



Colpa Matara, 09 de septiembre del 2024.

C.O. N° 33-2024-UI-EPIC

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis titulado: “**ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y EL PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC-RAS E IBER, CHOTA, 2023.**”, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil: **Luis Geise Tenorio Chilcón y Cristhian Omar Vidarte Romero**, para optar el Título Profesional de ingeniero civil, presenta un índice de similitud de 18% excluyendo texto citado, bibliografía y fuentes que tengan coincidencias de menos de 10 palabras; por lo tanto, cumple con los criterios de evaluación de originalidad establecidos en el acápite g) del artículo 20 del Reglamento de Grados y Títulos UNACH, aprobado mediante la Resolución C.O. N° 120-2022-UNACH con fecha de 03 de marzo de 2022.

Se expide la presente, en conformidad a la directiva antes mencionada, para los fines que estime pertinentes.


Miguel Ángel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo
Jefe de la unidad de investigación
FCI-UNACH

Tenorio Chilcón Luis Geise Vidarte Romero Cristhia...

Análisis de la socavación local del puente Cementerio y el puente Oscar Burga aplicando los modelos HEC-RAS e Iber, C...

 INFORME FINAL DE TESIS ESTUDIANTES

 UNIDAD DE INVESTIGACION FIC

 Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3002906427

Fecha de entrega

9 sep 2024, 11:22 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

9 sep 2024, 11:27 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS_FINAL_T_V.pdf

Tamaño de archivo

14.7 MB

164 Páginas

29,604 Palabras

128,112 Caracteres




18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe


- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
45 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 17% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 11% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
hdl.handle.net		3%
2	Internet	
repositorio.unc.edu.pe		1%
3	Internet	
upc.aws.openrepository.com		1%
4	Internet	
www.scribd.com		1%
5	Internet	
repositorio.lamolina.edu.pe		1%
6	Internet	
vdocumento.com		1%
7	Trabajos del estudiante	
Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga		1%
8	Internet	
repositorio.unach.edu.pe		0%
9	Internet	
repositorio.unsch.edu.pe		0%
10	Internet	
repositorio.unap.edu.pe		0%
11	Internet	
es.scribd.com		0%

12	Internet	repositorio.upao.edu.pe	0%
13	Internet	1library.co	0%
14	Internet	ateneo.unmsm.edu.pe	0%
15	Internet	ribuni.uni.edu.ni	0%
16	Internet	tesis.usat.edu.pe	0%
17	Internet	www.slideshare.net	0%
18	Internet	vdocuments.com.br	0%
19	Internet	repositorio.unj.edu.pe	0%
20	Trabajos del estudiante	uncedu	0%
21	Internet	dspace.unitru.edu.pe	0%
22	Internet	repositorio.urp.edu.pe	0%
23	Internet	pt.scribd.com	0%
24	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	0%
25	Internet	repositorio.upn.edu.pe	0%

26	Internet	dspace.ucuenca.edu.ec	0%
27	Internet	repositorio.umsa.bo	0%
28	Internet	bibliotecas.ucasal.edu.ar	0%
29	Internet	repositorio.unamba.edu.pe	0%
30	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	0%
31	Internet	repositorio.unjbg.edu.pe	0%
32	Internet	kupdf.net	0%
33	Trabajos del estudiante	Universidad Continental	0%
34	Internet	repositorio.udh.edu.pe	0%
35	Internet	doi.org	0%
36	Trabajos del estudiante	Universidad de Piura	0%
37	Trabajos del estudiante	Universidad de San Martín de Porres	0%
38	Internet	repositorio.unasam.edu.pe	0%
39	Trabajos del estudiante	UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología	0%

40	Internet	repositorio.utea.edu.pe	0%
41	Internet	repositorio.uandina.edu.pe	0%
42	Internet	cybertesis.unmsm.edu.pe	0%
43	Internet	pirhua.udep.edu.pe	0%
44	Trabajos del estudiante	Universidad Catolica De Cuenca	0%
45	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	0%
46	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	0%
47	Internet	site.sorriso.mt.gov.br	0%
48	Internet	idoc.pub	0%
49	Trabajos del estudiante	Universidad Santiago de Cali	0%
50	Internet	www.scipedia.com	0%
51	Trabajos del estudiante	Universidad Ricardo Palma	0%
52	Trabajos del estudiante	Universidad San Ignacio de Loyola	0%
53	Internet	www.grupocieg.org	0%

54	Trabajos del estudiante	Universidad Femenina del Sagrado Corazón	0%
55	Trabajos del estudiante	Universidad Privada Antenor Orrego	0%
56	Internet	qdoc.tips	0%
57	Internet	purl.org	0%
58	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Hermilio Valdizan	0%
59	Internet	repositorio.uca.edu.ni	0%
60	Internet	www.repositorio.upla.edu.pe	0%
61	Internet	www.hidrojing.com	0%
62	Internet	repositorio.ucsm.edu.pe	0%
63	Internet	repositorio.upt.edu.pe	0%
64	Internet	rionegro.gov.co	0%
65	Internet	repositorio.ug.edu.ec	0%
66	Internet	riunet.upv.es	0%
67	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Agraria La Molina	0%

68	Trabajos del estudiante	Universitat Politècnica de València	0%
69	Internet	cybertesis.uni.edu.pe	0%
70	Internet	repositorio.autonomaedica.edu.pe	0%
71	Internet	repositorio.uss.edu.pe	0%
72	Internet	repositorio.unprg.edu.pe	0%
73	Internet	edoc.pub	0%
74	Internet	repositorio.undac.edu.pe	0%
75	Internet	repositorio.unh.edu.pe	0%
76	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María	0%
77	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Federico Villarreal	0%
78	Internet	elsoldeoccidente.com	0%
79	Internet	repositorio.usmp.edu.pe	0%
80	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	0%
81	Trabajos del estudiante	National University of Ireland, Galway	0%

82	Internet	repositorio.ana.gob.pe	0%
83	Internet	repositorio.unal.edu.co	0%
84	Internet	repositorio.uprit.edu.pe	0%
85	Internet	www.igp.gob.pe	0%
86	Internet	fr.scribd.com	0%
87	Internet	ftp.nhc-van.com	0%
88	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	0%
89	Internet	sired.udenar.edu.co	0%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
CHOTA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO
Y EL PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC-RAS
E IBER, CHOTA, 2023.**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTORES

Tenorio Chilcón Luis Geise
Vidarte Romero Cristhian Omar

ASESOR

Mg. Ing. Luis Alberto Orbegoso Navarro

Chota – Perú

2024



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL – UNACH

1. DATOS DEL AUTOR:

Apellidos y nombres: Tenorio Chilcón Luis Geise

Apellidos y nombres: Vidarte Romero Cristhian Omar

Código del alumno: **2018051034**

Código del alumno: **2018051037**

Correo electrónico: cristhianvidarteromero01@gmail.com

Correo electrónico: nuvago200@gmail.com

Teléfono: 987 378 663

Teléfono: 987 886 719

DNI: 73574681

DNI: 70921887

2. MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

Tesis

3. TÍTULO PROFESIONAL O GRADO ACADÉMICO:

Bachiller

Licenciado

Título

Magister

Segunda especialidad

Doctor

4. TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y EL PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC-RAS E IBER, CHOTA, 2023.

5. FACULTAD DE: Ciencias de la Ingeniería

6. ESCUELA PROFESIONAL DE: Ingeniería Civil

7. ASESOR:

Apellidos y Nombres: Dr. Luis Alberto Orbegoso Navarro

Correo electrónico: laorbegoson@unach.edu.pe

Teléfono: 939 185 560

D.N.I.: 31664516

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Autónoma de, Chota publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNACH, versión digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

FIRMA: Tenorio Chilcón Luis Geise
DNI: 70921887

FIRMA: Vidarte Romero Cristhian Omar
DNI: 73574681

Chota 22 de Octubre de 2024

**ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE
CEMENTERIO Y EL PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO
LOS MODELOS HEC-RAS E IBER, CHOTA, 2023.**

POR:

**TENORIO CHILCÓN LUIS GEISE
VIDARTE ROMERO CRISTHIAN OMAR**

**Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la
Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar el título de
INGENIERO CIVIL**

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR



**Msc. Luis Fernando Romero Chuquilín
PRESIDENTE**



**Dr. Edwar Cieza Sánchez
SECRETARIO**



**Mg. Luis Ángel Mozo Cruz
VOCAL**



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los miembros del jurado de tesis que suscriben, reunidos en la sala docentes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería del Campus Universitario- Colpamatara, para escuchar y evaluar la sustentación de tesis presentado por los Bachilleres: **Luis Geise Tenorio Chilcón** y **Cristhian Omar Vidarte Romero**, denominado: “ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y EL PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC- RAS E IBER, CHOTA, 2023”; escuchada la sustentación, las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

Aprobado

CON EL CALIFICATIVO (*)

14 (Catorce)

En consecuencia, se le declara **EXPEDITO** para conferirle el Título de Ingeniero civil, elevando la presente acta al coordinador de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería a fin de que se emita el acto resolutivo, en conformidad con la ley universitaria y el estatuto de la Universidad.

Chota, 19 de setiembre del 2024



Msc. Luis Fernando Romero Chuquilin
PRESIDENTE



Dr. Edwar Cieza Sánchez
SECRETARIO



Mg. Luis Ángel Mozo Cruz
VOCAL



Dr. Luis Alberto Orbegoso Navarro.
ASESOR

(*) De acuerdo al reglamento específico del proyecto y tesis de investigación de la EPIC, aprobada con Resolución de coordinación N° 141-2020, Artículo 21, cuya calificación es: (20 Summa Cum Laude); (18-19: Aprobado con excelencia); (15-17: Aprobado con mención honrosa); (12-14: Aprobado); (0-11: Desaprobado).



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la Tesis denominada: “ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y EL PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC- RAS E IBER, CHOTA, 2023”; presentado por los Bachilleres: **Luis Geise Tenorio Chilcón** y **Cristhian Omar Vidarte Romero**, sustentada el día 19 de setiembre del 2024, por Resolución de Coordinación N°266-2024-FCI/UNACH, la declaramos **CONFORME**.

Chota, 25 de setiembre del 2024



Msc. Luis Fernando Romero Chuquilin
PRESIDENTE



Dr. Edwar Cieza Sánchez
SECRETARIO



Mg. Luis Angel Mozo Cruz
VOCAL



Dr. Luis Alberto Orbegoso Navarro.
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me han acompañado y brindado su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, los cuáles son un ejemplo de vida a seguir para sus hijos. A mis hermanos por ayudarme y motivarme para seguir adelante en el trabajo y los estudios.

Luis Tenorio

A mis padres, Isauro Vidarte C. e Isabet Romero Q., quienes me han apoyado y orientado durante todo el proceso universitario, muchos de mis logros son debido a ellos.

Cristhian Vidarte

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme fortaleza y la salud necesarios para llevar a cabo las metas propuestas y culminar satisfactoriamente mis estudios.

A los profesores e ingenieros de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, alma mater de mi formación académica, en especial a mi asesor el Dr. Luis Alberto Orbegoso Navarro, por sus aportes para el perfeccionamiento de esta investigación.

Luis Tenorio

A Dios, por ayudarme y darme fuerzas para realizar cada una de actividades diarias de la vida y por haber logrado cursar de manera exitosa la etapa universitaria.

A los docentes de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, alma mater de mi instrucción académica, en especial a mi asesor el Dr. Luis Alberto Orbegoso Navarro, por sus aportes para el perfeccionamiento de esta investigación.

