser H. Bujanda Caycay
ING. CIVIL AMBIENTAL
CIP: 169234





CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.

- Elaboración de Expedientes Técnicos.
- Ejecución, Supervisión y Evaluación de Obras.
- Estudio de Geotecnia - Laboratorio de Materiales.
- Estudios Topográficos.

📍 Calle Los Ángeles N° 120, Urb. El Paraíso – Chiclayo. ☎ (074) 512307, 📠 978 360 036 – 993 595 300.
✉ constructora.gyr.chiclayo@gmail.com

ENSAYO GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NTP 400.012, NTP 339.134, NTP 339.135, MTC E 204)

PROYECTO : "Socavación en base de pilares y estribos de puente La Libertad, Pacasmayo, La Libertad - 2020"
UBICACIÓN : Pacasmayo - La Libertad
MATERIAL : Cantera Rio Jequetepeque Km 13+450
SOLICITANTE : CHRIS BELU GALVEZ ALCALDE - ALBERT HEINS GUILLEN CABALLERO
RESP. LAB. : R.H.B.C.
TEC. LAB. : J.A.S.A.
FECHA : 22/05/2020

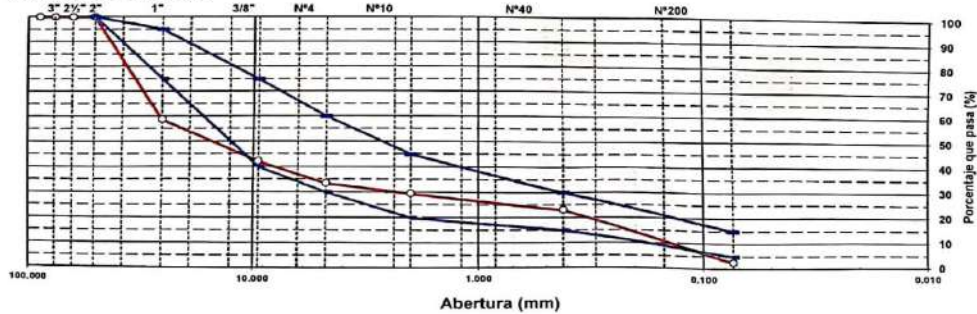
DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA : M-06

DATOS DE ENSAYO

TAMIZ	ABERT. (mm)	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q PASA	GRADACIÓN "B"	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
3 1/2"	89.000						PESO TOTAL = 1000 gr	
3"	76.200						T.M.N. = 1"	
2 1/2"	63.500						PESO FRACCIÓN FINO = 336.0 gr	
2"	50.800					100 - 100		
1 1/2"	38.100				100.0			
1"	25.400	411.00	41.1	41.1	58.9	75 - 95		
3/4"	19.100	25.83	2.6	43.7	56.3		CLASF. AASHTO = A-1-a (0)	
1/2"	12.700	63.77	8.4	52.1	47.9		CLASF. SUCS = GP	
3/8"	9.520	57.28	5.7	57.8	42.2	40 - 75	D50 = 25.677	
1/4"	6.350						D30 = 2.37	
# 4	4.760	66.14	6.6	66.4	33.6	30 - 60	D10(DIAMETRO EFECTIVO) = 0.2	
# 8	2.360	36.23	3.6	70.0	30.0		Cu = 145.5	
# 10	2.000	4.63	0.5	70.5	29.5	20 - 45	Cc = 1.26	
# 16	1.190	10.15	1.0	71.5	28.5			
# 20	0.840							
# 30	0.590	18.13	1.8	73.3	26.7			
# 40	0.420	34.92	3.5	76.8	23.2	15 - 30	CONT. DE HUMEDAD = 4.6 %	
# 50	0.300	34.10	3.4	80.2	19.8			
# 80	0.177							
# 100	0.149	124.40	12.4	92.7	7.3			
# 200	0.074	46.02	4.6	97.3	2.8	5 - 15		
< # 200	FONDO	27.42	2.7	100.0				
Coef. Uniformidad							>6	
Coef. Curvatura							1.3	
Descripción suelo: GRAVA BIEN GRADADA CON ARENA								

CURVA GRANULOMÉTRICA



Observaciones : Las muestras fueron traídas por el solicitante.

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.
Ing. Jaime A. Severino Aquino
TÉCNICO LABORATORISTA

CONSTRUCTORA Y CONSULTORIA A&R S.A.C.
Ing. Rober A. Palma Caycey
ING. CIVIL - AMBIENTAL
IP 18923



Escaneado con CamScanner

ANEXO 7. Estudio Topográfico

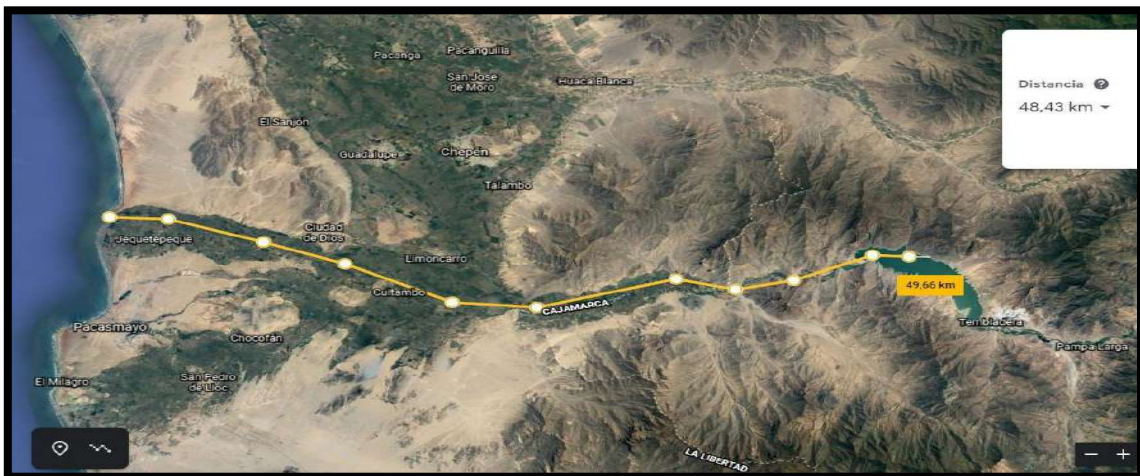
Se inicio con dos puntos geodésicos de coordenadas conocidas ubicado desde la represa Gallito Ciego con una estación total, se prosiguió el levantamiento aguas abajo con dirección al mar.

Se utilizo la técnica de poligonal abierta para enlazar los puntos BM de control, se levantó el río a cada 50m, del borde hasta su faja marginal, se levantó hasta 500 m. a ambos lados del eje del río, la progresiva del mar la denominamos 0+000.

En gabinete se procesó la información topográfica en el programa Civil 3D, para la creación de las secciones geométricas del rio, que se emplean en el programa HEC-RAS para el modelamiento del flujo.



progresiva 0+000. (Fuente: Elaboración Propia)



progresiva 48+320. (Fuente: Elaboración Propia)



Distancia desde el nivel 0.+000 hasta el puente 13+450. (Fuente: Elaboración Propia)



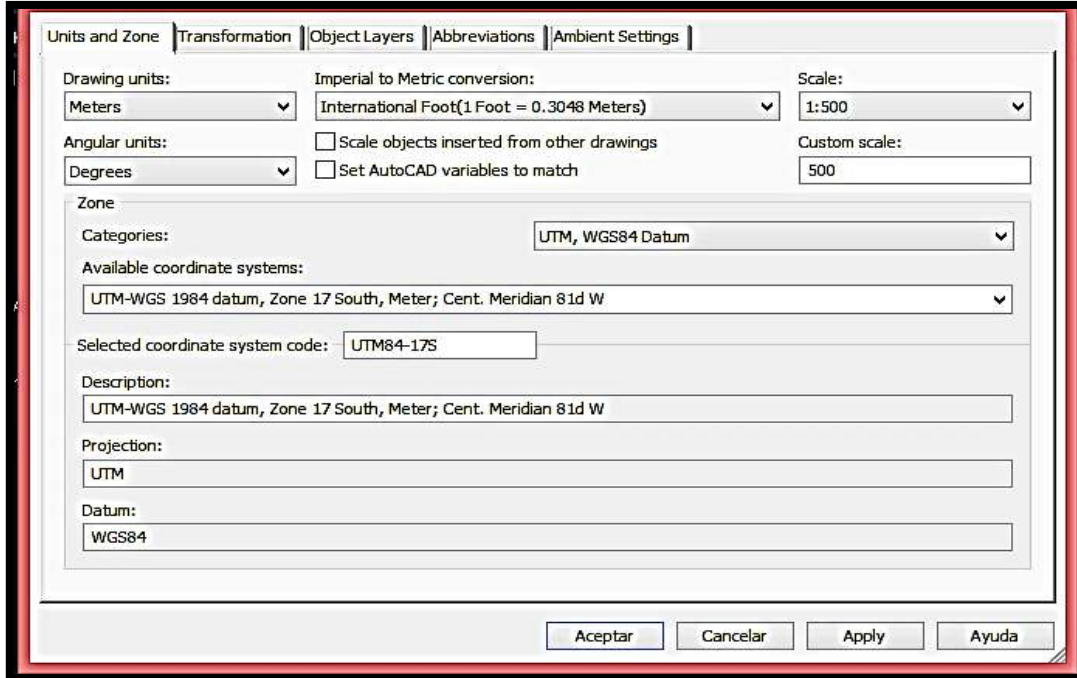
Distancia desde el nivel 0.+000 hasta el puente 13+450. (Fuente: Elaboración Propia)

Procesamiento de datos topográficos en Civil 3D.

La obtención geométrica del río se obtiene en el programa Civil 3D, siguiendo los pasos siguientes:

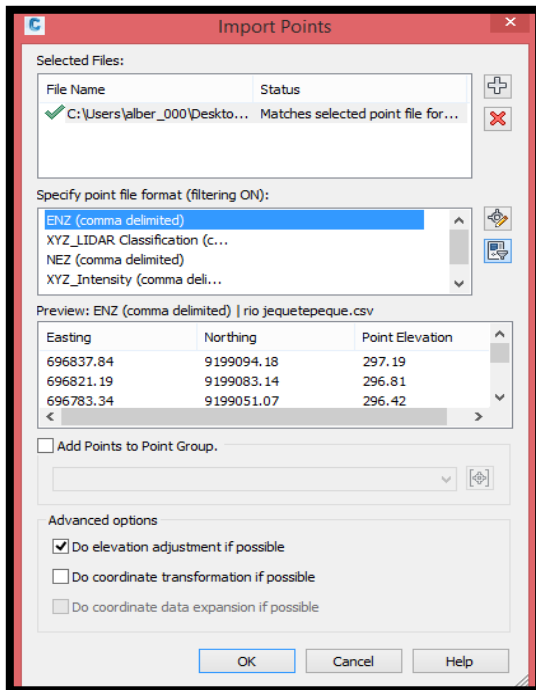
1. Configuración del entorno.

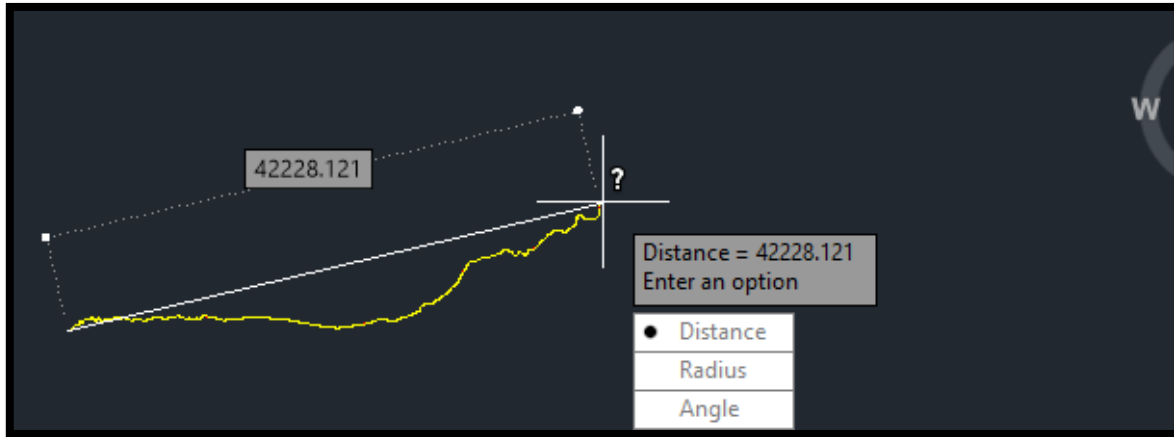
Abrir el programa, opción *toolspace*, ficha *setting*, click derecho y configuramos la zona y sistema métrico.



2. Ingreso de puntos topográficos a la *Data* del sistema.

Click en *Home* y en la ficha *Points*, cargamos los puntos en *Create Points*.