Cristhian Vidarte

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18
I. INTRODUCCIÓN	19
1.1. Planteamiento del problema.....	19
1.2. Formulación del problema	23
1.3. Justificación	23
1.4. Objetivos.....	24
1.4.1. Objetivo general	24
1.4.2. Objetivos específicos.....	24
II. MARCO TEÓRICO.....	25
2.1. Antecedentes de la investigación	25
2.2. Bases teórico – científicas.....	28
2.2.1. Factores hidrológicos y geomorfológicos	28
2.2.2. Máxima avenida	29
2.2.3. Socavación en puentes	29
2.3. Marco conceptual.....	41
2.3.1. Modelo numérico HEC-RAS	41
2.3.2. Modelo numérico Iber	44
2.3.3. Cuenca hidrográfica	48
2.3.4. Análisis estadístico de tormentas	53
2.3.5. Hietograma de diseño.....	57
2.3.6. Precipitación total y efectiva.....	58

2.3.7.	Hidrogramas unitarios	61
2.3.8.	Tiempo de concentración y de retardo	63
2.3.9.	Caudales de diseño y modelamiento hidrológico.....	64
2.3.10.	Hidráulica Fluvial.....	64
2.3.11.	Partes estructurales del puente	75
2.4.	Hipótesis	76
2.5.	Operacionalización de variables	76
2.5.1.	Variable Independiente	76
2.5.2.	Variable dependiente.....	77
III.	MARCO METODOLÓGICO.....	79
3.1.	Tipo y nivel de investigación	79
3.2.	Diseño de investigación	79
3.3.	Métodos de investigación	80
3.4.	Población, muestra y muestreo	81
3.4.1.	Población.....	81
3.4.2.	Muestra.....	81
3.4.3.	Muestreo.....	82
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	82
3.5.1.	Técnicas de recolección de datos	82
3.5.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	83
3.6.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	84
3.6.1.	Procesamiento y análisis de cuencas hidrográficas.....	84
3.6.2.	Procesamiento y análisis de datos hidrológicos	92

3.6.3.	Modelamiento hidrológico	115
3.6.4.	Modelamiento hidráulico	125
3.7.	Aspectos éticos.....	135
3.8.	Matriz de consistencia.....	136
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	136
4.1.	Descripción de resultados	136
4.1.1.	Caudales y niveles de avenida máximos extraordinarios.....	136
4.1.2.	Niveles de socavación en el Puente Cementerio.....	137
4.1.3.	Niveles de socavación en el Puente Oscar Burga	154
4.2.	Contrastación de hipótesis	168
4.3.	Discusión de resultados.....	171
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	173
5.1.	Conclusiones.....	173
5.2.	Recomendaciones	174
VI.	REFERENCIAS.....	175
VII.	ANEXOS	181
	<i>Anexo 1.</i> Propuesta de solución	181
	<i>Anexo 3.</i> Panel fotográfico.....	194
	<i>Anexo 4.</i> Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad.....	205
	<i>Anexo 5.</i> Matriz de consistencia.....	206
	<i>Anexo 6.</i> Autorización de estudio de mecánica de suelos en laboratorio externo	208
	<i>Anexo 7.</i> Documento de veracidad de resultados del estudio de mecánica de suelos ...	210
	<i>Anexo 8.</i> Estudio de mecánica de suelos.....	212

<i>Anexo 9.</i> Muestreo superficial de piedras mayores.....	237
<i>Anexo 10.</i> Mapas de delimitación de cuencas y modelamiento hidrológico	242
<i>Anexo 11.</i> Recolección de datos mediante entrevista personal.....	249
<i>Anexo 12.</i> Relación de planos	251

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Factor de corrección por contracción del cauce (u)	32
Tabla 2 Factor de corrección K_f	37
Tabla 3 Coeficiente de corrección K_θ	39
Tabla 4 Coeficiente de corrección K_Q	39
Tabla 5 Coeficiente de corrección K_m	39
Tabla 6 Valores del coeficiente de compacidad.....	50
Tabla 7 Número de curva de escorrentía.	60
Tabla 8 Coeficientes n de Manning para cauces naturales	72
Tabla 9 Coeficientes de contracción y expansión	74
Tabla 10 Matriz de operacionalización de variables.....	78
Tabla 11 Métodos de simulación de la interacción hidráulica entre flujo y puente.....	80
Tabla 12 Parámetros morfométricos de la cuenca para el puente Cementerio	88
Tabla 13 Parámetros morfométricos de la cuenca para el puente Oscar Burga.....	92
Tabla 14 Ubicación de la estación Chotano-Lajas.....	93
Tabla 15 Precipitaciones máximas de 24h de la estación Chotano-Lajas.....	93
Tabla 16 Parámetros estadísticos de la estación Chotano-Lajas.....	95
Tabla 17 Precipitaciones máximas corregidas de 24h (mm) de la estación Chotano-Lajas	96
Tabla 18 Precipitación máxima transferida para la cuenca Puente Cementerio	98
Tabla 19 Ajuste de distribución de precipitaciones de la cuenca Puente Cementerio	100
Tabla 20 Precipitación máxima de la cuenca puente Cementerio tratada estadísticamente	101
Tabla 21 Intensidades máximas para diferentes periodos de retorno de la cuenca Puente Cementerio.....	102

Tabla 22 Método de bloques alternos para T=100 años de la cuenca Puente Cementerio	104
Tabla 23 Método de bloques alternos para T=500 años de la cuenca Puente Cementerio	105
Tabla 24 Precipitación máxima transferida para la cuenca Puente Oscar Burga.....	107
Tabla 25 Ajuste de distribución de precipitaciones de la cuenca Puente Oscar Burga	108
Tabla 26 Precipitación máxima de la cuenca puente Oscar Burga tratada estadísticamente.....	109
Tabla 27 Intensidades máximas para diferentes periodos de retorno de la cuenca Puente Oscar Burga.....	110
Tabla 28 Método de bloques alternos para T=100 años de la cuenca Puente Oscar Burga.....	112
Tabla 29 Método de bloques alternos para T=500 años de la cuenca Puente Oscar Burga.....	113
Tabla 30 Características de la cuenca respecto al Puente Cementerio	116
Tabla 31 Valores de Manning para los diferentes tramos de río de la cuenca respecto al Puente Cementerio.....	117
Tabla 32 Características de la cuenca Puente Oscar Burga	121
Tabla 33 Valores de Manning para los diferentes tramos de río de la cuenca Puente Oscar Burga	122
Tabla 34 Caudales máximos y NAMEs para los puentes Cementerio y Oscar Burga	137
Tabla 35 Socavación general por contracción, T= 100 años	139
Tabla 36 Socavación local en estribos, T=100 años	140
Tabla 37 Socavación local en pila central, T=100 años.....	140
Tabla 38 Socavación total en estribos, T=100	140
Tabla 39 Socavación total en pila central, T=100.....	141
Tabla 40 Socavación general por contracción, T= 500 años	142
Tabla 41 Socavación local en estribos, T=500 años	143

Tabla 42 Socavación local en pila central, T=500 años.....	143
Tabla 43 Socavación total en estribos, T=500	144
Tabla 44 Socavación total en pila central, T=500.....	144
Tabla 45 Socavación general por contracción del Cementerio en Iber, T=100 años.....	147
Tabla 46 Socavación local en pila central del Puente cementerio en Iber, T=100 años	147
Tabla 47 Socavación local en estribos del Puente cementerio en Iber, T=100 años	148
Tabla 48 Socavación total en estribos, T=100	148
Tabla 49 Socavación total en pila central, T=100.....	148
Tabla 50 Socavación general por contracción del puente Cementerio en Iber, T=500	151
Tabla 51 Socavación local en pila central.....	152
Tabla 52 Socavación local en estribos	152
Tabla 53 Socavación total en estribos, T=500	153
Tabla 54 Socavación total en pila central, T=500.....	153
Tabla 55 Resumen de socavación total en el puente Cementerio	153
Tabla 56 Socavación general por contracción del Puente Oscar Burga en HEC-RAS, T=100 años	155
Tabla 57 Socavación local en estribos del Puente Oscar Burga en HEC-RAS, T= 100 años ...	156
Tabla 58 Socavación total en estribos del Puente Oscar Burga en HEC-RAS, T=100 años	156
Tabla 59 Socavación general por contracción del Puente Oscar Burga en HEC-RAS, T=500 años	158
Tabla 60 Socavación local en estribos del Puente Oscar Burga en HEC-RAS, T=500 años	159
Tabla 61 Socavación total en estribos del Puente Oscar Burga en HEC-RAS, T=500 años	159
Tabla 62 Socavación general por contracción del puente Oscar Burga en Iber, T=100 años ...	162

Tabla 63 Socavación local en estribos del puente Oscar Burga en Iber, T=100 años	163
Tabla 64 Socavación total en estribos del Puente Oscar Burga en Iber, T=100 años.....	163
Tabla 65 Socavación general por contracción del puente Oscar Burga en Iber, T=500 años ...	166
Tabla 66 Socavación local en estribos del puente Oscar Burga en Iber, T=500 años	167
Tabla 67 Socavación total en estribos del puente Oscar Burga en Iber, T=500 años	167
Tabla 68 Resumen de socavación total en el puente Oscar Burga.....	168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Condición actual de la sección del puente Cementerio.....	22
Figura 2 Condición actual de la sección del puente Oscar Burga	23
Figura 3 Zonas de la sección transversal de un cauce	30
Figura 4 Coeficiente Kf según forma de la nariz de la pila	35
Figura 5 Valores del coeficiente Kg	35
Figura 6 Valores del coeficiente	36
Figura 7 Intersección del flujo por los estribos.....	38
Figura 8 Curva hipsométrica.....	48
Figura 9 Transformación de una cuenca en un rectángulo	50
Figura 10 Ejemplo de hietograma de diseño	58
Figura 11 Flujo alrededor de una partícula en reposo	69
Figura 12 Diagrama para inicio de movimiento	71
Figura 13 Mapa de ubicación del puente Cementerio y puente Oscar Burga.....	82
Figura 14 Modelo de elevación digital (DEM) de la cuenca Puente Cementerio	85
Figura 15 Delimitación de cuenca hidrográfica Puente Cementerio	85
Figura 16 Mapa de pendientes de la cuenca Puente Cementerio.....	86
Figura 17 Mapa de vegetación y uso de suelos de la cuenca Puente Cementerio	86
Figura 18 Rectángulo equivalente de la cuenca Puente Cementerio	87
Figura 19 Curva Hipsométrica de la cuenca Puente Cementerio	87
Figura 20 Modelo de elevación digital (DEM) de la cuenca Puente Oscar Burga.....	89
Figura 21 Delimitación de cuenca hidrográfica de puente Oscar Burga	89
Figura 22 Mapa de pendientes de la cuenca puente Oscar Burga	90

Figura 23	Mapa de vegetación y uso de suelos de la cuenca Puente Oscar Burga.....	90
Figura 24	Rectángulo equivalente de la cuenca Puente Oscar Burga.....	91
Figura 25	Curva hipsométrica de la cuenca puente Oscar Burga	91
Figura 26	Precipitaciones máximas y mínimas aceptables de 24 h.....	96
Figura 27	Delimitación de la cuenca para la estación hidrológica	98
Figura 28	Curvas de intensidad – duración – frecuencia de la cuenca Puente Cementerio	103
Figura 29	Hietograma de precipitación para T = 100 años de la cuenca Puente Cementerio ...	105
Figura 30	Hietograma de precipitación para T = 500 años de la cuenca Puente Cementerio ...	106
Figura 31	Curvas de intensidad – duración – frecuencia de la cuenca Puente Oscar Burga.....	111
Figura 32	Hietograma de precipitación para T = 100 años de la cuenca Puente Oscar Burga..	113
Figura 33	Hietograma de precipitación para T = 500 años de la cuenca Puente Oscar Burga..	114
Figura 34	Representación esquemática de la cuenca Puente Cementerio	115
Figura 35	Tramo de río para definir rugosidades en la cuenca Puente Cementerio	116
Figura 36	Hidrograma para la subcuenca “W100” para T= 100_24h_10min.....	118
Figura 37	Hidrograma para la confluencia “J41” para T= 100_24h_10min	118
Figura 38	Hidrograma para la subcuenca “W100” para T= 500_24h_10min	119
Figura 39	Hidrograma para la confluencia “J41” para T= 500_24h_10min	119
Figura 40	Representación esquemática de la cuenca Puente Oscar Burga.....	120
Figura 41	Tramo de río para definir rugosidades en la cuenca Puente Oscar Burga.....	121
Figura 42	Hidrograma para la subcuenca “W20” para T= 100_24h_10min	123
Figura 43	Hidrograma para la confluencia “J51” para T= 100_24h_10min	123
Figura 44	Hidrograma para la subcuenca “W20” para T= 500_24h_10min	124
Figura 45	Hidrograma para la confluencia “J51” para T= 500_24h_10min	124

Figura 46 Geometría del río y emplazamiento del puente Cementerio	126
Figura 47 Perfil de la geometría del puente Cementerio	126
Figura 48 Tipo de flujo, asignación de caudales y condiciones de contorno, puente Cementerio	127
Figura 49 Régimen mixto de flujo, puente Cementerio.....	128
Figura 50 Triangulación de la superficie en Civil 3D para el Puente Cementerio	129
Figura 51 Malla creada en Iber para el Puente Cementerio.....	129
Figura 52 Asignación de uso de suelo a la malla para el puente Cementerio.....	130
Figura 53 Geometría del río y emplazamiento del Puente Oscar Burga	131
Figura 54 Perfil de la geometría del puente Oscar Burga.....	131
Figura 55 Tipo de flujo, asignación de caudales y condiciones de contorno, puente Oscar Burga	132
Figura 56 Régimen mixto de flujo, puente Oscar Burga	133
Figura 57 Triangulación de la superficie en Civil 3D para el Puente Oscar Burga.....	134
Figura 58 Malla creada en Iber para el Puente Oscar Burga	134
Figura 59 Asignación de uso de suelo a la malla para el Puente Oscar Burga	135
Figura 60 Ilustración de flujo de agua a presión bajo puente	136
Figura 61 Perfil de flujo para T=100 años en el puente Cementerio.....	138
Figura 62 Flujo de agua a través de la sección del puente Cementerio, T=100 años	138
Figura 63 Perfil de flujo para T=500 años en el puente Cementerio.....	141
Figura 64 Flujo de agua a través de la sección del puente Cementerio, T=500 años	142
Figura 65 Condiciones de contorno de entrada para el puente Cementerio, T=100 años	145
Figura 66 Condiciones de contorno de salida para el puente Cementerio, T=100	145

Figura 67 Tramo del río Chotano simulado en Iber para el puente Cementerio, T=100 años ..	146
Figura 68 Sección 0 +274.60 inmediatamente aguas arriba del puente Cementerio, T=100 años	146
Figura 69 Condiciones de contorno de entrada para el puente Cementerio, T=500 años	149
Figura 70 Condiciones de contorno de entrada para el puente Cementerio, T=500 años	150
Figura 71 Tramo del río Chotano simulado en Iber para el puente Cementerio, T=500 años ..	150
Figura 72 Sección 0 +274.60 inmediatamente aguas arriba del puente Cementerio, T=500 años	151
Figura 73 Perfil de flujo para T=100 años en el Puente Oscar Burga	154
Figura 74 Flujo de agua a través de la sección del puente Oscar Burga, T=100 años.....	155
Figura 75 Perfil de flujo para T=500 años en el Puente Oscar Burga	157
Figura 76 Flujo en la sección aguas arriba del puente Oscar Burga, T=500 años.....	158
Figura 77 Condiciones de contorno de entrada para el Puente Oscar Burga, T=100 años.....	160
Figura 78 Condiciones de contorno de salida para el puente Oscar Burga, T=100.....	161
Figura 79 Tramo del río Chotano simulado en Iber para el puente Oscar Burga, T=100 años .	161
Figura 80 Sección 0 +216.13 inmediatamente aguas arriba del puente Oscar Burga, T=100 años	162
Figura 81 Condiciones de contorno de entrada para el puente Oscar Burga, T=500 años	164
Figura 82 Condiciones de contorno de salida para el puente Oscar Burga, T=500 años	165
Figura 83 Tramo del río Chotano simulado en Iber para el puente Oscar Burga, T=500 años .	165
Figura 84 Sección 0 +216.13 inmediatamente aguas arriba del puente Oscar Burga, T=500 años	166
Figura 85 Prueba de hipótesis para la socavación local en el estribo izquierdo del puente	

Cementerio.....	170
Figura 86 Prueba de hipótesis para la socavación local en el estribo derecho del puente Cementerio	170
Figura 87 Prueba de hipótesis para la socavación local en la pila central del puente Cementerio	170
Figura 88 Prueba de hipótesis para la socavación local en el estribo izquierdo del puente Oscar Burga.....	171
Figura 89 Prueba de hipótesis para la socavación local en el estribo derecho del puente Oscar Burga.....	171

RESUMEN

La socavación local de puentes ubicados sobre cauces fluviales es un fenómeno hidrodinámico que desprende y arrastra el material del lecho del río alrededor de los elementos subestructurales, dejando expuesta o debilitada la integridad de la estructura. Este proceso erosivo es peligroso, puesto que genera excavaciones en las bases del puente a lo largo de los años, por lo que requiere ser evaluado y analizado, aunque es difícil de medirlo con exactitud, ya que depende de muchos factores. La presente investigación tiene como objetivo principal determinar y analizar la socavación local en pilas y estribos de los puentes Cementerio y Oscar Burga aplicando el modelo unidimensional HEC-RAS v.6.5 y el modelo bidimensional Iber v.3.3.1 para luego analizar y comparar los resultados. Para ello, se realizaron los levantamientos topográficos de dos tramos del río Chotano, análisis de suelo y el estudio hidrológico. Después, se procesaron los datos obtenidos en campo para ingresarlos a los programas de HEC-RAS v.6.5 e Iber v.3.3.1 y realizar el modelamiento hidráulico correspondientes a 100 y 500 años de periodo de retorno. Finalmente, se determinaron los niveles de socavación local empleando los métodos empíricos que mejor se adaptaban a las condiciones del caso (flujo a presión bajo puente). Del análisis de resultados se concluyó que los niveles de socavación son altos y que el riesgo a que los puentes, especialmente el puente Cementerio, sufran inestabilidad estructural e incluso llegue al colapso, es alto. Se observó que tanto el modelo unidimensional HEC-RAS v.6.5 como el modelo bidimensional Iber v.3.3.1 son apropiados para el cálculo de la socavación, ya que sus resultados no presentan diferencias significativas.

ABSTRACT

Local scour of bridges located over riverbeds is a hydrodynamic phenomenon that detaches and drags the riverbed material around the substructural elements, leaving the integrity of the structure exposed or weakened. This erosive process is dangerous, since it generates excavations in the bridge foundations over the years, so it needs to be evaluated and analyzed, although it is difficult to measure it accurately, since it depends on many factors. The main objective of this research is to determine and analyze the local scour in piers and abutments of the Cementerio and Oscar Burga bridges by applying the one-dimensional HEC-RAS v.6.5 model and the two-dimensional Iber v.3.3.1 model and then analyze and compare the results. To do this, first the basic studies of topographic survey of two sections of the Chotano River, soil study of the riverbed of the same river and the hydrological study were carried out. Afterwards, the data obtained in the field were processed to enter them into the HEC-RAS v.6.5 and Iber v.3.3.1 programs and perform the hydraulic modeling corresponding to 100 and 500 year return periods. Finally, the local scour levels were determined using the empirical methods best suited to the conditions of the case (pressurized flow under bridge). From the analysis of the results, it can be concluded that the scour levels are high and that the risk of structural instability and even collapse of the bridges, especially the Cementerio bridge, is high. It was observed that both the one-dimensional HEC-RAS v.6.5 model and the two-dimensional Iber v.3.3.1 model are appropriate for the calculation of scour, since their results do not show significant differences.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Por lo general, toda inversión en el sector público tiene que adecuarse a la disponibilidad económica del sector y/o de la entidad que la requiere, es decir, al proyectar el diseño de la infraestructura civil, esta debe orientarse a que los costos de ejecución no sean elevados, razonamiento incluso cuestionable, pero que ayuda a tener una idea de lo que ocurre en nuestro país. Partiendo de este razonamiento, interesa saber si en este caso, los dos puentes tomados como referencias de investigación, están soportando acciones naturales de deterioro fluvial, como consecuencia de avenidas extraordinarias que en forma recurrente año tras año, vienen presentándose a nivel del ámbito geográfico de la provincia de Chota y del departamento de Cajamarca. Estas estructuras cumplirán su período de vida si los estudios hidrológicos han permitido proyectar y ejecutar el mejor dimensionamiento de la estructura vial, a fin de soportar en su debido momento una avenida extraordinaria, protegiendo vidas y el colapso natural del mismo (Chura, 2022)

El conocimiento de la singularidad fluvial resulta muy importante para el diseño de puentes que interactúan con un río. Conocer los ríos es fundamental para comprender y manejar los problemas que surgen entre los ríos y las obras viales, cuando las segundas se acercan a los primeros. (Rocha, 2013, p. 12)

La estabilidad de un puente es afectada directamente por el fenómeno de socavación y por las máximas avenidas que en ocasiones llegan a cubrir y rebasar la luz libre entre el nivel del agua y el fondo de la plataforma de dicha estructura. (Taco, 2022)

Por eso: “en la implementación de puentes se tiene en cuenta que, muchas veces ante la presencia de máximas avenidas y/o fallas por socavación se genera el colapso y falla total de estas

estructuras” (Castillo y Ramírez, 2017, p. 6).