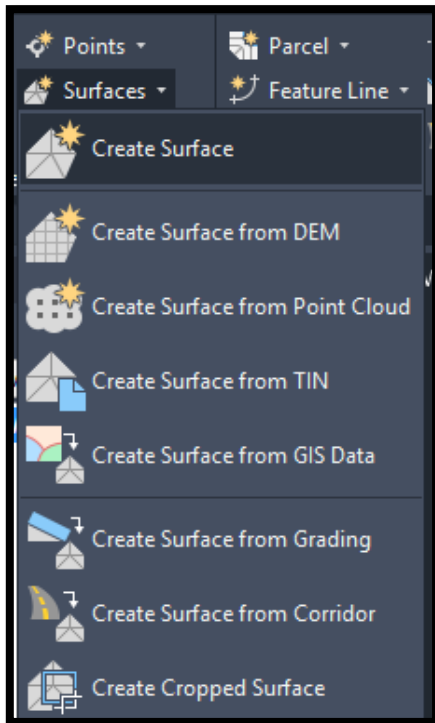




Distancia desde la progresiva 0+000 a 48+320

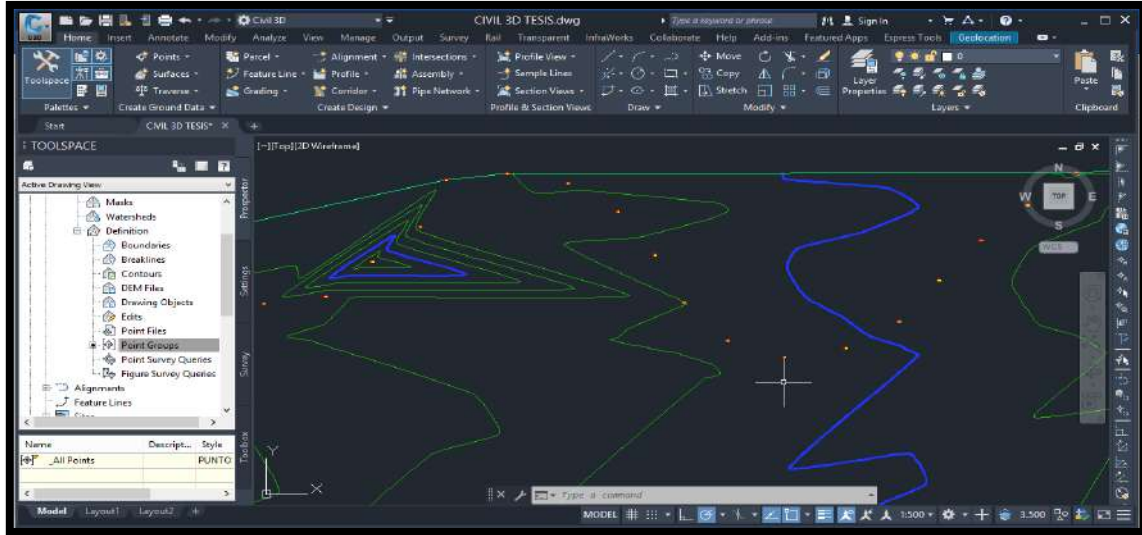
3. Creación de la superficie de la malla en 3D.

En *prospector* del *toolspace* damos clic derecho en *Surface*

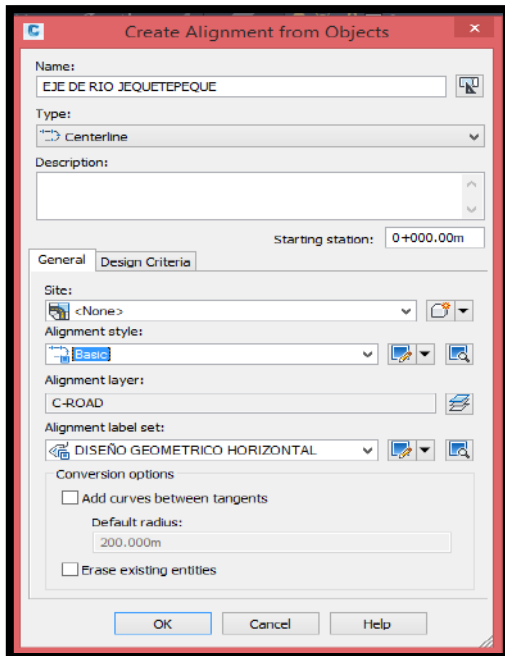
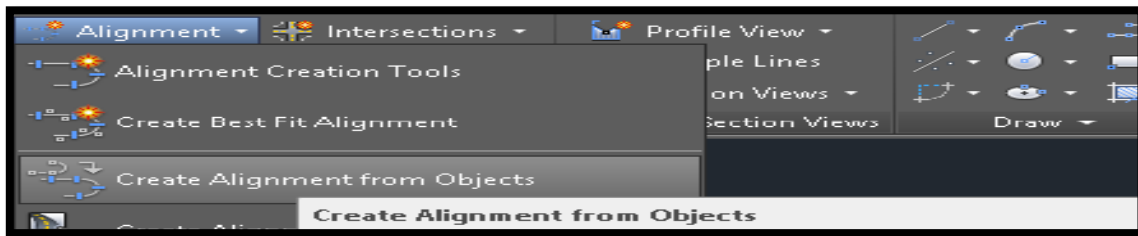


4. creación del eje del río

Con una polilínea creamos el eje y los bordes del río, configuramos las curvas de nivel cada 0.5 m.



5. Creación del Alineamiento con respecto al eje del río

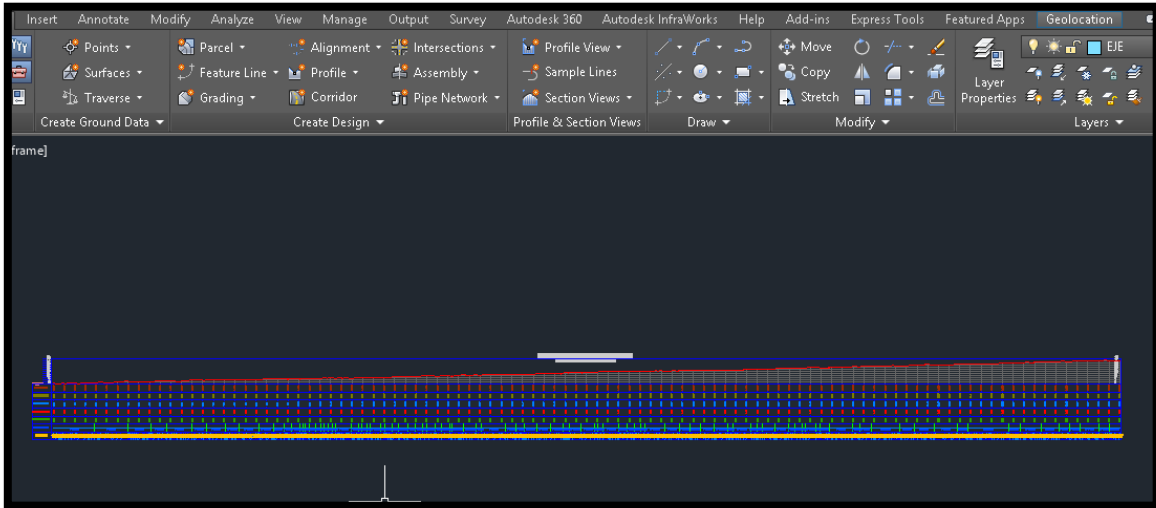


Nombre del alineamiento y sus características.

6. Perfil topográfico

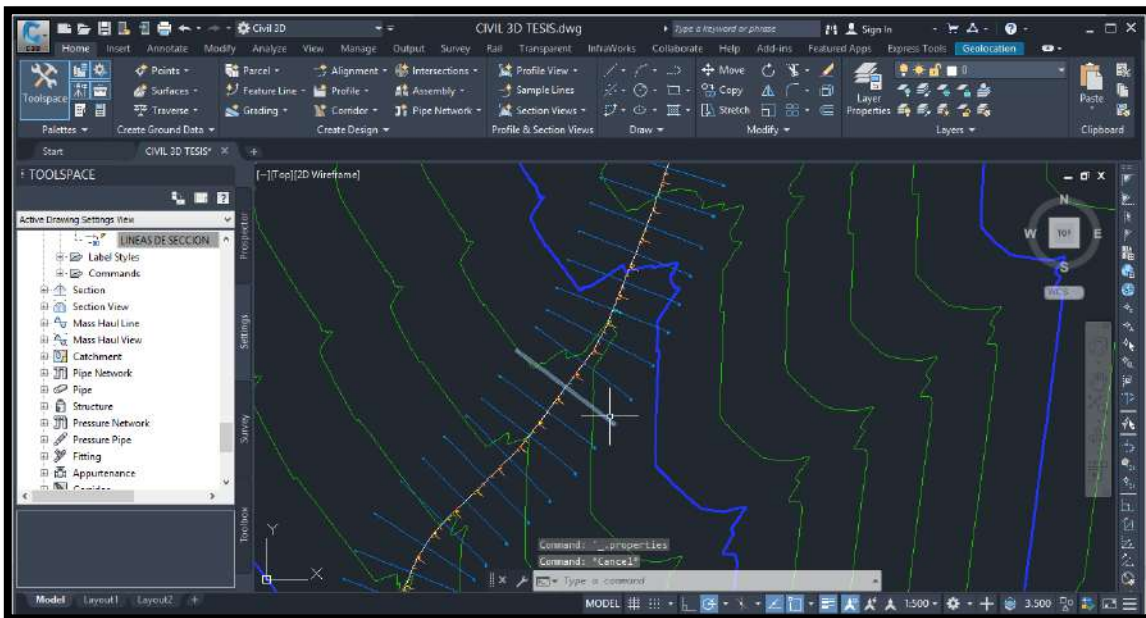
Creamos el perfil topográfico. En la pestaña *Profile*, botón *Create Surface Profile*. Perfil

Topográfico del Río Jequetepeque desde el tramo 0+000 al 48+320 ($S=0.0085$).



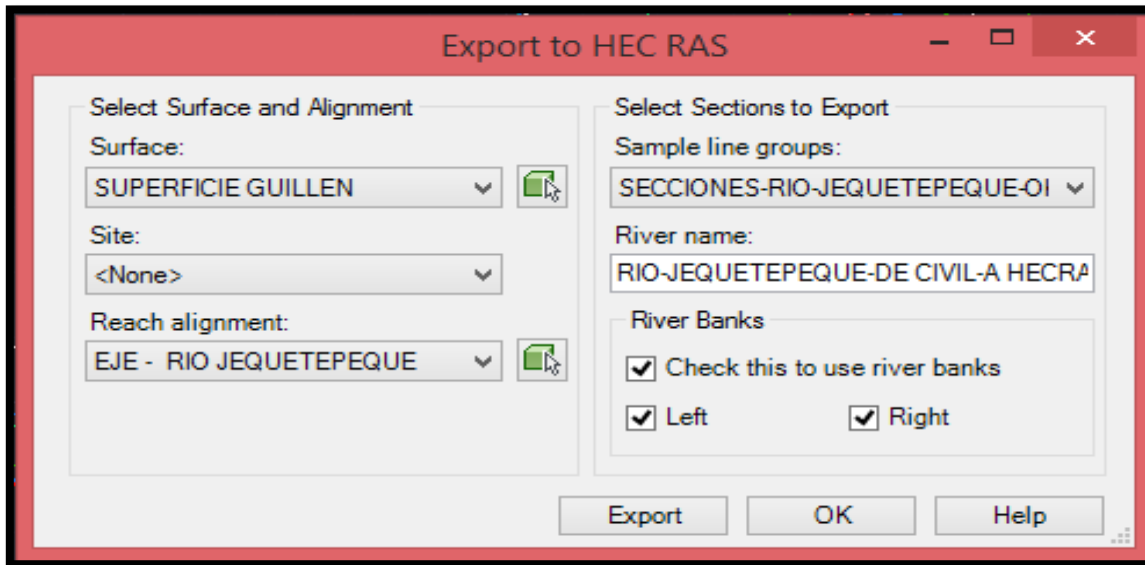
7. Creación de las secciones transversales

Con el botón *sample line* Obtenemos las secciones trasversales; seleccionamos el alineamiento, creamos el seccionamiento cada 50 m.