Los cambios hidrológicos que traen temporadas de lluvias prolongadas o intensas, ocasionan variaciones hidráulicas en un régimen de flujo de agua. Por consiguiente, al producirse el aumento del caudal de un río, se incrementan los efectos erosivos en el lecho de este. (Alarcón y Ramirez, 2016)

En el diseño estructural de un puente resulta complicado calcular los niveles de socavación que se presentarán en sus pilas y estribos, lo que conlleva a una sobreestimación o a que se subestime la magnitud de este; por ello, es indispensable un estudio puntual en hidrología, hidráulica y geotecnia del lecho del río donde se presentará la estructura. (Guevara, 2021)

“Puente cayó pese a que el Rímac no llegó a su máximo caudal histórico”, es el titular de una noticia del diario El Comercio, en cuyo cuerpo informativo se relatan las opiniones de algunos especialistas tras haberse realizado la inspección de la estructura caída, una de las cuales fue brindada por el ingeniero Herbert Sotelo, quien afirma que el terreno donde se cimentó la estructura está formado por material aluvial y rellenos, por lo que el efecto de la socavación en ese sector es alto, donde era necesario una protección frente a dicho fenómeno hidráulico, ya sea un enrocado o un enrocado con concreto. (Paz, 2017)

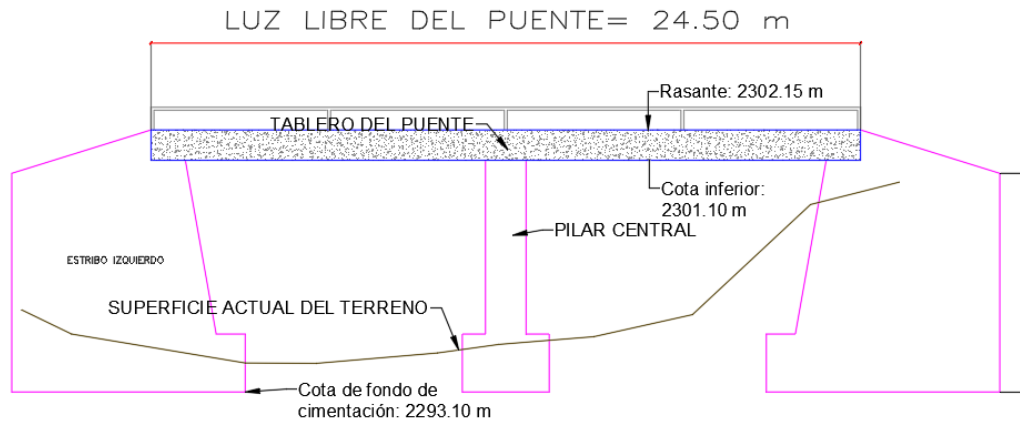
La principal causa de fallas en puentes se debe al proceso de socavación, lo que genera un elevado costo en reparaciones. Tener un conocimiento amplio sobre las causas que generan el proceso de socavamiento ayudará a tener una referencia sobre las capacidades erosivas y proponer diseños eficaces que permitan reducir el proceso erosivo a causa de los flujos turbulentos que interactúan con elementos estructurales como los pilares y estribos de un puente. A la fecha no se tiene una solución ideal que permita reducir de manera eficiente esta gran problemática, por lo que se sigue trabajando en ello. (Villa et al, 2019)

La provincia de Chota del departamento de Cajamarca ubicada en la región nor andina del Perú, se caracteriza por presentar un clima variado que va de frío a templado y caluroso, presentando épocas de sequía de mayo a octubre y lluvias considerables de noviembre a abril; los puentes: Cementerio y Oscar Burga se emplazan sobre el cauce del río Chotano, el primero forma parte de la red vial vecinal que comunica a diferentes comunidades y centros poblados como Cabracancha, La Iraca, Llangodén, Casmalca, etc., con la ciudad de Chota; el segundo, forma parte de la carretera longitudinal de la sierra norte o ruta nacional PE-3N que comunica a la provincia de Chota con ciudades importantes como Chiclayo, Trujillo, Cutervo, etc.

El puente Cementerio es de tipo losa de un solo carril y está construido de concreto armado para un tiempo de vida útil de 25 años y, tiene 16 años de funcionamiento; tiene un tablero de 24.5 m de longitud y 6 m de ancho, se apoya sobre estribos en los extremos y sobre una pila central tal como se muestra en la Figura 1; fue reconstruido en el año 2007 debido a que fines del año 2006 la estructura del puente fue derribada por la caudalosa corriente de una avenida extraordinaria del río Chotano que rebasó la sección hidráulica y derribó la estructura. En la actualidad se observa efectos de erosión alrededor de la pila central (1.25 m) y del estribo derecho (1.65 m) de dicho puente, lo que representa un peligro para la estabilidad de la estructura en su conjunto y amerita evaluar las condiciones hidráulicas y socavación local ante máximas avenidas.

Figura 1

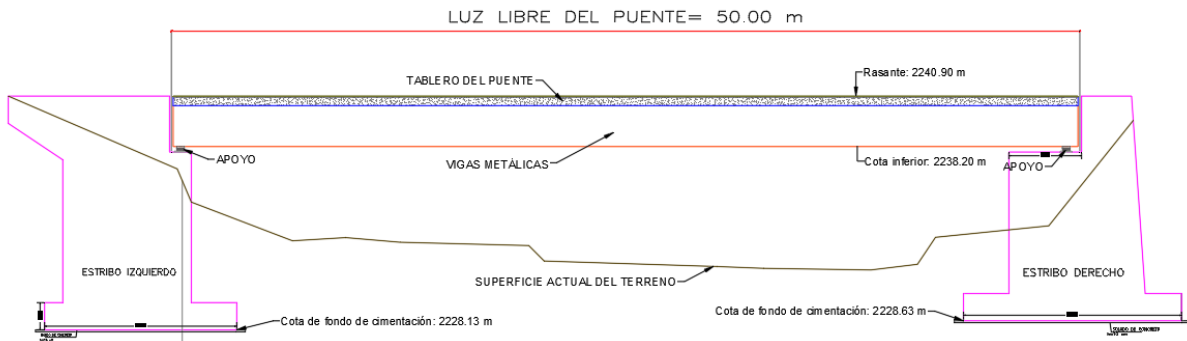
Condición actual de la sección del puente Cementerio



El puente Oscar Burga Bustamante es de tipo mixto, de dos carriles, está construido de concreto armado y vigas de acero, tiene un tiempo de vida útil de 25 años y cuenta con 9 años de funcionamiento desde su construcción en el año 2014, tiene una longitud de 50 m y está apoyado sobre estribos en sus extremos tal como se ilustra en la figura 2; no presenta problemas aparentes por nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) y por socavación local, pero debido a su importancia por formar parte de la vía interdepartamental Cajamarca- Lambayeque (ruta PE-3N) que facilita el transporte y el comercio interurbano, resulta interesante hacerle una evaluación hidrológica e hidráulica de igual forma que al puente Cementerio.

Figura 2

Condición actual de la sección del puente Oscar Burga



1.2. Formulación del problema

¿Cuáles serían los resultados del análisis de socavación local de los Puentes Cementerio y Oscar Burga mediante la aplicación de los modelos HEC-RAS e Iber?

1.3. Justificación

El puente Cementerio forma parte de la red vial vecinal que comunica a diferentes comunidades campesinas y centros poblados con la ciudad de Chota; el puente Oscar Burga es vital en la interconexión interprovincial con importantes ciudades de la costa. Es probable que el cambio climático se está evidenciando mediante la ocurrencia de fuertes precipitaciones, durante estos últimos cinco años, el INDECI ha declarado estado de emergencia en distintos lugares del departamento de Cajamarca, encontrándose dentro de estos a la provincia de Chota y al distrito de Lajas; se tienen antecedentes como: el colapso del puente Cementerio el año 2006 y la inundación de la I.E. Anaximandro Vega en la ciudad de Lajas, por decir algunos; la visita que se tuvo en el puente Cementerio permite confirmar que se está presentando problemas de socavación local, suponiéndose alto riesgo en la estabilidad estructural y funcional de dicho puente, pudiendo aumentarse considerablemente la profundidad del socavamiento y el NAME por el influjo directo

de las máximas avenidas ocurridas en el transcurso de los años, y, por ende, colapsar dicho puente.

El puente Oscar Burga Bustamante, aunque no presenta un riesgo visible de sufrir daños por la corriente del río, la vulnerabilidad de su sección hidráulica está, por naturaleza, latente, por lo que estaría propenso a sufrir daños o inundarse por avenidas que sobrepasen su capacidad. La ocurrencia de estos hechos estancaría la circulación peatonal y vehicular, acarreando serios problemas en el transporte, comercio y compra de productos de primera necesidad de las familias de las comunidades campesinas y del pueblo Chotano.

Por lo tanto, el análisis de socavación local se hará mediante la aplicación de dos modelos de simulación: modelo unidimensional HEC – RAS y modelo hidrodinámico bidimensional Iber, sus insumos principales serán factores geológicos, hidrológicos e hidráulicos; los niveles de socavamiento y el cálculo del NAME, permitirán tomar decisiones de protección y/o mejoramiento de las condiciones estructurales de dichas obras hidráulicas, así como que este estudio permitirá orientar otros bajo condiciones específicas de esos lugares y contribuir con la tranquilidad y bienestar de la población como objetivo mayor.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Determinar y analizar los niveles de socavación local del puente Cementerio y el puente Oscar Burga aplicando los modelos HEC-RAS e Iber.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Determinar caudales máximos de avenidas y el NAME en la sección hidráulica del puente Cementerio y el puente Oscar Burga para periodos de retorno de 100 y 500 años.
- Calcular niveles de socavación general por contracción, socavación local y socavación total en el puente Cementerio y el puente Oscar Burga empleando métodos empíricos.
- Comparar los resultados obtenidos aplicando los modelos hidráulicos HEC-RAS e Iber.

- Proponer alternativa de medida de protección contra la socavación local.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Chura (2022). En su trabajo de grado de titulación: “Diseño hidrológico inicial de verificación para la altura del emplazamiento de la superestructura del puente Sewencani sobre el río Huallatiri”, tuvo por objetivo determinar que la altura del emplazamiento de la superestructura del puente Sewencani en la actual construcción no presente ningún riesgo para su estabilidad por efecto de las crecidas extraordinarias del río. Mediante el análisis de tormenta y la aplicación de hidrograma unitarios para el diseño hidrológico, determinó que el caudal para un periodo de retorno de 100 años es de 292.43 m^3 , concluyendo que la estructura del puente no presenta ningún riesgo.

Reyes y Reyes (2020). En su tesis para optar el título de especialista en recursos hídricos: “Determinación de la socavación para las pilas del puente localizado en el municipio de Riosucio Caldas” se propuso realizar la determinación de la socavación en las pilas del puente preexistente localizado en el municipio de Riosucio Caldas, producido por el flujo fluvial constante existente en la zona, con el fin de proponer alternativas de mejora en la estructura de soporte con y sea menos vulnerable ante el respectivo fenómeno. Para ello realizó los estudios de socavación en base a diferentes parámetros de cálculo, dando un resultado de socavamiento general promedio de 5.5 m. y con un estado mejorado del subsuelo se reduce la profundidad de socavación en un 40%.

Además, López (2013). En su tesis doctoral: “Erosión local en pilas de puentes, evolución temporal y enfoque probabilístico”, se propuso como objetivo avanzar en el conocimiento

del fenómeno de erosión local alrededor de pilas cilíndricas una pila del puente de Paso Pache con aplicaciones directas en el desarrollo de metodologías para el diseño. Se basó en un enfoque probabilístico de la estimación de la evolución temporal de la profundidad de erosión local bajo flujo no estacionario, con el propósito de generar herramientas de diseño, obtuvo como resultado en una proyección de vida útil de 30 años una probabilidad de fallo de 37.0 % a una profundidad de 14 m; una probabilidad de fallo de 11.2 % a 15 m y una probabilidad de fallo de 1.8 % a 16 m.

Talledo y Noriega (2019). En su tesis “Vulnerabilidad de la sección hidráulica del puente bolsico para soportar caudales de crecidas extraordinarias del río Zarumilla – 2019”, tuvieron por objetivo determinar la vulnerabilidad de la sección hidráulica del puente Bolsicos ante caudales máximos, suponiendo que la vulnerabilidad es debido a su reducida capacidad hidráulica para soportar crecidas extraordinarias durante el fenómeno El Niño. Para ello mediante una modelamiento hidrológico e hidráulico, obtuvieron como resultados caudales de 995.83 m³/s, 1206.226 m³/s y 1430.60 m³/s para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años respectivamente, concluyendo que existe una elevada vulnerabilidad del puente debido a los elevados tirantes de agua elevados a lo ancho de su sección hidráulica.