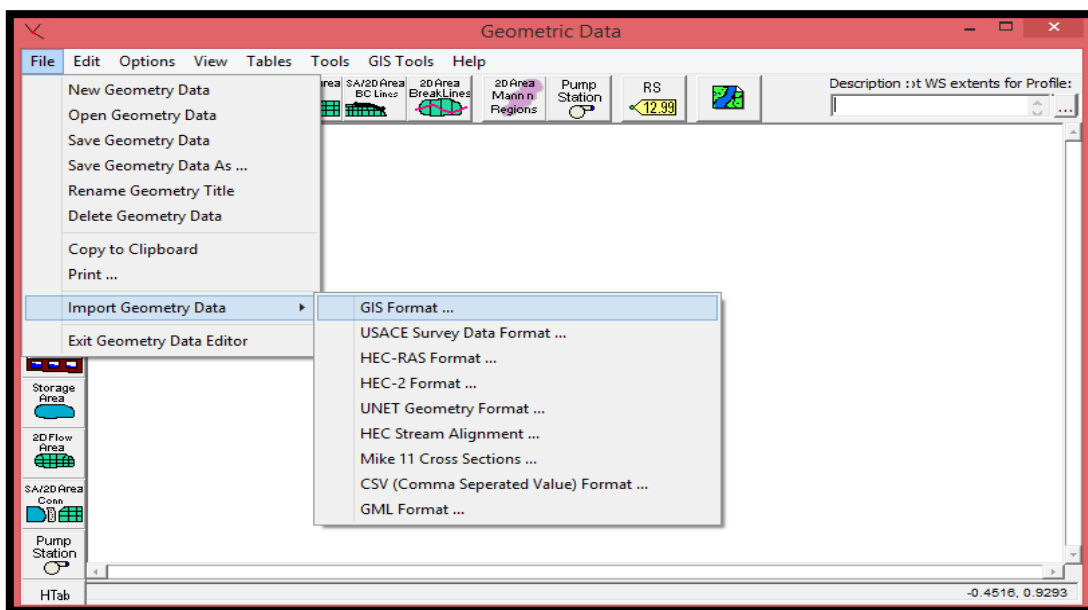
8. Exportación a HEC RAS

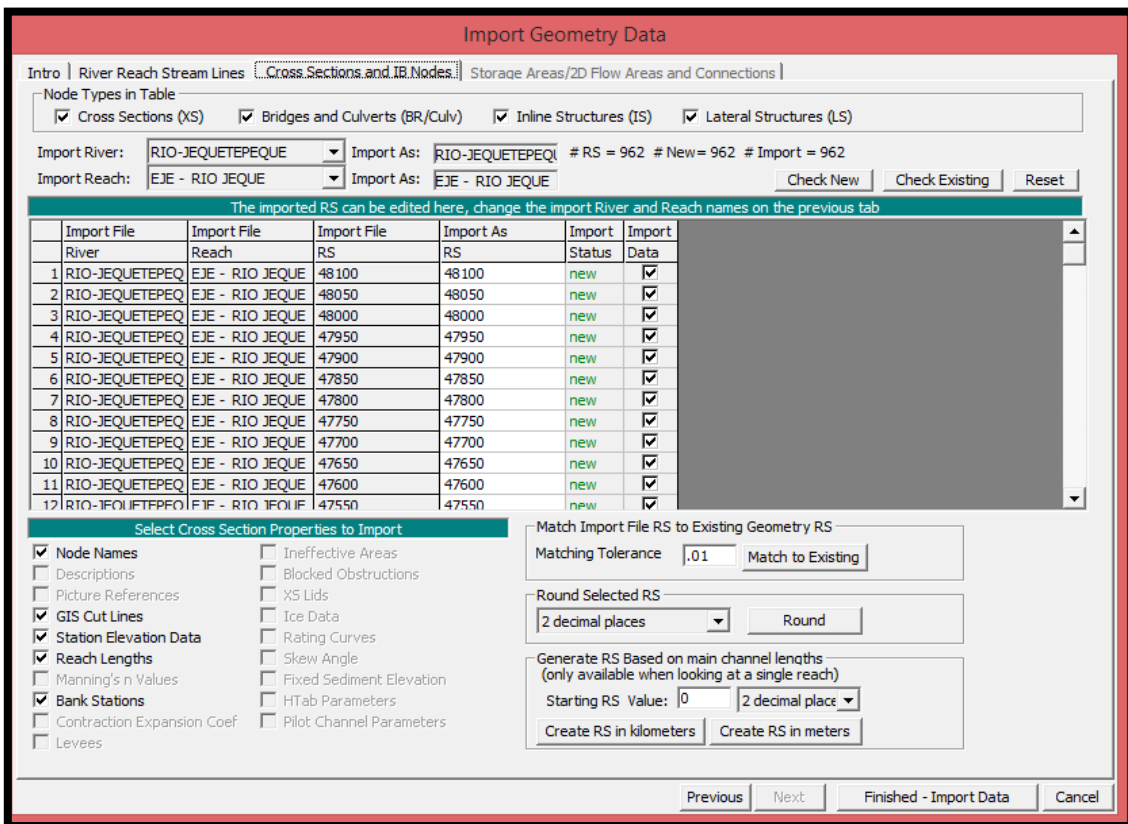
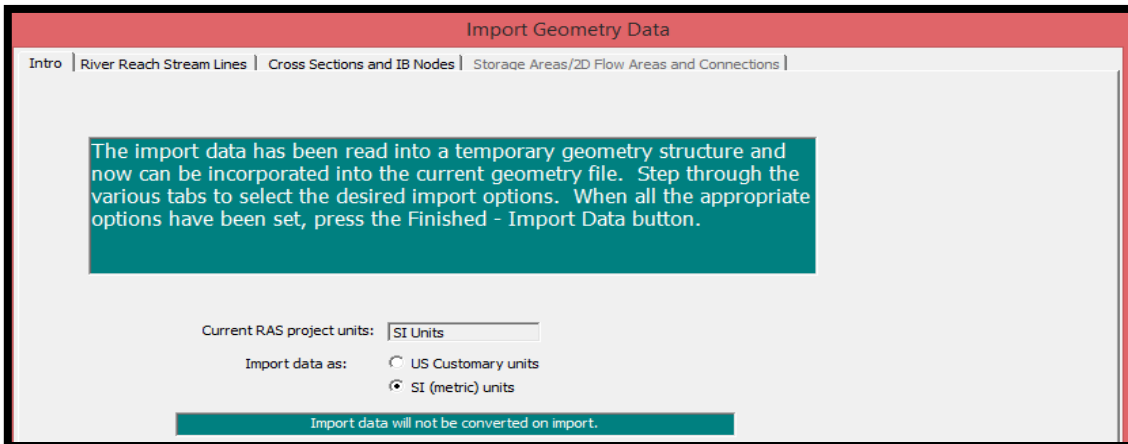
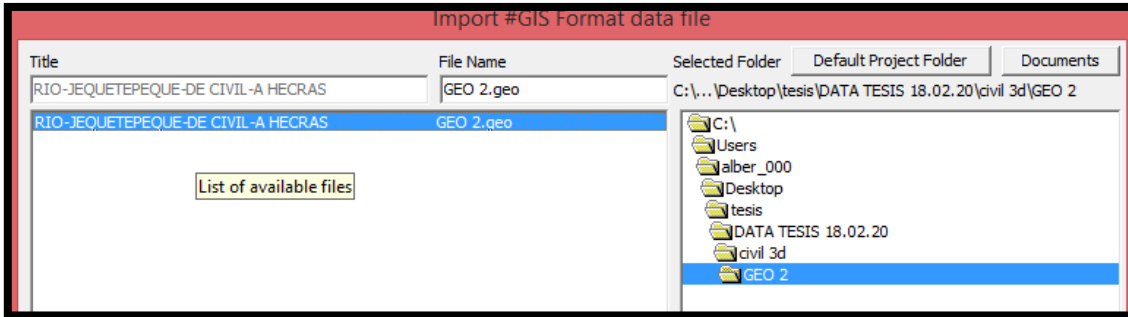
- Se exporta a HEC-RAS en la pestaña *Output*, opción *Export to HEC RAS*.



8. Importación a HEC RAS

- Finalmente, estando en el HEC RAS se importa el archivo .GEO en *Import Geometry Data*.





ANEXO 8. Coordenadas del eje principal del rio Jequetepeque

N°	RS	X Coord	Y Coord	Z	N°	RS	X Coord	Y Coord	Z
1	48320	696837.84	9199094.18	297.19	61	45350	694999.32	9198088.9	279.8
2	48300	696821.19	9199083.14	296.81	62	45300	694970.22	9198048.3	279.4
3	48250	696783.34	9199051.07	296.42	63	45250	694959.4	9198000.69	278.84
4	48200	696749.96	9199013.86	296.44	64	45200	694963.21	9197951.81	277.87
5	48150	696717.11	9198976.16	295.92	65	45150	694978.83	9197904.31	277.28
6	48100	696692.96	9198933.29	296.01	66	45100	694994.45	9197856.81	276.97
7	48050	696694.62	9198884.67	295.75	67	45050	695005.9	9197809.37	275.34
8	48000	696713.93	9198838.56	294.37	68	45000	694979.53	9197766.89	274.96
9	47950	696729.97	9198791.29	292.26	69	44950	694954.3	9197723.77	275.78
10	47900	696736.9	9198742.14	292.92	70	44900	694931.84	9197679.1	275.43
11	47850	696729.98	9198692.95	292.25	71	44850	694909.64	9197634.3	274.81
12	47800	696721.97	9198643.73	291.08	72	44800	694888.56	9197588.96	274.86
13	47750	696719.55	9198593.85	291.16	73	44750	694867.48	9197543.62	274.36
14	47700	696724.02	9198544.05	290.69	74	44700	694843	9197500.4	273.62
15	47650	696726.43	9198494.13	291.24	75	44650	694811.45	9197461.61	273.78
16	47600	696727.71	9198444.15	290.71	76	44600	694779.9	9197422.82	273.62
17	47550	696727.59	9198394.24	289.74	77	44550	694748.35	9197384.04	273.43
18	47500	696720.77	9198344.71	289.98	78	44500	694716.79	9197345.25	273.08
19	47450	696713.95	9198295.17	289.51	79	44450	694676.79	9197315.72	272.55
20	47400	696706.62	9198245.77	289.33	80	44400	694635.21	9197287.96	273.18
21	47350	696687.1	9198199.74	289.26	81	44350	694593.62	9197260.2	272.3
22	47300	696667.58	9198153.71	289.37	82	44300	694553.41	9197230.64	272.21
23	47250	696635.81	9198115.36	288.79	83	44250	694515.76	9197197.76	271.49
24	47200	696602.73	9198077.87	288.63	84	44200	694475.42	9197168.21	271.33
25	47150	696569.68	9198040.35	288.06	85	44150	694436.69	9197136.7	270.91
26	47100	696540.19	9197999.98	287.87	86	44100	694399.05	9197103.8	270.64
27	47050	696508.19	9197961.79	288.08	87	44050	694358.69	9197074.42	270.11
28	47000	696467.16	9197933.23	288.91	88	44000	694322.26	9197040.35	270.05
29	46950	696422.96	9197910.47	287.94	89	43950	694292.58	9197000.18	270.04
30	46900	696376.64	9197891.66	287.32	90	43900	694256.78	9196965.32	269.86
31	46850	696330.31	9197872.84	287.12	91	43850	694219.41	9196932.1	269.74
32	46800	696283.99	9197854.02	287.17	92	43800	694183.09	9196897.75	269.28
33	46750	696236.35	9197841.74	288.97	93	43750	694142.54	9196869.49	268.62
34	46700	696186.35	9197841.84	286.72	94	43700	694096.11	9196853.13	267.8
35	46650	696136.35	9197841.94	286.48	95	43650	694046.28	9196849.06	267.2
36	46600	696086.35	9197842.03	285.87	96	43600	693997.14	9196851.71	266.9
37	46550	696036.38	9197841.14	287.73	97	43550	693949.35	9196866.41	266.62
38	46500	695986.46	9197838.26	285.37	98	43500	693901.56	9196881.1	266.32
39	46450	695938.04	9197825.83	284.82	99	43450	693854.21	9196896.96	265.97
40	46400	695888.34	9197821.18	284.81	100	43400	693808.72	9196917.72	265.29
41	46350	695838.47	9197817.49	284.41	101	43350	693763.23	9196938.47	265.52
42	46300	695788.61	9197813.81	284.4	102	43300	693717.74	9196959.23	265.36
43	46250	695738.75	9197810.12	284.66	103	43250	693672.25	9196979.98	265.28
44	46200	695689.01	9197809.34	284.51	104	43200	693628.02	9197003.08	265.19
45	46150	695639.75	9197817.91	283.91	105	43150	693582.02	9197022.68	264.9
46	46100	695599.14	9197845.01	283.16	106	43100	693532.57	9197027.92	264.48
47	46050	695561.26	9197877.65	282.97	107	43050	693482.68	9197031.17	263.95
48	46000	695533.59	9197919.13	282.17	108	43000	693433.64	9197022.63	263.48
49	45950	695504.06	9197959.45	282.31	109	42950	693384.77	9197012.05	263.3
50	45900	695474.6	9197999.85	282.44	110	42900	693336.57	9196999.37	263.45
51	45850	695444.61	9198039.86	282.61	111	42850	693290.53	9196979.88	263.55
52	45800	695414.59	9198079.84	282.46	112	42800	693244.48	9196960.38	263.33
53	45750	695376.5	9198111.65	282.03	113	42750	693198.44	9196940.89	262.99
54	45700	695330.78	9198130.91	280.73	114	42700	693155.25	9196916.23	262.76
55	45650	695281.57	9198138.96	280.3	115	42650	693114.29	9196887.55	262.12
56	45600	695231.64	9198141.62	280.41	116	42600	693073.34	9196858.87	261.58
57	45550	695181.71	9198144.28	280.78	117	42550	693032.38	9196830.18	261.31
58	45500	695131.78	9198146.25	280.58	118	42500	692991.43	9196801.5	261.15
59	45450	695082.32	9198141.79	280.5	119	42450	692950.72	9196772.48	260.81
60	45400	695037	9198121.77	280.25	120	42400	692910.31	9196743.03	260.39



N°	RS	X Coord	Y Coord	Z	N°	RS	X Coord	Y Coord	Z
121	42350	692869.9	9196713.58	259.76	181	39350	690639.82	9195277.7	232.69
122	42300	692829.5	9196684.13	259.17	182	39300	690597.89	9195304.93	232.83
123	42250	692789.09	9196654.68	258.96	183	39250	690555.87	9195331.99	231.69
124	42200	692748.68	9196625.23	258.75	184	39200	690507.6	9195339.54	230.77
125	42150	692712.65	9196590.9	258.43	185	39150	690465.95	9195312.85	229.57
126	42100	692679.01	9196553.91	258.04	186	39100	690443.41	9195269.04	229.79
127	42050	692645.37	9196516.92	257.68	187	39050	690432.12	9195220.33	230.24
128	42000	692611.72	9196479.93	257.29	188	39000	690408.38	9195177.8	228.88
129	41950	692578.08	9196442.94	256.92	189	38950	690396.34	9195129.6	228.12
130	41900	692542.3	9196408.15	256.45	190	38900	690357.71	9195097.97	227.48
131	41850	692504.31	9196375.65	255.98	191	38850	690313.56	9195074.93	226.93
132	41800	692466.31	9196343.15	255.5	192	38800	690266.5	9195058.05	226.7
133	41750	692428.32	9196310.64	255.09	193	38750	690218.8	9195048.1	225.77
134	41700	692390.32	9196278.14	254.9	194	38700	690170.12	9195057.09	225
135	41650	692352.33	9196245.64	254.69	195	38650	690122.13	9195069.12	224.45
136	41600	692314.33	9196213.14	254.3	196	38600	690085.96	9195102.18	224.93
137	41550	692276.34	9196180.64	253.92	197	38550	690049.22	9195135.33	224.74
138	41500	692240.82	9196145.47	253.53	198	38500	690020.13	9195175.76	223
139	41450	692205.66	9196109.92	253.22	199	38450	689995.68	9195219.35	222.95
140	41400	692170.5	9196074.37	253	200	38400	689974.23	9195264.51	221.81
141	41350	692135.35	9196038.82	252.58	201	38350	689939.09	9195299.65	220.9
142	41300	692111.61	9195995.2	251.9	202	38300	689900.98	9195332	220.22
143	41250	692090.04	9195950.09	251.24	203	38250	689865.37	9195367.1	219.55
144	41200	692068.25	9195905.12	250.85	204	38200	689826.75	9195398.21	218.85
145	41150	692029.55	9195873.61	250.72	205	38150	689782.71	9195421.86	217.67
146	41100	691990.43	9195842.47	250.52	206	38100	689738.34	9195444.91	217.62
147	41050	691951.31	9195811.33	250.01	207	38050	689693.62	9195467.06	217.02
148	41000	691912.19	9195780.19	249.77	208	38000	689646.34	9195483.34	216.85
149	40950	691873.07	9195749.05	249.27	209	37950	689598.24	9195495.39	215.97
150	40900	691833.95	9195717.91	248.87	210	37900	689548.29	9195497.68	215.38
151	40850	691793.06	9195689.29	248.41	211	37850	689498.32	9195499.51	215.52
152	40800	691752.44	9195660.59	248	212	37800	689448.33	9195499.66	214.91
153	40750	691717.06	9195625.26	247.71	213	37750	689398.93	9195494.16	214.7
154	40700	691678.95	9195593.79	247.1	214	37700	689351.11	9195480.26	214.42
155	40650	691633.62	9195572.69	247.32	215	37650	689305.82	9195459.1	213.89
156	40600	691587.15	9195554.92	245.7	216	37600	689261.77	9195435.46	213.47
157	40550	691537.94	9195546.32	246.64	217	37550	689224.54	9195402.26	212.61
158	40500	691488.36	9195540.19	246.56	218	37500	689188.01	9195368.13	212.19
159	40450	691438.46	9195543.01	246.48	219	37450	689149.34	9195336.47	212.31
160	40400	691389.26	9195551.78	246.36	220	37400	689110.21	9195305.34	212.48
161	40350	691340.85	9195547.59	246.31	221	37350	689072.13	9195272.95	212.49
162	40300	691296.27	9195526.07	244.82	222	37300	689033.24	9195241.88	210.78
163	40250	691259.31	9195492.39	244.96	223	37250	688988.12	9195220.33	211.85
164	40200	691232.5	9195450.68	243.19	224	37200	688943	9195198.78	210.01
165	40150	691208.56	9195406.79	241.9	225	37150	688897.23	9195178.74	210.29
166	40100	691189.15	9195360.72	241.33	226	37100	688850.66	9195160.55	210.01
167	40050	691169.86	9195314.59	241.45	227	37050	688803.07	9195145.53	209.82
168	40000	691150.1	9195268.66	241.63	228	37000	688754.56	9195133.42	209.37
169	39950	691137.24	9195220.53	241.54	229	36950	688706.63	9195119.17	208.66
170	39900	691119.06	9195174.67	241.2	230	36900	688657.73	9195109	207.82
171	39850	691085.26	9195139.17	240.68	231	36850	688608.54	9195100.06	207.12
172	39800	691040.91	9195117.75	239.39	232	36800	688559.35	9195091.11	207.07
173	39750	690991.87	9195108.3	238.9	233	36750	688510.15	9195082.17	207.15
174	39700	690943.36	9195113.04	237.94	234	36700	688462.64	9195067.25	207.22
175	39650	690896.7	9195130.79	236.6	235	36650	688416.03	9195049.17	206.81
176	39600	690855.05	9195158.45	235.26	236	36600	688370.14	9195029.6	206.49
177	39550	690818.28	9195191.17	234.79	237	36550	688327.38	9195003.69	205.9
178	39500	690774.47	9195212.12	233.08	238	36500	688284.61	9194977.78	205.03
179	39450	690728.97	9195232.85	233.1	239	36450	688239.34	9194956.74	204.61
180	39400	690683.47	9195253.58	232.25	240	36400	688193.49	9194936.79	204.49



N°	RS	X Coord	Y Coord	Z	N°	RS	X Coord	Y Coord	Z
241	36350	688145.41	9194926.81	204.17	301	33350	685945.69	9193319.88	184.71
242	36300	688095.62	9194923.12	205.91	302	33300	685924.44	9193274.62	184.36
243	36250	688046.48	9194914.49	203.5	303	33250	685903.18	9193229.36	183.75
244	36200	687998.46	9194900.58	203.45	304	33200	685881.93	9193184.1	183.1
245	36150	687951.21	9194884.31	203.45	305	33150	685860.68	9193138.84	182.42
246	36100	687902.11	9194875.32	203.23	306	33100	685839.43	9193093.59	182.56
247	36050	687852.54	9194868.88	203.01	307	33050	685818.17	9193048.33	182.62
248	36000	687803.1	9194861.84	201.93	308	33000	685796.92	9193003.07	182.14
249	35950	687754.4	9194850.49	201.49	309	32950	685775.67	9192957.81	181.89
250	35900	687705.32	9194840.95	201.13	310	32900	685751.91	9192914	181.83
251	35850	687657.75	9194845.76	200.84	311	32850	685721.94	9192874.01	181.48
252	35800	687610.6	9194854.08	200.07	312	32800	685685.36	9192841.11	179.89
253	35750	687565.47	9194834.26	199.42	313	32750	685641.96	9192816.3	180.52
254	35700	687522.82	9194808.17	198.9	314	32700	685597.31	9192793.8	180.7
255	35650	687480.17	9194782.07	198.9	315	32650	685552.66	9192771.3	180.19
256	35600	687437.51	9194755.98	198.58	316	32600	685508	9192748.79	180.01
257	35550	687394.86	9194729.89	198.21	317	32550	685468.28	9192719.16	179.88
258	35500	687350.71	9194707.07	197.88	318	32500	685431.56	9192685.23	178.74
259	35450	687303	9194692.1	197.57	319	32450	685394.83	9192651.3	178.89
260	35400	687254.64	9194679.55	197.38	320	32400	685358.1	9192617.37	178.98
261	35350	687205.69	9194669.38	196.48	321	32350	685323.33	9192581.46	178.75
262	35300	687156.58	9194660	195.8	322	32300	685288.78	9192545.31	178.59
263	35250	687107.49	9194650.52	195.19	323	32250	685254.24	9192509.16	178.37
264	35200	687058.41	9194640.97	194.74	324	32200	685219.7	9192473.01	178.36
265	35150	687009.33	9194631.43	194.28	325	32150	685185.15	9192436.86	178.1
266	35100	686960.25	9194621.88	193.99	326	32100	685150.61	9192400.71	177.82
267	35050	686910.96	9194613.49	193.99	327	32050	685116.07	9192364.56	177.52
268	35000	686861.56	9194605.81	193.81	328	32000	685081.52	9192328.42	176.11
269	34950	686812.15	9194598.14	193.62	329	31950	685046.98	9192292.27	177.13
270	34900	686762.74	9194590.47	193.59	330	31900	685012.44	9192256.12	176.95
271	34850	686716.98	9194571.65	193.49	331	31850	684977.89	9192219.97	176.2
272	34800	686672.67	9194548.47	193.07	332	31800	684943.35	9192183.82	176.02
273	34750	686639.88	9194511.33	192.84	333	31750	684908.81	9192147.67	175.87
274	34700	686608.87	9194472.1	192.49	334	31700	684874.27	9192111.52	175.86
275	34650	686577.87	9194432.88	192.18	335	31650	684838.7	9192076.56	174.95
276	34600	686549.55	9194392.21	192.12	336	31600	684797.48	9192048.26	174.51
277	34550	686535.01	9194344.37	191.73	337	31550	684756.26	9192019.97	175.13
278	34500	686520.48	9194296.53	191.19	338	31500	684715.03	9191991.67	174.75
279	34450	686504.21	9194249.29	190.69	339	31450	684673.81	9191963.38	174.88
280	34400	686485.7	9194202.85	190.31	340	31400	684632.59	9191935.08	174.29
281	34350	686467.19	9194156.4	190.06	341	31350	684592.57	9191905.29	173.51
282	34300	686448.67	9194109.95	189.52	342	31300	684556.21	9191870.97	173.66
283	34250	686430.16	9194063.51	188.94	343	31250	684519.85	9191836.64	173.28
284	34200	686407.33	9194019.47	188.62	344	31200	684483.49	9191802.32	173.12
285	34150	686377.3	9193979.49	188.55	345	31150	684440.96	9191776.75	173.05
286	34100	686347.27	9193939.51	188.45	346	31100	684396.35	9191754.17	172.43
287	34050	686317.24	9193899.53	188.15	347	31050	684351.74	9191731.6	173.84
288	34000	686286.23	9193860.41	187.76	348	31000	684307.12	9191709.02	168.25
289	33950	686250.66	9193825.27	187.67	349	30950	684260.15	9191692.97	167.15
290	33900	686215.09	9193790.14	187.46	350	30900	684211.39	9191681.89	165.05
291	33850	686179.52	9193755	187.07	351	30850	684169.58	9191656.99	164.74
292	33800	686144.46	9193719.36	186.89	352	30800	684131.95	9191624.07	164.44
293	33750	686117.26	9193678.34	186.31	353	30750	684092.65	9191593.69	164.3
294	33700	686098.24	9193632.1	185.83	354	30700	684047.36	9191572.51	164.28
295	33650	686079.79	9193585.64	185.7	355	30650	684006.56	9191543.61	164.11
296	33600	686064.37	9193538.19	185.87	356	30600	683965.82	9191514.63	163.9
297	33550	686046.22	9193492.35	185.67	357	30550	683929.28	9191480.5	163.71
298	33500	686019.26	9193450.24	185.27	358	30500	683893.61	9191445.46	163.51
299	33450	685992.31	9193408.13	184.95	359	30450	683858.15	9191410.22	163.29
300	33400	685966.94	9193365.14	184.74	360	30400	683822.69	9191374.97	162.69