Avalos y Zegarra (2018). En su tesis “Evaluación de la Socavación que Producirá en Pilares y Estribos del Puente Moche, la Derivación del Caudal de la Quebrada San Idelfonso” se propuso demostrar que la derivación del caudal de la quebrada San Idelfonso hacia el cauce del río Moche, producirá un incremento del nivel de socavación en los pilares y estribos del puente Moche y su posible colapso. Para ello realizó los estudios hidrológicos e hidráulicos descriptivos y los cálculos correspondientes, obteniendo como resultados 0.1 m de socavación general y 1.6 m de socavación local alrededor de los estribos, concluyendo

así que no se llegará a presentar niveles de importante de socavación.

Bardales y Concepción (2014). En su tesis “Modelamiento hidrológico e hidráulico aplicado al cálculo de socavación en puentes Potrero (km 165+527.00) y Maygasbamba (km 197+688.15), ubicados en carretera Chota – Bambamarca – Hualgayoc” asumió que con ciertos criterios técnicos el modelamiento hidrológico e hidráulico que arrojará una socavación en los puentes Potrero y Maygasbamba de 2.5 m de profundidad. Mediante el modelamiento hidráulico en HEC-RAS para el puente Potrero obtuvieron como resultado 3.74 m en el estribo izquierdo y 7.89 m en el estribo derecho de socavación local considerando un periodo de retorno de 500 años. De forma similar para el puente Maygasbamba se obtuvo 4.07 m en el estribo izquierdo y 1.39 m en el estribo derecho de socavación local.

También, Tenorio y Valdera (2020). En su tesis “Niveles de socavación mediante modelamiento hidráulico en estribos de los puentes "el Callejón, la Rinconada y Chonta", ubicados en el río Chonta – Cajamarca” se propusieron estimar los niveles de socavación mediante modelamiento hidráulico físico en estribos de los puentes mencionados, para los cuales asumieron un 95% de precisión con respecto a la socavación medida in situ. Para ello, aproximaron experimentalmente que la máxima socavación en los tres puentes se produce al considerar un periodo de retorno de 10 años teniendo 170 m³/s como caudal (0.009616 m³/s a escala 1/50). De esta manera obtuvieron resultados de 0.82 m, 1.5 m y 0.44 m de profundidad de socavación in situ para los puentes Chonta, El Callejón y La Rinconada respectivamente, y 0.83 m, 1.48 m y 0.425 m de profundidad de socavación por modelamiento hidráulico en los puentes Chonta, El Callejón y La Rinconada respectivamente, logrando una precisión de 98.78%, 96.67% y 96.59% en la socavación de

los puentes Chonta, El Callejón y la Rinconada respectivamente, con lo cual se concluye que se supera la precisión planteada en la hipótesis general.

2.2. Bases teórico – científicas

2.2.1. Factores hidrológicos y geomorfológicos

2.2.1.1. Precipitación

Son todas las formas de agua que caen sobre el suelo terrestre mediante fenómenos como lluvias, granizadas, rocío o nieve; en el ámbito de la ingeniería las lluvias son los fenómenos hidrológicos de mayor interés e importancia ya que de estas dependen los diseños de obras hidráulicas como puentes y presas. (Vásquez et al, 2016)

2.2.1.2. Estudio topográfico

Es toda representación de una limitada parte de la tierra en un plano; en forma generalizada se define la topografía como una ciencia aplicada encargada de reunir información física de la superficie terrestre como el relieve, litorales, corrientes hídricas, etc. (Rincón et al, 2017)

El levantamiento topográfico determina la posición de puntos y su posterior representación en un plano, las consideraciones para un levantamiento topográfico son:

- Selección del método.
- Selección de los equipos.
- Ubicación de los puntos de apoyo.
- Medición del terreno.
- Procesamiento de datos.
- Realización de planos.

2.2.1.3. Estudio geotécnico

Los estudios geotécnicos de importancia ya que permite caracterizar el tipo de suelo donde

se realiza un proyecto de obra civil; en un estudio de campo se realizan la exploración del suelo mediante muestras extraídas in situ generalmente mediante la realización de calicatas. (Gálvez y Velásquez, 2018)

a) Exploración del suelo. Es el ubicar donde se tomarán las muestras del suelo para determinar el perfil estratigráfico y realizar los ensayos para determinar las propiedades del suelo; en exploraciones de baja profundidad se recurre a calicatas.

b) Muestreo de suelo. Parte del estudio de campo, en donde se toman las muestras directamente del suelo para un posterior análisis e interpretación de los resultados obtenidos en laboratorio.

c) Análisis granulométrico. Ensayo fundamental en donde se permite caracterizar la distribución en el tamaño de partículas presentes en el suelo para una clasificación según los criterios AASHTO o SUCS. Para la determinación de la distribución de tamaño de partículas se emplean tamices normalizados y numerados en forma decreciente. Según la norma ASTM, los tamices para partículas gruesas son siguientes: 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°140, N°200.

2.2.2. Máxima avenida

Es el máximo caudal presentado en la salida de una cuenca a consecuencia de una lluvia máxima. Una avenida máxima puede darse en un tiempo fijado de años al que se le conoce como periodo de retorno que es el tiempo que transcurre para que se genere una lluvia máxima.

2.2.3. Socavación en puentes

La socavación es el resultado de la acción erosiva del agua que fluye, excavando y arrastrando material del lecho y las orillas de los ríos y alrededor de los pilares y estribos de los puentes. No existe fórmula que pueda pronosticar con exactitud la socavación de un

punte; ante ello es necesario tener un buen criterio y análisis de campo y oficina. La socavación es distinta y variada en cada puente por ello la mejor metodología aplicada para estudiar este fenómeno es la observación misma de las subestructuras. (Ochoa, 2017)

2.2.3.1. Cálculo de la forma de socavación.

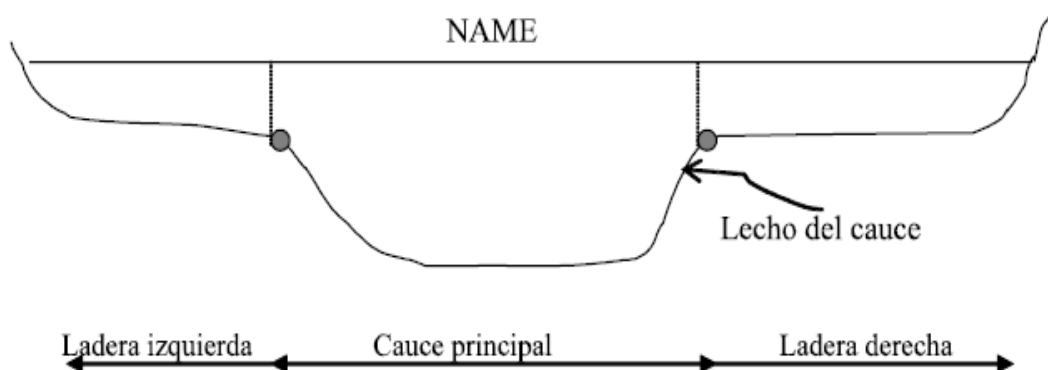
Para el cálculo de socavación se debe determinar con anterioridad la forma de socavación: lecho móvil o agua clara; esto depende si el flujo del cauce aguas arriba del puente está o no transportando sedimentos. La velocidad crítica (V_c) comparada con la velocidad media (V) del cauce es lo que determina si hay transporte de sedimentos. (Guevara, 2016)

- Lecho móvil $V < V_c$
- Lecho fijo $V > V_c$

Es importante la visita a campo para determinar los límites transversales del cauce donde se acentúa el puente, verificar la forma del cauce, los cambios bruscos de pendiente y los diferentes tipos de partículas que presente el lecho del río. La sección transversal típica del cauce fluvial se muestra en la Figura 3.

Figura 3

Zonas de la sección transversal de un cauce



Nota: Adoptado de Socavación en Puentes, por M.E. Guevara, 2016, Lemoine Editores S. en C.

2.2.3.2. Socavación por contracción

a) Método de Lischvan – Levedievz

El método se basa en la relación que deben presentar la velocidad media real (V_r) y la velocidad media erosiva (V_e), siendo esta última la velocidad que mantiene en movimiento el material de fondo. La velocidad real depende las características que presenta el río, como rugosidad, pendiente y tirante. (Guevara, 2016)

Para suelos granulares se tiene:

- Velocidad erosiva

$$V_e = 0.68\beta \cdot D_m^{0.28} H_s^z \quad (E_1)$$

$$\beta = 0.7929 + 0.0973 \cdot \text{Log}T \quad (E_2)$$

$$z = 0.394557 - 0.04136 \cdot \text{Log}D_m - 0.0089 \cdot \text{Log}D_m^2 \quad (E_3)$$

Dónde:

- V_e : Velocidad erosiva
 - β : coeficiente de frecuencia
 - D_m : diámetro medio de las partículas del material granular (mm)
 - z : exponente variable en función del diámetro medio de la partícula
 - T : tiempo de retorno
- Profundidad de socavación

Ecuación 1: Método de Lischvan – Levedievz

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

$$\varphi = 1.0, \text{ si } \gamma_m = 1.0 \text{ t/m}^3 \text{ (agua clara)} \quad (\text{E}_4)$$

$$\varphi = -0.54 + 1.5143 \gamma_m, \text{ si } \gamma_m > 1.0 \text{ t/m}^3 \text{ (lecho móvil)} \quad (\text{E}_5)$$

$$\alpha = \frac{Q_d}{AR^{2/3}} = \frac{S^{1/2}}{n} \quad (\text{E}_{6i})$$

Dónde:

- H_s : Profundidad de socavación
- β : coeficiente de frecuencia, ecuación (E₁)
- D_m : diámetro medio de las partículas del material granular (mm)
- z : exponente variable en función del diámetro medio de la partícula
- μ : factor de corrección por contracción del cauce (Tabla 1)
- φ : factor de corrección por forma de transporte de sedimentos
- γ_m : peso específico de la muestra agua sedimento
- S : pendiente media del río (m/m)
- n : coeficiente de rugosidad de Manning
- α : coeficiente de sección dependiente de las características hidráulicas
- h : Profundidad del agua antes de la socavación medida en una línea vertical desde el
NAME hasta el fondo del cauce original.

Tabla 1

Factor de corrección por contracción del cauce (u)

V (m/s)	Luz libre (m)												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
<1.0	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
1.0	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

1.5	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
2.0	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
2.5	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
3.0	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
3.5	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
>4.0	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

Nota: Adoptado de Socavación en Puentes, por M.E. Guevara, 2016, Lemoine Editores S. en C.

b) Método de Straub. Se utiliza para estimar el posible descenso del fondo del cauce de un río debido a la reducción de su sección transversal. Se emplea la siguiente fórmula:

Ecuación 2: Método de Straub

$$Ds = Hs - h_1$$

$$Hs = \left(\frac{B1}{B2} \right)^{0.642} h_1 \quad (E7)$$

Dónde:

- Ds: Profundidad media de socavación por contracción (m)
- Hs: Profundidad media del flujo en el cauce en la sección contraída del puente después de la socavación(m)
- h₁: Tirante de agua hacia aguas arriba de la contracción
- B₁: Ancho de la superficie libre del cauce aguas arriba de la contracción (m)
- B₂: Ancho de la superficie libre del cauce en la contracción

2.2.3.3. Socavación en pilas

Hay una gran cantidad de métodos que permiten conocer la socavación en las pilas del puente sin embargo a la fecha no existe un método preciso para el cálculo de la socavación, la mayoría de estos métodos se han desarrollado para cauces aluviales sin considerar que las

partículas de mayor diámetro acoracen el hueco de socavación y limiten su profundidad.
(Guevara, 2016)

a) Método de Laursen y Toch (1953, 1956). Este método se basa en estudios que demuestran que la máxima profundidad de socavación es independiente de la capacidad de flujo.