N°	RS	X Coord	Y Coord	Z	N°	RS	X Coord	Y Coord	Z
361	30350	683780.84	9191348.02	162.36	421	27350	681256.82	9190126.94	144.02
362	30300	683737.61	9191322.89	162	422	27300	681213.07	9190103.94	144.61
363	30250	683692.16	9191302.33	161.86	423	27250	681163.88	9190095.49	145.44
364	30200	683643.88	9191293.31	161.52	424	27200	681116.67	9190080.75	143.13
365	30150	683593.88	9191293.54	161.56	425	27150	681069.63	9190065.02	144.42
366	30100	683543.88	9191293.77	161.16	426	27100	681021.97	9190049.97	142.95
367	30050	683495.08	9191303.87	160.92	427	27050	680976.95	9190028.22	142.33
368	30000	683446.51	9191315.72	160.05	428	27000	680928.65	9190025.97	141.93
369	29950	683398.59	9191329.8	159.65	429	26950	680881.9	9190042.17	141.97
370	29900	683350.84	9191344.09	159.66	430	26900	680832.69	9190045.86	142.2
371	29850	683301.7	9191344.97	160.16	431	26850	680782.69	9190045.79	141.92
372	29800	683253.86	9191330.68	159.99	432	26800	680732.69	9190045.79	141.64
373	29750	683207.66	9191311.57	159.72	433	26750	680682.69	9190045.79	141.13
374	29700	683164.4	9191287.83	159.54	434	26700	680632.69	9190045.79	141.06
375	29650	683127.84	9191253.72	159.16	435	26650	680582.69	9190045.79	141.42
376	29600	683091.28	9191219.61	159.13	436	26600	680532.71	9190047	141.06
377	29550	683053.91	9191186.42	158.62	437	26550	680482.75	9190048.85	140.81
378	29500	683015.6	9191154.29	158.62	438	26500	680432.78	9190050.7	140
379	29450	682977.3	9191122.15	158.41	439	26450	680382.81	9190052.54	139.48
380	29400	682938.99	9191090.01	158.02	440	26400	680334.39	9190063.36	137.88
381	29350	682905.9	9191053.45	157.7	441	26350	680286.72	9190078.44	137.9
382	29300	682880.72	9191010.25	157.38	442	26300	680239.05	9190093.52	138.14
383	29250	682858.9	9190965.46	157.11	443	26250	680190.44	9190095.23	136.88
384	29200	682841.44	9190918.61	156.05	444	26200	680141.24	9190098.45	135.92
385	29150	682823.98	9190871.75	156.64	445	26150	680092.35	9190092.58	135.28
386	29100	682813.97	9190822.91	156.42	446	26100	680043.62	9190081.38	135.13
387	29050	682804.28	9190773.86	154.98	447	26050	679995.06	9190081.38	135.05
388	29000	682772.12	9190738.79	153.24	448	26000	679946.88	9190094.76	135.02
389	28950	682725.13	9190723.53	152.53	449	25950	679899.78	9190111.26	134.92
390	28900	682681.37	9190699.64	152.49	450	25900	679853.57	9190130.35	134.03
391	28850	682634.86	9190682.27	152.35	451	25850	679804.67	9190125.92	133.78
392	28800	682587.86	9190665.71	152.57	452	25800	679755.44	9190117.21	133.71
393	28750	682542.48	9190644.72	152.34	453	25750	679706.2	9190108.5	133.71
394	28700	682496.92	9190624.12	151.84	454	25700	679656.96	9190099.79	133.47
395	28650	682451.23	9190603.81	151.34	455	25650	679607.73	9190091.08	133.04
396	28600	682405.54	9190583.51	151.29	456	25600	679558.49	9190082.37	132.96
397	28550	682359.85	9190563.2	151.21	457	25550	679509.26	9190073.66	132.86
398	28500	682314.26	9190542.65	150.91	458	25500	679462.38	9190056.71	132.86
399	28450	682268.45	9190522.64	150.79	459	25450	679416.04	9190037.95	132.75
400	28400	682223.23	9190501.55	150.66	460	25400	679369.69	9190019.19	132.38
401	28350	682180.46	9190475.64	150.52	461	25350	679323.34	9190000.43	132.17
402	28300	682137.7	9190449.73	150.41	462	25300	679276.99	9189981.68	131.95
403	28250	682094.35	9190425.05	150.29	463	25250	679230.64	9189962.92	131.53
404	28200	682047.25	9190408.26	150.18	464	25200	679183.26	9189947.07	131.11
405	28150	682000.15	9190391.48	150.06	465	25150	679135.47	9189932.38	131.1
406	28100	681952.91	9190375.21	149.87	466	25100	679087.67	9189917.69	131.03
407	28050	681903.78	9190365.95	149.65	467	25050	679039.88	9189903	131.15
408	28000	681854.64	9190356.68	149.52	468	25000	678992.09	9189888.31	130.79
409	27950	681805.53	9190347.33	149.36	469	24950	678944.29	9189873.62	130.03
410	27900	681756.42	9190337.94	149.19	470	24900	678896.5	9189858.93	129.47
411	27850	681707.45	9190328	148.51	471	24850	678848.6	9189844.61	129.54
412	27800	681659.68	9190313.43	146.78	472	24800	678800.39	9189831.36	129.52
413	27750	681610.82	9190302.8	145.93	473	24750	678752.18	9189818.1	128.48
414	27700	681562.06	9190291.85	145.21	474	24700	678703.97	9189804.85	122.44
415	27650	681514.82	9190275.45	148.98	475	24650	678655.75	9189791.6	128.31
416	27600	681467.59	9190259.05	145.18	476	24600	678607.54	9189778.34	127.73
417	27550	681423.13	9190237.26	145.13	477	24550	678559.02	9189766.64	127.1
418	27500	681382.53	9190208.08	144.78	478	24500	678509.41	9189760.38	127.24
419	27450	681341.92	9190178.91	144.82	479	24450	678459.81	9189754.13	127.62
420	27400	681301.32	9190149.73	144.94	480	24400	678410.2	9189747.87	127.26



N°	RS	X Coord	Y Coord	Z	N°	RS	X Coord	Y Coord	Z
481	24350	678360.59	9189741.61	127.02	541	21400	675440.28	9189598.78	107.7
482	24300	678310.99	9189735.35	126.23	542	21350	675390.55	9189603.91	107.32
483	24250	678261.38	9189729.09	125.46	543	21300	675340.81	9189609.05	107.15
484	24200	678211.77	9189722.83	125.31	544	21250	675291.08	9189614.18	106.75
485	24150	678162.17	9189716.57	125.23	545	21200	675241.34	9189619.31	106.38
486	24100	678112.71	9189709.24	124.84	546	21150	675191.61	9189624.44	106.02
487	24050	678063.37	9189701.16	124.67	547	21100	675141.87	9189629.58	105.74
488	24000	678014.03	9189693.08	124.54	548	21050	675092.13	9189634.71	105.39
489	23950	677964.68	9189685	123.97	549	21000	675042.4	9189639.84	104.96
490	23900	677915.34	9189676.92	124.24	550	20950	674992.66	9189644.97	104.59
491	23850	677866	9189668.85	123.08	551	20900	674942.93	9189650.11	104.49
492	23800	677816.66	9189660.77	123.28	552	20850	674893.19	9189655.24	104.15
493	23750	677767.31	9189652.69	123.22	553	20800	674843.45	9189660.37	103.95
494	23700	677717.97	9189644.61	122.29	554	20750	674793.72	9189665.5	103.19
495	23650	677668.63	9189636.53	122.21	555	20700	674743.98	9189670.64	102.84
496	23600	677619.28	9189628.45	121.05	556	20650	674694.51	9189677.9	102.79
497	23550	677569.94	9189620.37	120.99	557	20600	674645.04	9189685.17	102.76
498	23500	677520.6	9189612.3	120.56	558	20550	674595.57	9189692.43	101.88
499	23450	677471.25	9189604.22	120.13	559	20500	674546.11	9189699.7	101.58
500	23400	677421.91	9189596.14	119.55	560	20450	674496.64	9189706.96	101.51
501	23350	677372.57	9189588.06	119.83	561	20400	674445.46	9189724.76	100.96
502	23300	677323.22	9189579.98	119.89	562	20350	674405.76	9189747.16	100.69
503	23250	677273.88	9189571.9	118.72	563	20300	674361.06	9189769.57	100.59
504	23243.21	677267.18	9189570.81	118.74	564	20250	674316.36	9189791.97	100.15
505	23200	677224.54	9189563.83	119.38	565	20200	674271.66	9189814.38	100.2
506	23150	677175.2	9189555.75	118.41	566	20150	674226.96	9189836.78	99.87
507	23100	677125.85	9189547.67	118.94	567	20100	674178.44	9189845.89	99.65
508	23050	677076.51	9189539.59	118.27	568	20050	674128.65	9189850.42	99.36
509	23000	677027.17	9189531.51	117.38	569	20000	674078.85	9189854.95	98.98
510	22950	676977.82	9189523.43	116.52	570	19950	674029.06	9189859.48	98.47
511	22900	676928.48	9189515.35	116.5	571	19900	673979.26	9189864.01	97.82
512	22850	676878.8	9189509.81	116.4	572	19850	673929.47	9189868.54	97.51
513	22800	676829.05	9189504.81	116.43	573	19800	673879.67	9189873.07	97.35
514	22750	676779.3	9189499.81	116.69	574	19750	673829.88	9189877.6	96.67
515	22700	676729.55	9189494.81	116.18	575	19700	673780.45	9189885	96.68
516	22650	676679.8	9189489.81	116.05	576	19650	673731.13	9189893.21	96.63
517	22600	676630.06	9189484.82	115.54	577	19600	673681.81	9189901.42	96.33
518	22550	676580.31	9189479.82	115.38	578	19550	673632.49	9189909.63	95.86
519	22500	676530.56	9189474.82	114.53	579	19500	673583.17	9189917.84	95.27
520	22450	676480.81	9189469.82	114.74	580	19450	673533.85	9189926.05	94.9
521	22400	676431.06	9189464.83	114.42	581	19400	673484.53	9189934.26	94.41
522	22350	676381.5	9189470.29	114	582	19350	673434.59	9189935.63	93.54
523	22300	676331.98	9189477.22	113.2	583	19300	673384.6	9189936.27	93.71
524	22250	676282.47	9189484.15	113.6	584	19250	673334.6	9189936.92	93.62
525	22200	676232.95	9189491.08	112.4	585	19200	673284.6	9189937.57	93.02
526	22150	676183.43	9189498.01	111.81	586	19150	673234.61	9189938.21	93.18
527	22100	676133.91	9189504.94	111.67	587	19100	673184.61	9189938.86	92.63
528	22050	676084.4	9189511.87	111.56	588	19050	673134.62	9189939.51	92.23
529	22000	676034.88	9189518.8	111.31	589	19000	673084.62	9189940.15	92.38
530	21950	675985.36	9189525.73	111	590	18950	673034.77	9189941.63	91.73
531	21900	675935.84	9189532.65	110.66	591	18900	672991.75	9189967	90.81
532	21850	675886.33	9189539.58	110.43	592	18850	672948.82	9189992.62	90.4
533	21800	675836.81	9189546.51	110.02	593	18800	672905.88	9190018.25	89.99
534	21750	675787.29	9189553.44	109.82	594	18750	672862.95	9190043.87	90.28
535	21700	675737.77	9189560.37	109.64	595	18700	672820.01	9190069.5	90.38
536	21650	675688.26	9189567.3	109.28	596	18650	672777.08	9190095.12	90.13
537	21600	675638.74	9189574.23	108.93	597	18600	672734.14	9190120.75	89.72
538	21550	675589.22	9189581.16	108.7	598	18550	672691.21	9190146.37	89.66
539	21500	675539.71	9189588.09	108.34	599	18500	672648.28	9190172	89.77
540	21450	675490.02	9189593.65	107.83	600	18450	672598.64	9190174.65	89.04

N°	RS	X Coord	Y Coord	Z	N°	RS	X Coord	Y Coord	Z
601	18400	672548.65	9190175.74	88.79	661	15450	669631.58	9190297.67	72.2
602	18350	672498.66	9190176.82	88.78	662	15400	669582.13	9190290.33	72.06
603	18300	672448.68	9190177.91	88.39	663	15350	669532.67	9190282.98	71.45
604	18250	672398.69	9190179	88.2	664	15300	669483.21	9190275.64	70.92
605	18200	672348.7	9190180.09	88.23	665	15250	669433.75	9190268.29	70.41
606	18150	672298.71	9190181.18	87.37	666	15200	669384.3	9190260.95	70.94
607	18100	672248.72	9190182.27	87.16	667	15150	669334.84	9190253.6	70.33
608	18050	672198.74	9190183.36	86.79	668	15100	669285.38	9190246.26	70.27
609	18000	672148.75	9190184.45	87.08	669	15050	669235.92	9190238.92	69.9
610	17950	672098.76	9190185.54	86.93	670	15000	669187.02	9190228.79	69.66
611	17900	672048.77	9190186.63	85.98	671	14950	669138.49	9190216.75	69.48
612	17850	671998.78	9190187.72	85.83	672	14900	669089.96	9190204.7	69.53
613	17800	671948.8	9190188.81	85.5	673	14850	669041.43	9190192.65	69.35
614	17750	671898.81	9190189.9	85.1	674	14800	668992.91	9190180.61	68.58
615	17700	671848.82	9190190.99	84.75	675	14750	668944.38	9190168.56	68.6
616	17650	671798.83	9190192.08	84.51	676	14700	668895.85	9190156.52	68.41
617	17600	671748.84	9190193.17	83.32	677	14650	668847.32	9190144.47	67.61
618	17550	671698.85	9190194.26	83.4	678	14600	668798.8	9190132.42	67.13
619	17500	671648.87	9190195.35	83.47	679	14550	668749.28	9190126.94	67.22
620	17450	671598.88	9190196.44	83.25	680	14500	668699.36	9190124.17	67.33
621	17400	671548.89	9190197.52	83.1	681	14450	668649.43	9190121.4	66.4
622	17350	671498.9	9190198.61	82.83	682	14400	668599.51	9190118.63	66.82
623	17300	671448.91	9190199.7	82.68	683	14350	668549.59	9190115.86	66.3
624	17250	671399.88	9190206.86	82.49	684	14300	668499.66	9190113.09	66.22
625	17200	671352.06	9190221.45	82.34	685	14250	668449.74	9190110.32	66.22
626	17150	671304.24	9190236.04	82.14	686	14200	668399.82	9190107.55	65.69
627	17100	671256.41	9190250.63	81.82	687	14150	668349.89	9190104.78	65.48
628	17050	671208.59	9190265.22	81.6	688	14100	668299.97	9190102.01	65.15
629	17000	671160.76	9190279.81	81.16	689	14050	668250.05	9190099.24	65.07
630	16970	671132.07	9190288.56	81.11	690	14000	668200.12	9190096.47	65.21
631	16950	671112.94	9190294.4	81.11	691	13950	668150.2	9190093.7	65.12
632	16900	671065.12	9190308.99	80.94	692	13900	668100.28	9190090.93	63.04
633	16850	671017.29	9190323.58	80.51	693	13850	668050.35	9190088.16	62.4
634	16800	670967.71	9190321.73	80.29	694	13800	668000.43	9190085.39	62.74
635	16750	670917.9	9190317.37	79.87	695	13750	667950.51	9190082.62	61.93
636	16700	670868.09	9190313.02	79.62	696	13700	667900.58	9190079.85	61.75
637	16650	670818.28	9190308.66	79.31	697	13650	667850.66	9190077.08	61.71
638	16600	670768.47	9190304.3	79.1	698	13600	667800.74	9190074.31	61.52
639	16550	670718.66	9190299.95	78.86	699	13550	667750.81	9190071.54	61.13
640	16500	670668.85	9190295.59	78.66	700	13500	667700.89	9190068.77	61.31
641	16450	670619.04	9190291.24	78.33	701	13450	667651.72	9190073.07	60.5
642	16400	670569.32	9190289.24	77.79	702	13410 BR	667627.65	9190079.83	Bridge
643	16350	670520.08	9190297.9	77.75	703	13400	667603.58	9190086.58	60.09
644	16300	670470.83	9190306.57	77.8	704	13350	667555.44	9190100.08	59.61
645	16250	670421.59	9190315.24	77.6	705	13300	667507.29	9190113.59	59.61
646	16200	670372.35	9190323.91	77.52	706	13250	667459.15	9190127.09	59.62
647	16150	670323.1	9190332.58	77.45	707	13200	667411.01	9190140.6	59.61
648	16100	670273.86	9190341.24	76.75	708	13160	667372.5	9190151.4	58.24
649	16050	670224.62	9190349.91	75.87	709	13150	667362.87	9190154.1	58.18
650	16000	670175.37	9190358.58	75.49	710	13100	667314.73	9190167.61	58.13
651	15950	670126.13	9190367.25	75.15	711	13050	667266.59	9190181.12	58.13
652	15900	670076.7	9190363.77	74.82	712	13000	667219.02	9190196.19	57.95
653	15850	670027.25	9190356.43	74.49	713	12950	667173.75	9190217.4	57.27
654	15800	669977.79	9190349.09	73.74	714	12900	667128.47	9190238.62	57.26
655	15750	669928.33	9190341.74	73.59	715	12850	667083.2	9190259.83	55.65
656	15700	669878.87	9190334.4	73.36	716	12800	667037.09	9190279.14	56.12
657	15650	669829.41	9190327.05	73.05	717	12750	666990.71	9190297.82	56.21
658	15600	669779.96	9190319.71	72.94	718	12700	666944.33	9190316.49	56.01
659	15550	669730.5	9190312.36	72.72	719	12650	666897.95	9190335.17	56.27
660	15500	669681.04	9190305.02	71.91	720	12600	666849.56	9190345.58	56.09



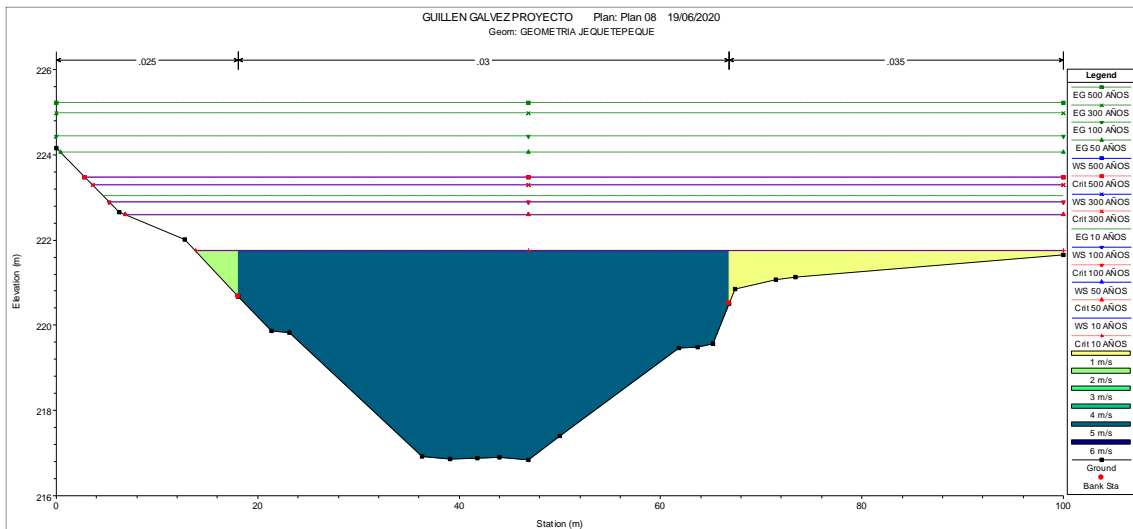
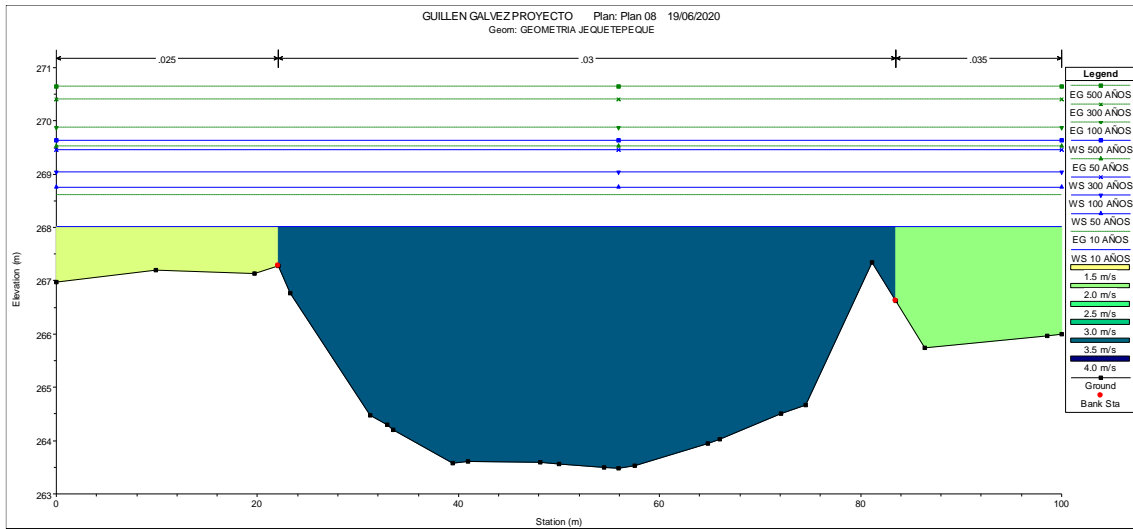
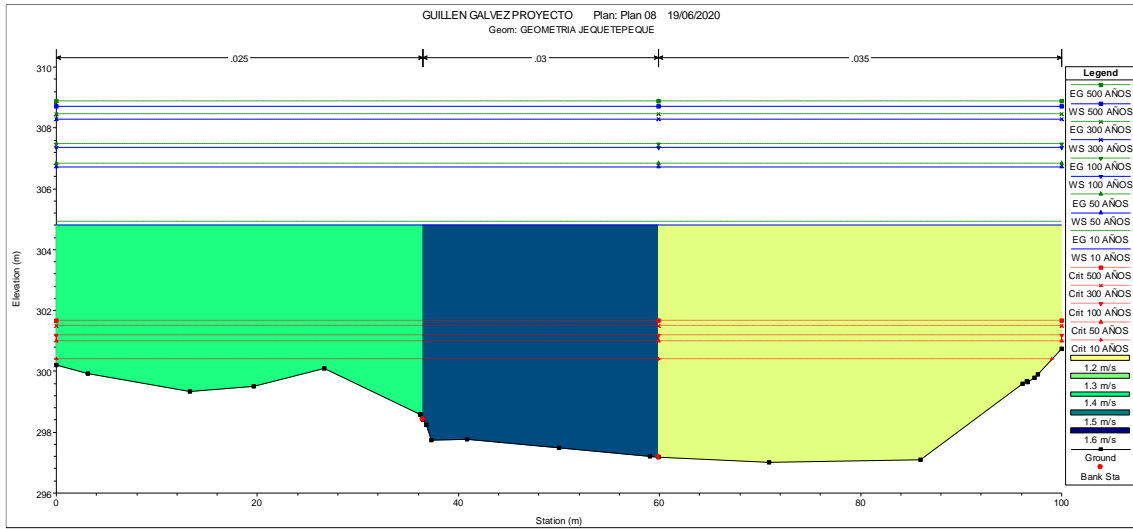
N°	RS	X Coord	Y Coord	Z	N°	RS	X Coord	Y Coord	Z
721	12550	666799.76	9190350.05	55.82	781	9550	663990.67	9190353.58	40.77
722	12500	666749.96	9190354.52	55.67	782	9500	663943.23	9190337.77	40.6
723	12450	666700.28	9190354.11	55.43	783	9450	663895.8	9190321.97	40.07
724	12400	666650.79	9190346.98	55.01	784	9400	663846.07	9190324.45	40.25
725	12350	666601.3	9190339.86	55.23	785	9350	663796.22	9190328.29	39.63
726	12300	666551.81	9190332.73	54.97	786	9300	663746.36	9190332.13	39.16
727	12250	666502.32	9190325.61	54.87	787	9250.22	663696.89	9190334.61	39.26
728	12200	666459.04	9190348.89	54.05	788	9200	663652.32	9190311.46	39.03
729	12150	666416.68	9190375.47	53.74	789	9150	663607.95	9190288.41	38.46
730	12100	666374.33	9190402.05	53.28	790	9100	663563.58	9190265.37	37.78
731	12050	666331.98	9190428.62	53.13	791	9050	663516.35	9190249.1	37.95
732	12000	666282.92	9190437.01	53.11	792	9000	663468.87	9190233.42	37.45
733	11950	666237.44	9190419.62	52.74	793	8950	663423.94	9190212	37.32
734	11900	666193.1	9190396.5	52.61	794	8900	663380.53	9190187.2	37.22
735	11850	666148.76	9190373.39	52.22	795	8850	663336.65	9190163.21	37.21
736	11800	666104.43	9190350.27	52.11	796	8800	663292.7	9190139.45	36.78
737	11750	666068.47	9190316.45	52.52	797	8750	663243.86	9190148.07	36.73
738	11700	666035.53	9190278.83	52.28	798	8700	663194.96	9190158.53	36.46
739	11650	666002.6	9190241.2	51.16	799	8650	663146.07	9190169	36.01
740	11600	665962.89	9190214.7	51.16	800	8600	663097.42	9190180.38	35.95
741	11550	665914.07	9190203.88	51.24	801	8550	663049.88	9190195.85	35.95
742	11500	665865.26	9190193.06	50.29	802	8500	663002.88	9190212.92	36.08
743	11450	665816.44	9190182.24	49.73	803	8450	662955.89	9190229.99	35.36
744	11400	665767.78	9190193.13	49.93	804	8400	662908.89	9190247.07	34.88
745	11350	665719.2	9190204.95	49.67	805	8350	662861.9	9190264.14	35.16
746	11300	665670.62	9190216.77	49.83	806	8300	662814.91	9190281.21	34.71
747	11250	665621.9	9190224.79	49.84	807	8250	662767.21	9190290.52	34.36
748	11200	665572.87	9190215	49.73	808	8200	662718.17	9190280.75	34.18
749	11150	665523.84	9190205.22	49.44	809	8150	662669.14	9190270.98	33.51
750	11100	665474.8	9190195.44	49.05	810	8100	662619.54	9190268.49	33.21
751	11050	665425.77	9190185.66	48.38	811	8050	662569.59	9190270.78	33.32
752	11000	665376.51	9190177.12	47.94	812	8000	662519.65	9190273.07	33.83
753	10950	665327.2	9190168.82	47.49	813	7950	662469.7	9190275.37	32.9
754	10900	665277.89	9190160.52	47.74	814	7900	662419.75	9190277.66	32.51
755	10850	665228.85	9190155.23	48.72	815	7850	662370.95	9190269.85	32.2
756	10800	665183.5	9190176.3	47.89	816	7800	662322.85	9190256.2	32.56
757	10750	665136.51	9190192.89	47.33	817	7750	662274.74	9190242.56	31.81
758	10700	665088.3	9190206.14	47.55	818	7700	662226.64	9190228.92	31.37
759	10650	665040.09	9190219.39	46.55	819	7650	662177.94	9190218.81	31.77
760	10600	664991.64	9190229.63	46.13	820	7600	662128.02	9190216.02	31.26
761	10550	664942.15	9190222.49	46.45	821	7550	662078.09	9190213.23	30.22
762	10500	664893.11	9190212.73	46.33	822	7500	662028.17	9190210.44	30.48
763	10450	664844.08	9190202.96	46.15	823	7450	661978.25	9190207.64	30.15
764	10400	664795.04	9190193.2	45.85	824	7400	661929.52	9190197.92	29.84
765	10350	664746.36	9190193.99	45.23	825	7350	661881.54	9190183.84	29.78
766	10300	664698.28	9190207.71	44.69	826	7300	661833.56	9190157.24	30.04
767	10250	664652.69	9190227.39	44.57	827	7250	661798.95	9190128.14	30.08
768	10200	664609.21	9190252.09	44.52	828	7200	661763.86	9190092.52	29.28
769	10150	664565.74	9190276.78	43.93	829	7150	661724.68	9190062.06	29.3
770	10100	664522.8	9190302.39	43.4	830	7100	661676.2	9190051.74	28.28
771	10050	664480.34	9190328.79	43.48	831	7050	661626.93	9190043.3	28.45
772	10000	664433.93	9190344.89	43.38	832	7000	661577.8	9190034.31	27.87
773	9950	664384.64	9190353.23	43.15	833	6950	661528.43	9190036.27	27.89
774	9900	664335.34	9190361.57	42.35	834	6900	661479.77	9190047.76	27.88
775	9850	664286.04	9190369.91	42.02	835	6850	661431.74	9190061.21	27.85
776	9800	664236.34	9190374.35	42.09	836	6800	661385.59	9190080.47	27.69
777	9750	664186.37	9190376.01	41.85	837	6750	661339.45	9190099.73	27.63
778	9700	664136.4	9190377.66	41.82	838	6700	661293.31	9190118.99	27.19
779	9650	664086.43	9190379.32	41.51	839	6650	661246.14	9190135.16	26.34
780	9600	664038.11	9190369.38	41.11	840	6600	661198	9190148.54	26.17