- Caso del flujo de agua paralelo al eje mayor de la pila

Ecuación 3: Socavación por Laursen y Toch (1er caso)

$$d_s = K_f K_g a$$

Donde:

- d_s : profundidad de socavación local medida a partir del fondo del cauce
- K_f : coeficiente que depende la forma de la nariz de la pila (Figura 4)
- K_g : coeficiente que depende la relación H_s/a (Figura 5)
- H_s : profundidad de agua que queda después de la socavación por contracción
- a : ancho de la pila

Figura 4

Coefficiente K_f según forma de la nariz de la pila

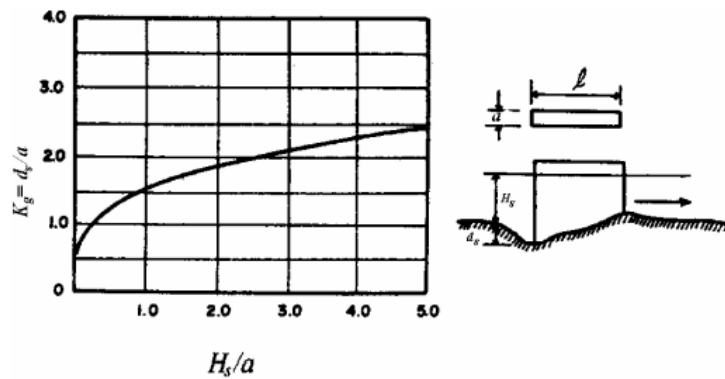
FORMA DE LA NARIZ	COEFICIENTE K_f DE SCHNEIBLE
RECTANGULAR $l/a = 4$	1.00
SEMICIRCULAR	0.90
ELIPTICA $\frac{p-2}{r} = \frac{l}{l}$ $\frac{p-3}{r} = \frac{l}{l}$	0.81
	0.75
LENTICULAR $\frac{p-2}{r} = \frac{l}{l}$ $\frac{p-3}{r} = \frac{l}{l}$	0.81
	0.69

FORMA DE LA NARIZ	SEGÚN TISON
BISELADA $l/a = 4$	0.78
PERFIL HIDRODINAMICO $l/a = 4$	0.75

Nota: Extraído de Socavación en Puentes, por M.E. Guevara, 2016.

Figura 5

Valores del coeficiente K_g



Nota: Tomado de Socavación en Puentes, por M.E. Guevara, 2016.

- Caso del flujo de agua con un ángulo de ataque al eje de la mayor dimensión de la pila.

Ecuación 4: Socavación por Laursen y Toch (2do caso)

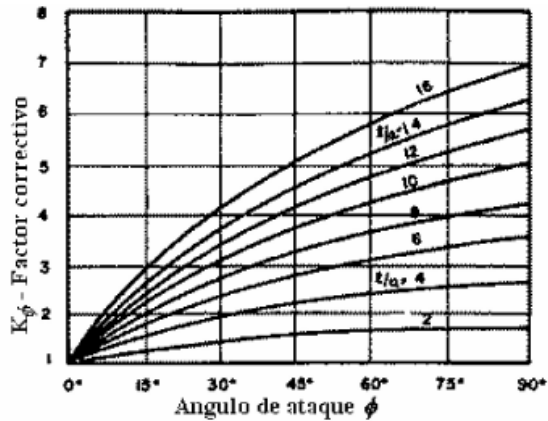
$$d_s = K_g K_\phi a$$

Donde:

- K_ϕ : coeficiente que depende del ángulo de ataque del flujo y la geometría de la pila, cuyos valores se extraen de gráfico de la Figura 6.

Figura 6

Valores del coeficiente



Nota: Tomado de Socavación en Puentes, por M.E. Guevara, 2016.

b) Método de Froehlich

- Cálculo de socavación.

Ecuación 5: Socavación por Froehlich

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

Dónde:

- d_s : profundidad de socavación local (m)
- K_f : factor de corrección por la forma de la pila (Tabla 2)

- a' : ancho proyectado de la pila con relación al ángulo de ataque del flujo
- a : ancho de la pila, adicionado como un factor de seguridad
- h : profundidad del flujo directamente aguas arriba de la pila
- Fr : número de Froude en la sección directamente aguas arriba de la pila
- D_{50} : diámetro de la partícula de lecho en una mezcla cuyo 50% es menor
- Para pilas con punta circular alineadas con el flujo se tiene:
 - $ds \leq 2.4a$ para $Fr \leq 0.8$
 - $ds \geq 2.4a$ para $Fr > 0.8$

Tabla 2

Factor de corrección K_f

Forma de la pila	K_f
Punta cuadrada	1.3
Pila con punta circular	1.0
Pila con punta agua o triangular	0.7

Nota: Adoptado de Socavación en Puentes, por M.E. Guevara, 2016.

2.2.3.4. Socavación en estribos

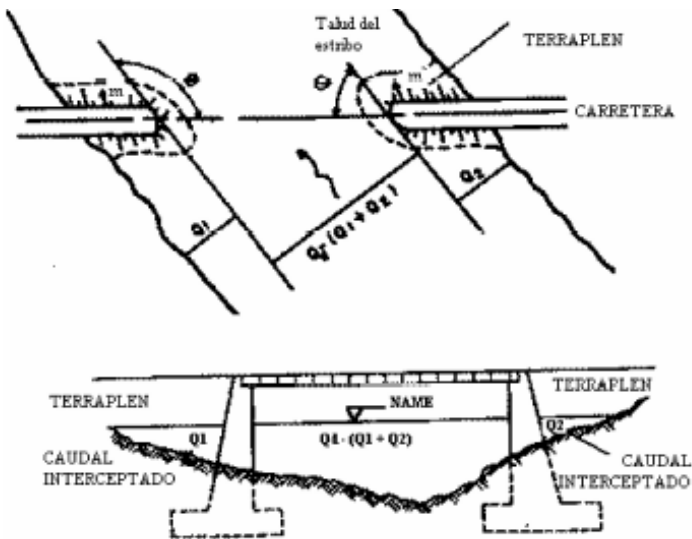
La socavación local en estribos depende de la interacción que existe entre el flujo y la estructura (tal como se ilustra en la Figura 7), así mismo también es limitada por la forma del estribo, características de los sedimentos y la forma de la sección transversal. La socavación local en estribos depende en mayor parte de la posición de estos en el cauce del río, ya que pueden estar ubicados en laderas o directamente metido en el cauce principal. El ingeniero diseñador debe tomar las ecuaciones que mejor se adapten a la estructura y posición del puente. (Guevara, 2016)

a) *Método de Artamonov*. Este método 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
- Talud que tienen los estribos
- Ángulo entre el eje longitudinal de la obra y la corriente (θ)

Figura 7

Intersección del flujo por los estribos.



Nota: Adoptado de Socavación en Puentes, por M.E. Guevara, 2016.

La ecuación para el cálculo de socavación es la siguiente:

Ecuación 6: Socavación por Artamanov

$$H_T = K_\theta K_Q K_m h$$

Donde:

- H_T : profundidad del agua al pie del estribo
- K_θ : coeficiente que depende del ángulo que forma el eje de la obra con la corriente

(Tabla 3).

- K_Q : coeficiente que depende de la relación entre el gasto teórico interceptado por el estribo Q_1 o Q_2 y el caudal total Q_d que escurre por la sección transversal (Tabla 4).
- K_m : coeficiente que depende del talud que tienen los lados del estribo (Tabla 5).
- h : tirante de agua en la zona cercana al estribo antes de la socavación.

Los valores para los coeficientes se muestran en las siguientes tablas

Tabla 3

Coeficiente de corrección K_θ

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

Nota: Adoptado de Socavación en Puentes, por M.E. Guevara, 2016, Lemoine Editores S. en C.

Tabla 4

Coeficiente de corrección K_Q

Q_1/Q_d	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
K_Q	2.00	2.65	3.22	3.45	3.67	3.87	4.06	4.20

Nota: Adoptado de Socavación en Puentes, por M.E. Guevara, 2016, Lemoine Editores S. en C.

Tabla 5

Coeficiente de corrección K_m

Talud (m)	0.00	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
K_m	1.00	0.91	0.85	0.83	0.61	0.50

Nota: Adoptado de Socavación en Puentes, por M.E. Guevara, 2016, Lemoine Editores S. en C.

Cuando el puente no está sesgado con la relación al flujo ($\theta=90^\circ$) y la pared de los estribos

es vertical se usa la siguiente expresión:

$$H_T = K_Q \cdot h \quad (E_8)$$

- b) **Método de Laursen.** Es un método basado en el cambio de relaciones de transporte provocado por el cambio de dirección que genera los estribos, puede aplicarse para lechos móviles y en agua clara. (Guevara, 2016)

Las ecuaciones deben ser ajustadas por un factor de corrección K_0 para considerar el efecto del ángulo de ataque del flujo.

- Socavación en lecho móvil

Ecuación 7: Socavación por Laursen (lecho móvil)

$$\frac{L}{h} = 2.75 \frac{d_s}{h} \left[\left(\frac{d_s}{11.5h} + 1 \right)^{1.7} - 1 \right]$$

- Socavación en agua clara

Ecuación 8: Socavación por Laursen (agua clara)

$$\frac{L}{h} = 2.75 \frac{d_s}{h} \left[\frac{\left(\frac{d_s}{11.5h} + 1 \right)^{7/6}}{\left(\frac{\tau}{\tau_c} \right)^{0.5}} - 1 \right]$$

Donde:

- h : profundidad media de flujo aguas arriba en el cauce principal
- L : longitud del estribo y accesos al puente que se oponen al paso del agua
- τ : esfuerzo cortante en el lecho hacia aguas arriba del estribo
- τ_c : esfuerzo cortante crítico para D_{50} del material del lecho aguas arriba

Las ecuaciones anteriores se aplican para estribos con pared vertical; para otras formas de estribos, las profundidades de socavación deben afectarse por un factor de corrección K_f :

- $K_f = 0.9$ para estribos con aletas inclinadas 45°
- $K_f = 0.8$ para estribos con pared inclinadas hacia el cauce

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Modelo numérico HEC-RAS

2.3.1.1. Descripción. El programa de análisis hidráulico HEC-RAS permite al usuario interactuar con el sistema mediante una interfaz gráfica. Ofrece beneficios computacionales en el modelamiento de inundaciones, transporte de sedimentos, perfilado de superficies.

HEC-RAS se basa en resolver la ecuación de energía donde se estiman las pérdidas por fricción según la ecuación de Manning y las pérdidas por contracción y/o expansión son proporcionales al cambio de presión dinámica. En situaciones con flujos rápidamente cambiantes, como sucede en los resaltos, el software también hace uso de la ecuación de momento para dar la solución. Para flujos inestables utiliza un esquema de diferencias finitas desarrollado por Preissmann y Chen en 1973, para dar solución a las ecuaciones de conservación de masa y momento.