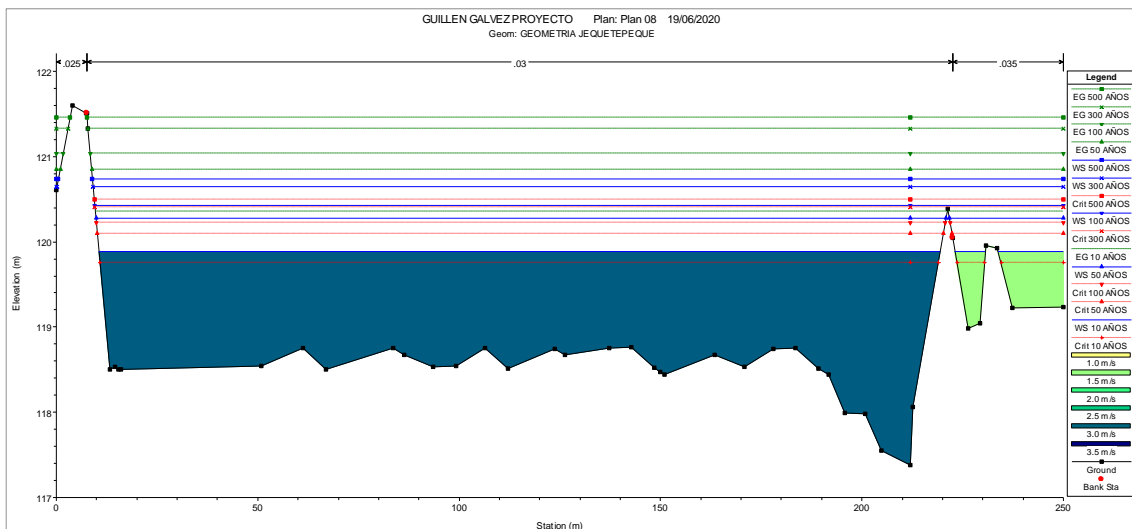
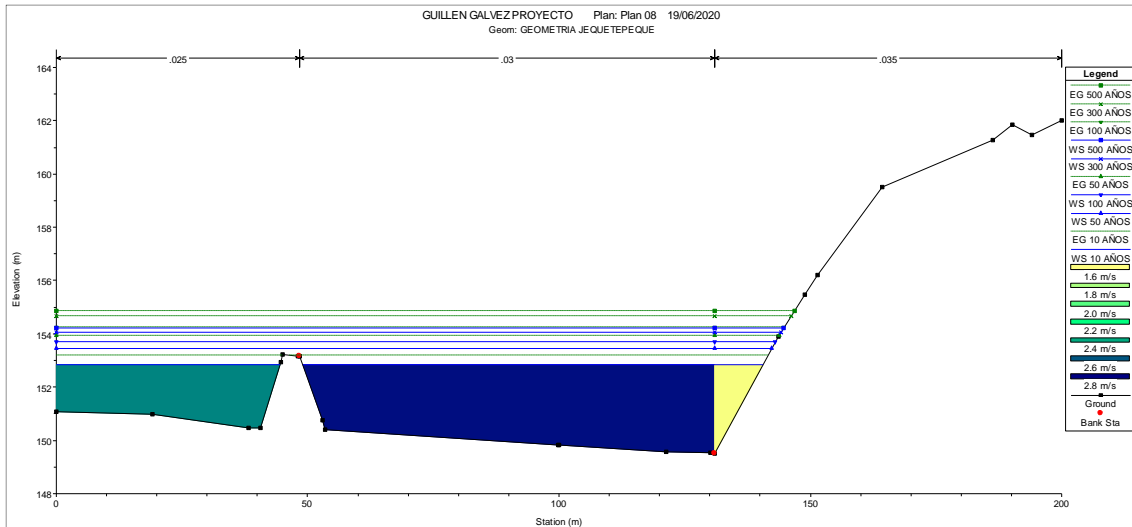
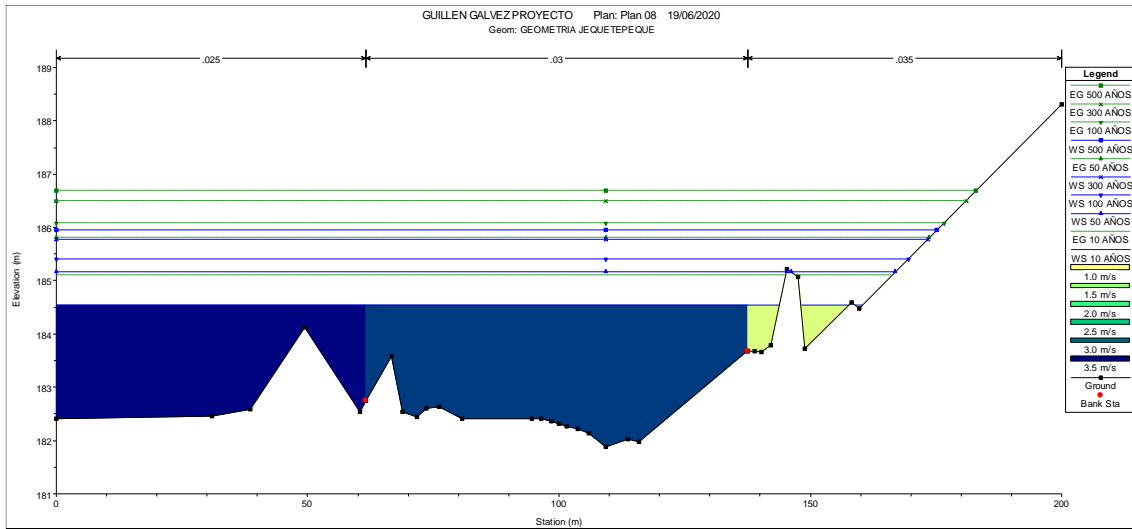


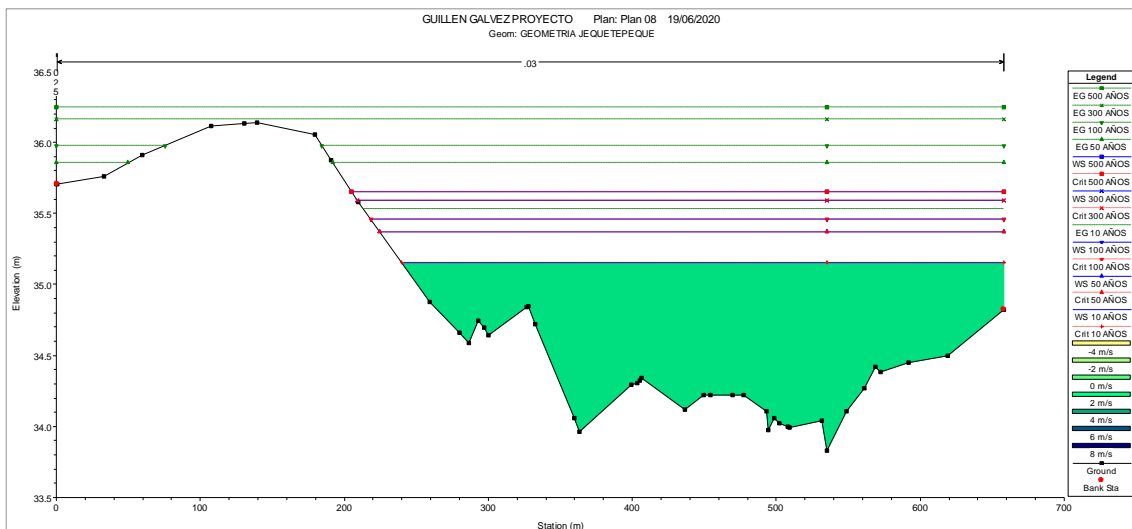
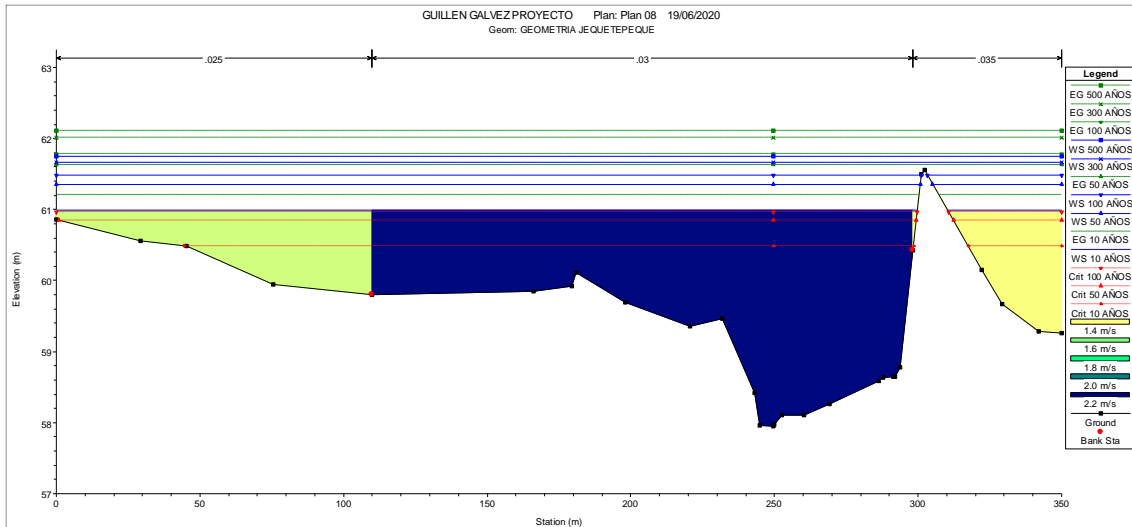
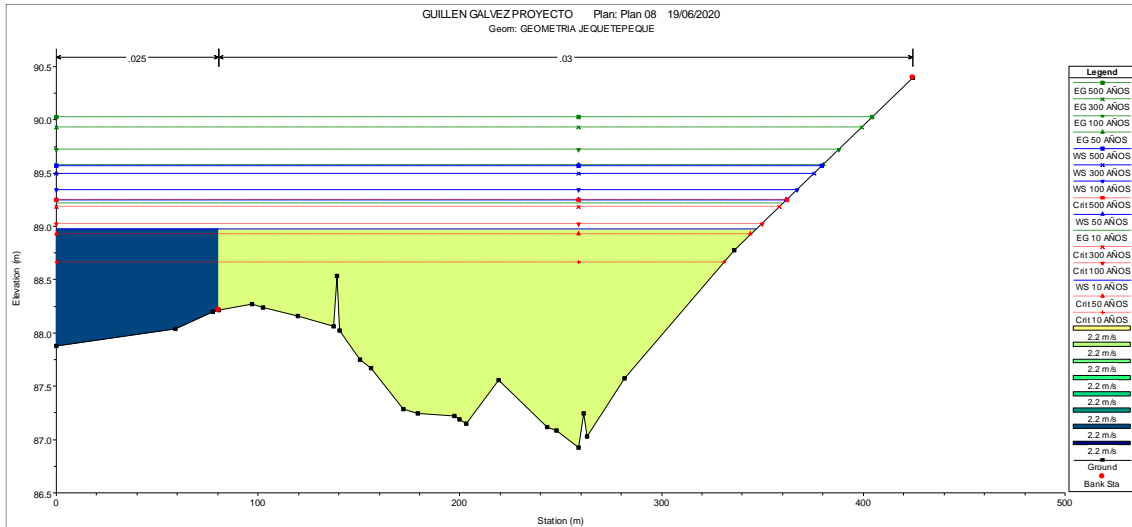
N°	RS	X Coord	Y Coord	Z	N°	RS	X Coord	Y Coord	Z
841	6550	661150.56	9190164.33	25.98	901	3549.85	658502.18	9190109.39	12.64
842	6500	661101.09	9190161.21	26.6	902	3500	658459.73	9190083.27	12.51
843	6450	661051.99	9190151.78	26.15	903	3450	658411.59	9190074.84	12.63
844	6400	661002.89	9190142.36	24.96	904	3400	658361.64	9190072.6	12.46
845	6350	660953.78	9190132.94	24.62	905	3350	658311.68	9190070.54	11.94
846	6300	660904.68	9190123.52	24.96	906	3300	658262.04	9190071.75	12.32
847	6250	660855.89	9190112.88	24.93	907	3250	658215.99	9190091.27	12.19
848	6200	660808.4	9190097.22	24.83	908	3200	658184	9190129.47	12.16
849	6150	660760.92	9190081.55	24.98	909	3150	658152.61	9190168.39	11.71
850	6100	660713.44	9190065.89	24.76	910	3100	658118.23	9190204.2	11.36
851	6050	660665.96	9190050.22	24.57	911	3054.92	658081.98	9190231.02	10.65
852	6000	660616.52	9190051.52	23.82	912	2998.93	658035	9190235.78	11.08
853	5950	660566.74	9190056.25	23.86	913	2950	657996.41	9190205.88	10.57
854	5900	660522.23	9190073.44	23.8	914	2900	657958.82	9190172.91	10.74
855	5850	660484.99	9190106.79	23.38	915	2850	657925.12	9190136.12	10.65
856	5800	660447.74	9190140.15	23.41	916	2800	657892.88	9190097.9	10.35
857	5750	660410.49	9190173.51	23.29	917	2750	657850.51	9190073.36	9.69
858	5700	660366.17	9190180.77	22.72	918	2700	657801.61	9190065.02	9.29
859	5650	660317.67	9190168.59	22.36	919	2650	657755.74	9190079.93	9.36
860	5600	660269.17	9190156.42	22.3	920	2600	657720.58	9190115.52	8.98
861	5550	660221.4	9190151.8	22.32	921	2550	657697.56	9190159.5	9.42
862	5500	660177.87	9190176.4	22.31	922	2500	657668.05	9190199.84	8.41
863	5450	660134.34	9190200.99	21.61	923	2450	657627.7	9190226	9.19
864	5400	660103.26	9190237.02	21.86	924	2400	657578.52	9190235.04	8.97
865	5350	660076.47	9190278.45	21.76	925	2350	657529.37	9190229.04	8.66
866	5300	660035.47	9190297.8	21.01	926	2300	657508.8	9190185.71	8.32
867	5250	659985.75	9190295.47	21.14	927	2250	657470.65	9190153.38	3.26
868	5200	659938.12	9190293.37	21.05	928	2200	657433.15	9190121.07	7.91
869	5150	659907.43	9190254.86	20.69	929	2150	657383.62	9190114.27	7.83
870	5100	659881.26	9190212.26	20.23	930	2100	657335.54	9190100.52	7.59
871	5050	659844.2	9190185.99	20.21	931	2050	657287.95	9190085.8	7.55
872	5000	659796.22	9190195.13	19.91	932	2000	657239.51	9190082.99	6.76
873	4950	659755.95	9190223.92	19.2	933	1950	657193.37	9190101.6	8.06
874	4900	659717.73	9190256.16	18.52	934	1900	657146.31	9190116.35	7.65
875	4850	659681.43	9190289.27	18.38	935	1850	657096.47	9190116.76	7.36
876	4800	659631.66	9190294.1	18.07	936	1800	657047.29	9190108.15	6.65
877	4750	659581.9	9190298.92	18.24	937	1750	656999.13	9190094.72	5.77
878	4700	659532.13	9190303.75	18.22	938	1700	656953.28	9190077.62	6.2
879	4650	659483.6	9190315.28	18.35	939	1650	656941.43	9190029.43	5.74
880	4600	659434.6	9190324.94	18.1	940	1600	656930.74	9189980.63	5.46
881	4550	659384.99	9190323.15	17.28	941	1550	656910.66	9189939.56	4.65
882	4500	659335.28	9190317.74	17.36	942	1500	656863.42	9189924.13	4.7
883	4450	659287.93	9190303.07	12.47	943	1450	656813.79	9189918.05	4.74
884	4400	659242.24	9190282.87	17.57	944	1400	656764.07	9189912.77	5.15
885	4350	659201.58	9190254.82	17.58	945	1350	656715.29	9189917.62	4.43
886	4300	659167.06	9190218.69	17.43	946	1300	656667.69	9189932.95	3.95
887	4250	659130.22	9190184.88	17.5	947	1250	656623.01	9189929.82	3.51
888	4200	659093.39	9190151.07	16.95	948	1200	656595.84	9189887.95	3.58
889	4150	659055.78	9190118.4	16.63	949	1150	656570.59	9189844.8	3.31
890	4100	659009.92	9190098.49	16.59	950	1100	656545.42	9189801.51	2.91
891	4050	658964.05	9190078.58	15.84	951	1050	656532.83	9189753.43	3.73
892	4000	658916.76	9190062.42	15.8	952	1000	656521.62	9189705.1	3.34
893	3949.04	658871.66	9190074.73	15.06	953	950	656497.06	9189661.9	1.91
894	3900	658830.77	9190101.8	14.59	954	900	656455.95	9189637.34	3.12
895	3850	658786.55	9190124.39	15.15	955	850	656405.43	9189634.15	3.35
896	3800	658739.55	9190141.45	14.88	956	800	656356.79	9189640.58	3.22
897	3750	658690.47	9190150.24	14.18	957	750	656307.54	9189649.22	2
898	3700	658640.62	9190151.96	13.66	958	700	656257.95	9189649.67	2.47
899	3650	658590.63	9190151.38	13.3	959	650	656211.1	9189634.42	2.33
900	3600	658544.9	9190135.68	13.31	960	600	656168.05	9189610.36	2.06

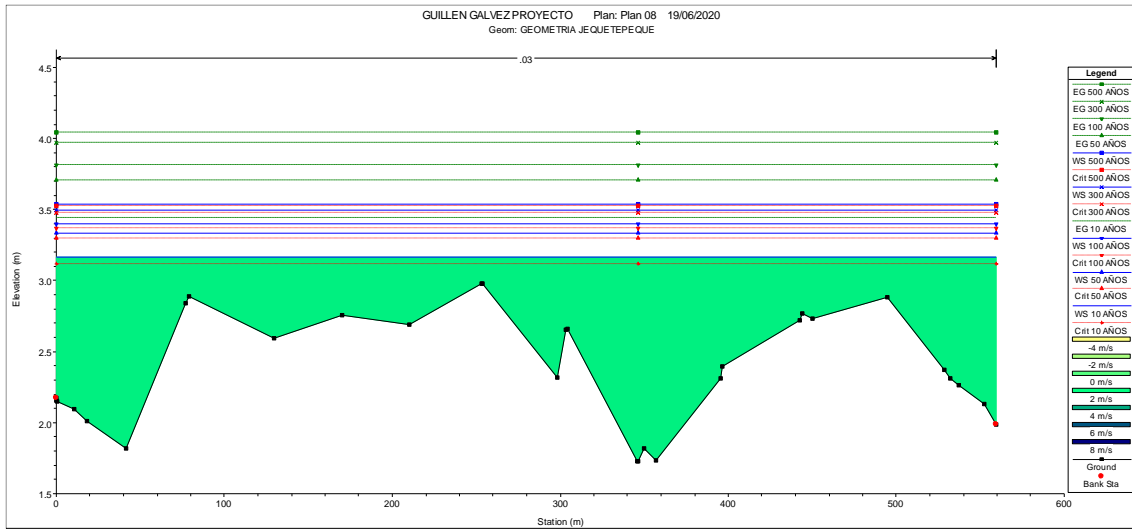
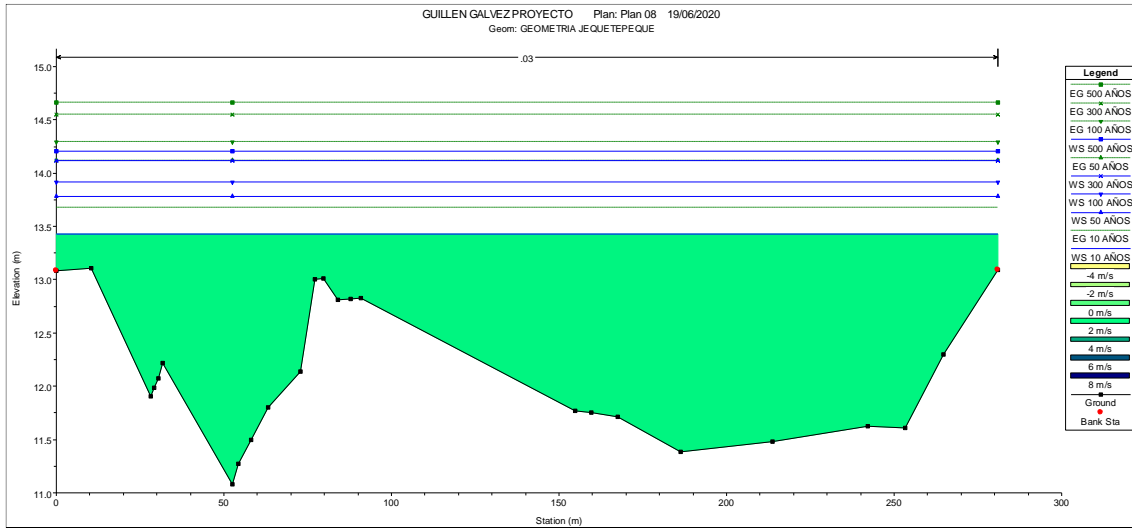
N°	RS	X Coord	Y Coord	Z
961	550	656132.85	9189575.07	1.2
962	500	656098.08	9189539.15	1.61
963	450	656063.3	9189503.22	1.33
964	400	656028.72	9189467.11	0.96
965	350	655994.47	9189430.69	0.72
966	300	655960.21	9189394.26	0.77
967	250	655925.96	9189357.84	1.07
968	200	655891.28	9189321.96	0.06
969	150	655849.1	9189296.27	0.08
970	100	655806.94	9189270.6	0
971	50	655759.43	9189255.66	0.01
972	0	655711.35	9189241.94	1.73

ANEXO 9. Secciones hidráulicas de HEC RAS cada 5 km.

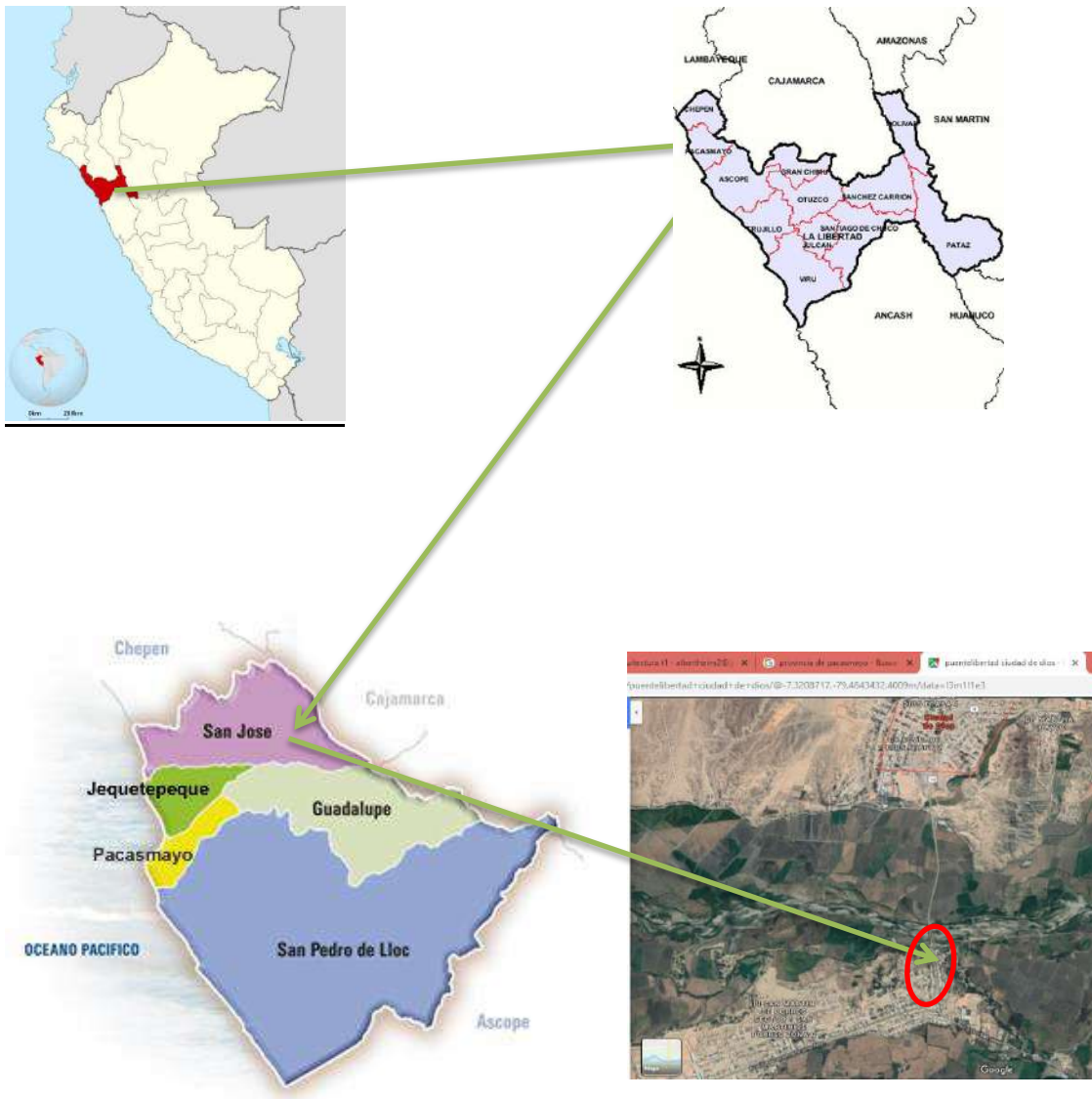








ANEXO 10. Macrolocalización y Microlocalización del puente Libertad



Departamento	: La Libertad
Provincia	: Pacasmayo
Distrito	: San José
Centro Poblado	: Ciudad De Dios
Coordenadas UTM UPS	: WGS 84
Zona geográfica	: 17M
Coordenada Este	: 667728
Coordenada Norte	: 9190004
Altura	: 60 m.s.n.m.

ANEXO 11. Señalización del puente Libertad



ANEXO 12. Toma lateral del puente Libertad



ANEXO 13. Vista interna del puente



ANEXO 14. Mantos de escollera existentes necesitan mantenimiento



ANEXO 15. Erosión en el cauce del río