2.3.1.2. Formulación Matemática. En el caso del modelamiento hidráulico de ríos considerando el modelamiento de flujo constante es el resultado del principio de conservación de la masa y del principio de conservación del movimiento, ambos en la misma dirección.

Ecuación 9: Conservación de masa y de movimiento (HEC-RAS)

$$\frac{\delta A_t}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} - q_l = 0$$
$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta QV}{\delta x} + gA\left(\frac{\delta z}{\delta x} + S_f\right) = 0$$

Donde:

- A_t : Área total de flujo (m^2).
- Q : Caudal total (m^3/s)
- q_l : Caudal de entrada lateral por unidad de ancho ($m^3/s/m$)
- V : Velocidad promedio del flujo (m/s)
- g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)
- $\delta z/\delta x$: Pendiente de la superficie del agua (m/m)
- S_f : Pendiente de fricción (m/m)

2.3.1.3. Metodología de cálculo. Se contempla bajo las siguientes hipótesis:

- Geometría fija (barimetría y puntos topográficos)
- Velocidad uniforme en la sección
- Presión hidrostática (Pendiente suave)

Flujos bajos. Para flujos bajos se contemplan las siguientes ecuaciones:

Ecuación 10: Energía para flujo gradualmente variado

$$Y_1 + Z_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} = Y_2 + Z_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} + h_e$$

$$a = \frac{1}{V^3 A} \int v^3 dA$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde:

- Y_1, Y_2 : profundidad del agua en la sección transversal
- Z_1, Z_2 : elevación del lecho del tramo (m)
- V_1, V_2 : velocidades promedio (Q_{total}/A_{total}) (m/s)

- α_1, α_2 : coeficiente de distribución de velocidades de Coriolis que se estima en cada sección a partir de la distribución de velocidades (adimensional)
- g : aceleración de la gravedad
- h_e : pérdida principal de energía (m)

Ecuación 11: Pérdida principal de energía

$$h_e = LS_f + C \left[\frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right]$$

Donde:

- L : Longitud del tramo
- S_f : Pendiente de fricción entre dos secciones (m/m)
- C : Coeficiente de pérdida por expansión o contracción (adimensional)
 – $C_e = 0.3-0.5$, $C_c = 0.1-0.3$

Ecuación 12: Pendiente por fricción (Manning)

$$S_f = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}}$$

$$S_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$$

Ecuación 13: Rugosidad compuesta (Horton-Einstein)

$$n = \left[\frac{\sum P_i n_i^{3/2}}{P} \right]^{2/3}$$

Ecuación 14: Cantidad de movimiento

$$Z_2 + Y_2 + a_2 \frac{Q_2^2}{2gA_2^2} = z_1 + y_1 + a_1 \frac{Q_1^2}{2gA_1^2} + S_f L + \Delta H$$

Dónde:

- Y_1, Y_2 : Profundidad el agua en la Sección Transversal (m),
- Z_1, Z_2 : Elevación del lecho del tramo (m),
- Q_1, Q_2 : Q total (m^3/s).
- α_1, α_2 : Coeficiente de distribución de velocidades de Coriolis que se estiman en cada sección a partir de la distribución de velocidades (adimensional)
- g: aceleración de la gravedad (m/s^2)
- S_f : Pendiente de fricción (m/m)
- ΔH : pérdida de energía (m)

2.3.2. Modelo numérico Iber

2.3.2.1. Descripción del software. Iber es un modelo numérico bidimensional para la simulación de flujo de superficie libre en ríos, canales abiertos, etc., desarrollado directamente desde la administración pública española en colaboración con el Grupo de Ingeniería de Agua y Medio Ambiente, GEAMA (Universidad da Coruña), el Grupo de Ingeniería Matemática (Universidad de Santiago de Compostela) y el Instituto Flumen (Universidad Politécnica de Valencia y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería).

El modelo Iber combina un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos, y utiliza el método de volúmenes finitos para resolver las ecuaciones del principio de conservación de masa (continuidad) y el principio de conservación de movimiento. El módulo de cálculo tiene una interfaz que se base en el software de preproceso y postproceso GiD que da como resultado una modelización matemática de flujo hídrico y sedimentos fluviales con la finalidad de estimar los valores de los parámetros hidráulicos como la velocidad, el calado, el caudal, etc., del flujo de agua en cauces de ríos con puentes y zonas de inundación, en estuarios, etc.

2.3.2.2. Formulación matemática. La formulación matemática del modelo Iber se base en la solución de las ecuaciones diferenciales bidimensionales de Saint-Venant del principio de conservación de masa (continuidad) y en principio de conservación de la cantidad de movimiento utilizando el método de elementos finitos. La ecuación de conservación de la masa para aguas someras que alcanzan una profundidad de hasta 30 m se expresan de la siguiente manera:

Ecuación 15: Conservación de masa

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = M_1$$

$$\frac{\partial h U_x}{\partial t} + \frac{\partial h U_x^2}{\partial x} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial y} = gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} + \frac{\tau_s x}{\rho} - \frac{\tau_b x}{\rho} - \frac{gh^2 \partial \rho}{\rho 2 \partial x} + 2\Omega \sin \lambda U_y + \frac{\partial h \tau_{xx}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial y} + M_x$$

$$\frac{\partial h U_y}{\partial t} + \frac{\partial h U_y^2}{\partial y} + \frac{\partial h U_x U_y}{\partial x} = gh \frac{\partial Z_s}{\partial y} + \frac{\tau_s y}{\rho} - \frac{\tau_b y}{\rho} - \frac{gh^2 \partial \rho}{\rho 2 \partial y} + 2\Omega \sin \lambda U_x + \frac{\partial h \tau_{xy}^e}{\partial x} + \frac{\partial h \tau_{yy}^e}{\partial y} + M_y$$

Donde:

- h: Calado (m)
- U_x y U_y : Velocidades promedias en profundidad (m/s)
- g: aceleración de la gravedad (m^3/s)
- Z_s : Elevación de la lámina libre (m)
- τ_s : Fricción en la superficie libre debido a la fricción producida por el viento (N)
- τ_b : Fricción debido al rozamiento en el fondo (N)
- ρ : Densidad del agua (kg/m^3)
- Ω : Velocidad angular de rotación de la tierra (rad)
- λ : Latitud del punto considerado (m)
- $\tau_{xx}^e, \tau_{xy}^e, \tau_{yy}^e$: Tensiones efectivas horizontales (Pa)
- M_s, M_x, M_y : Términos de fuente/sumidero de masa y momento respectivamente

2.3.2.3. Metodología de cálculo. Para el presente estudio se utiliza el módulo hidrodinámico y el módulo de turbulencia que conforma la base Iber, donde se resuelve las ecuaciones de aguas someras bidimensionales a profundidad media.

Ecuación 16: Continuidad y cantidad de movimiento (Iber)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} + \frac{\partial h V_y}{\partial y} = i$$

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{V_x \partial V_x}{g \partial x} + \frac{V_x \partial V_y}{g \partial y} - \frac{\partial V_x}{g \partial t}$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{V_y \partial V_y}{g \partial y} + \frac{V_x \partial V_y}{g \partial x} - \frac{\partial V_y}{g \partial t}$$

Donde:

- h: Profundidad del flujo
- V_x y V_y : Componentes de la velocidad media (m/s²)
- t: Tiempo
- g: Aceleración de la gravedad (m/s²)
- S_f : Pendiente de fricción (m/m)
- S_o : Pendiente del lecho (m/m)
- i: Intensidad de precipitación (mm)

a) Configuración del modelo. El programa Iber resuelve las ecuaciones bidimensionales del flujo en lámina libre para aguas someras en el módulo hidrodinámico, y resuelve las ecuaciones en forma integral en los tres módulos (de dinámico, de turbulencia, de sedimentos) mediante el método de volúmenes finitos en una malla no estructurada.

Ecuación 17: Método de volúmenes finitos

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_t h \frac{\partial U_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_t h \frac{\partial U_x}{\partial y} \right)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q_y^2}{h} + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{q_x q_y}{h} \right) = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_t h \frac{\partial U_y}{\partial x} \right)$$

Donde:

- h: Profundidad del flujo (m)
- q_x y q_y : Caudales específicos en las direcciones x e y, respectivamente (m^3/s)
- t: Tiempo
- g: Aceleración de la gravedad (m/s^2)
- τ_{bx} , τ_{by} : Esfuerzos cortantes en la base del cauce en x e y, respectivamente (Pa)
- v_t : Velocidad en el instante t (m/s)
- z_b : Tirante de agua referido desde la base del cauce (m)

b) Secuencia del modelo de simulación

- Crear o importar la geometría
- Asignar los parámetros hidráulicos de entrada (rugosidad de fondo, modelo de turbulencia, etc.)
- Asignar las condiciones de contorno y las condiciones iniciales
- Asignar condiciones generales de cálculo (tiempo de cálculo, parámetros de esquema numérico, etc.)
- Construir la malla
- Realizar el cálculo

2.3.3. Cuenca hidrográfica

2.3.3.1. Definición. Se define como cuenca al área donde se capta los diferentes flujos de agua producidos por precipitaciones, los cuales se unen para formar un solo curso de agua al cual se denomina río principal. Las cuencas se pueden clasificar según su tamaño en cuenca grande y cuenca pequeña. (Villón, 2002)

a) **Cuenca grande.** Se considera como cuenca grande a aquellas que abarcan un área mayor a los 250 km².

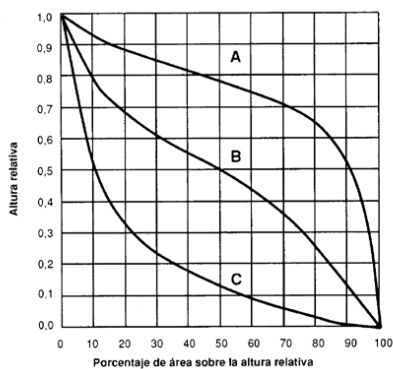
b) **Cuenca pequeña.** Se denomina así a las cuencas que tiene un área que va desde unas pocas hectáreas hasta un área no mayor a los 250 km².

2.3.3.2. Curvas características de una cuenca

a) **Curva hipsométrica.** Muestra la relación entre la elevación y el nivel de la cuenca por encima de la cual se encuentra la elevación (Figura 8).

Figura 8

Curva hipsométrica



Nota: La curva superior (A) muestra una cuenca en fase de juventud; la curva intermedia (curva B) muestra una cuenca en fase de madurez; y la curva intermedia (curva c) muestra una cuenca en fase de vejez. Extraído de Estudio hidrológico de máximas avenidas (p. 19), por Contreras, 2017, Autoridad Nacional del Agua.

b) Curva de frecuencia de altitudes. Es un complemento de la curva hipsométrica, la cual representa de forma gráfica la distribución en porcentaje de las superficies ocupadas en distintos puntos de elevación.

2.3.3.3. Índices representativos de una cuenca

a) Índice de factor de forma de una cuenca (F). Representa la relación que existe entre el ancho promedio de una cuenca con su longitud. Una cuenca se considera alargada si el factor de forma tiende a cero, lo que involucra una baja susceptibilidad a avenidas; mientras un factor de forma superior a la unidad indica es característico de una cuenca achatada, lo que implica una tendencia a ocurrencia de avenidas.

$$F = \frac{B}{L} \quad (E_9)$$

Donde:

- B: Ancho de la cuenca
- L: Longitud de la cuenca

b) Coeficiente de Gravelius (Índice de compacidad). Expresa la relación del perímetro de la cuenca con el perímetro equivalente de una circunferencia de igual área con la cuenca.

$$K = \frac{0.28 \cdot P}{\sqrt{A}} \quad (E_{10})$$

Donde:

- K: Coeficiente de Gravelius
- P: Perímetro de la cuenca
- A: Área de la cuenca

Tabla 6

Valores del coeficiente de compacidad

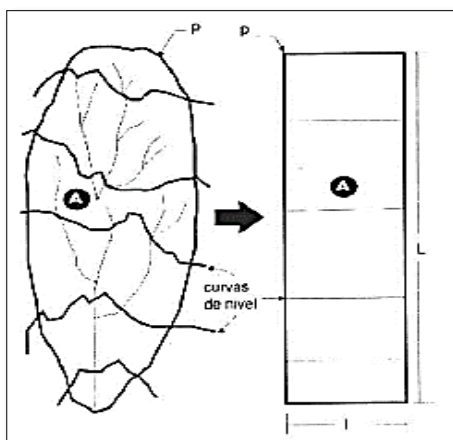
Kc	Forma de la cuenca	Tendencia crecida
1.00 – 1.25	De casi redonda a oval alargada	Alta
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga	Media
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular	Baja

Nota: Adaptada de Estudio hidrológico de máximas avenidas (p. 16), por Contreras, 2017, Autoridad Nacional del Agua.

2.3.3.4. Rectángulo equivalente. Es una transformación geométrica que permiten representar la cuenca de forma heterogénea, con la misma área y perímetro a una forma rectangular con la misma distribución de altura (es decir, similar a una curva hipsométrica) y una distribución uniforme de terreno, con respecto a las condiciones de cobertura. En este rectángulo, las curvas de nivel se detallan en forma paralela al lado menor (Figura 9). (Villón, 2002)

Figura 9

Transformación de una cuenca en un rectángulo



Nota: Adaptada de Hidrología (p. 43), por Máximo Villón, 2002.

Si se trata del lado mayor L:

$$L = \frac{k\sqrt{A}}{1.12} \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \quad (E_{11})$$

Si se trata del lado menor I:

$$I = \frac{k\sqrt{A}}{1.12} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K} \right)^2} \right) \quad (E_{12})$$

Donde:

- L: Longitud del lado mayor del rectángulo
- I: Longitud del lado menor del rectángulo
- K: Índice de Gravelius
- A: Área de la cuenca

2.3.3.5. Pendiente de la cuenca. Es uno de los principales elementos a tomarse en consideración al momento de hacer un estudio de cuencas, ya que está directamente relacionado con la infiltración, escorrentía superficial, humedad y contribución del agua subterránea a la escorrentía; además de esta depende la magnitud de las crecidas de los ríos. (Villón, 2002)

a) Criterio de Alvord. La metodología está basada en la obtención de áreas parciales que surgen al dividir el área total de la cuenca mediante sus curvas de nivel, para posteriormente tomar las pendientes existentes entre curvas de nivel.

$$S = \frac{DL}{A} \quad (E_{13})$$

Donde:

- S: Pendiente de la cuenca
- D: Desnivel constante entre curvas de nivel, en Km
- L: Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca, en km

- A: Área de la cuenca, en km²

b) Criterio del rectángulo equivalente. El parámetro a tomarse en cuenta es la pendiente media del rectángulo equivalente.

$$S = \frac{H}{L} \quad (E_{14})$$

Donde:

- S: Pendiente de la cuenca
- H: Desnivel total, en km
- L: Lado mayor del rectángulo equivalente, en km

2.3.3.6. Coeficiente Orográfico. Es el parámetro que mide la degradación de la cuenca y toma en cuenta la altura sobre el nivel del mar y el área de la cuenca.

$$C_o = \frac{H^2}{A} \quad (E_{15})$$

Donde:

- Co: Coeficiente orográfico
- H: Altitud media de la cuenca, en (m)
- A: Área de la cuenca, en m²

2.3.3.7. Pendiente del cauce. Este parámetro nos permite tener una noción de cuál es el comportamiento hídrico de las aguas en una cuenca. Es determinada al dividir el desnivel existente entre los extremos del tramo entre su longitud.

$$S = \frac{H}{L} \quad (E_{16})$$

Donde:

- S: Pendiente del cauce
- H: Diferencia entre las cotas de los extremos del cauce en k

- L: Longitud del cauce, en Km

2.3.3.8. Densidad de drenaje. Indica la relación entre la longitud total de los ríos y el área total de la cuenca.

$$D = \frac{L_T}{A} \quad (E_{17})$$

Donde:

- D: Densidad de drenaje
- L_T : Longitud total de los ríos de la cuenca, en Km
- A: Área de la cuenca, Km^2

2.3.3.9. Relación de confluencias. Es la distribución de la red hídrica que drena el en área de la cuenca.

$$R_{ci} = \frac{N_i}{N_{i+1}} \quad (E_{18})$$

$$R_c = \frac{\sum R_{ci}}{n} \quad (E_{19})$$

Donde:

- R_{ci} : Relación de confluencia parcial
- N_i : Número de cursos de orden i
- n: Número de relaciones de confluencias parciales

2.3.4. Análisis estadístico de tormentas

Los modelos probabilísticos en el análisis de datos hidrológicos se usan principalmente para definir las precipitaciones, intensidades o caudales máximos para diferentes tiempos de retorno.

2.3.4.1. Distribuciones probabilísticas. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC] (2018), en el Manual de Puentes considera que:

En el estudio hidrológico de puentes debe estimarse los caudales máximos para diferentes periodos de retorno y según distintos métodos probabilísticos, para los cuales sugiere llevar a cabo una prueba de bondad de ajuste de los distintos métodos de análisis de frecuencia (Gumbel, Log - Pearson Tipo III, Log - Normal, etc.) para seleccionar la mejor distribución.

a) Distribución normal. Se define mediante la ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{(2\pi)}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{s}\right)^2} \quad (E_{20})$$

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 Tipo III. La función de densidad se define como:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x\beta^\gamma T(\gamma)} \quad (E_{21})$$

Valido para:

$$X_0 \leq x < \infty \quad -\infty < x_0 < \infty \quad 0 < \beta < \infty \quad 0 < \gamma < \infty$$

Donde:

- X_0 : parámetro de posición

- γ : parámetro de forma
- β : parámetro de escala

c) **Distribución Gumbel.** Se define mediante la expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (\text{E22})$$

Usando el método de momentos se obtiene las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \quad (\text{E23})$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma \quad (\text{E24})$$

Donde:

- α : Parámetro de concentración
- β : Parámetro de localización

2.3.4.2. Pruebas de bondad y ajuste. Son pruebas de hipótesis que se utilizan para evaluar si una muestra de datos es independiente de una distribución de probabilidad elegida.

a) **Prueba chi cuadrado (prueba X^2).** Desde un punto de vista matemático solo se aplica para comprobar la bondad de distribuciones normales y log-normales.

b) **Prueba Kolmogorov-Smirnov.** Permite verificar la bondad de ajuste de las distribuciones y elegir la más representativa o la de mejor ajuste.

$$D = \text{máx}|F_o(xm) - F(xm)| \quad (\text{E25})$$

$$D = \frac{1-m}{n+1} \quad (\text{E26})$$

Donde:

- $F_o(xm)$: Distribución de probabilidad observada
- $F(xm)$: Distribución de probabilidad estimada

- m : Número de orden de datos de mayor a menor
- n : Número total de datos

2.3.4.3. Periodo de retorno (T)

El periodo de retorno se puede definir como el grado de incidencia en el que un determinado evento de un cierto grado de intensidad puede ser igualada o superada por lo menos una vez en un periodo en T años. El tiempo de retorno por lo general se fija tomando en cuenta el tiempo de vida útil (n) de la obra, el tipo de la estructura, la facilidad de reparación en caso de daños y el peligro de pérdida de vidas humanas en caso de falla. (Absalón et al, 2016)

Considerando una vida útil n y fijando un riesgo de falla admisible R de una estructura hidráulica, el periodo de retorno T se puede calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n \quad (E_{27})$$

2.3.4.4. Curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF). Según el Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC] (2012), en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje afirma que “son un elemento de diseño que interrelaciona la intensidad de la lluvia, la duración de ésta y la frecuencia con la que se puede presentar”.

a) Intensidad. Es la cantidad de agua caída en una unidad de tiempo, expresada en mm/h. Lo que interesa en un análisis de tormenta es la intensidad máxima.

$$I_{max} = \frac{P}{T} \quad (E_{28})$$

Donde:

- I_{max} : Intensidad máxima en mm/h
- P : Precipitación en altura de agua

- T: Tiempo en horas

b) Duración. Es el tiempo que dura la tormenta

c) Frecuencia. Es el tiempo que se repite una tormenta de una determinada intensidad y duración, generalmente se expresa en años.

Las curvas de intensidad – duración – frecuencia se calculan indirectamente mediante la siguiente relación:

$$I = \frac{KT^m}{t^n} \quad (E_{29})$$

Donde:

- I: Intensidad máxima (mm/h)
- K, m, n: Factores característicos de la zona de estudio
- T: Periodo de retorno en años
- t: Duración de la precipitación igual al tiempo de concentración (min)

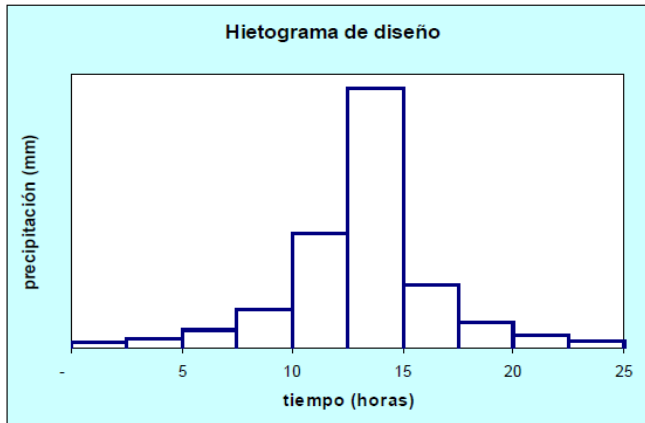
2.3.5. Hietograma de diseño.

Permite conocer la evolución o distribución temporal de una tormenta de diseño observada.

Una de las maneras de obtener el hietograma de diseño (ver Figura 10) utilizando las curvas IDF es mediante el Método de Bloque Alterno.

Figura 10

Ejemplo de hietograma de diseño



Nota: Extraído del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (p. 41), 2012, MTC.

2.3.6. Precipitación total y efectiva

La precipitación efectiva o también denominada exceso de precipitación hace referencia a la precipitación que no es retenida por la superficie terrestre ni sufre infiltraciones. Luego de fluir a lo largo de la cuenca se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca.

El hietograma de precipitación efectiva resulta a partir del hietograma de precipitación, esto de dos diferentes formas, a causa de la existencia o no existencia de caudales disponibles para la tormenta.

2.3.6.1. Método SCS para abstracciones. El Soil Conservation Service [SCS] (1972) en su método planteado para el cálculo de abstracciones de precipitación de una tormenta describe que la escorrentía directa (P_e) es siempre menor a la profundidad de precipitación (P), adicionalmente la profundidad adicional de agua retenida es menor o igual a alguna retención potencial máxima (S). Existirá cierta cantidad de precipitación (I_a) para la cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P - I_a$. Su hipótesis plantea que la obtención de dos cantidades reales y dos potenciales son iguales.

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Pe}{P - Ia} \quad (E_{30})$$

Luego del principio de continuidad:

$$P = Pe + Ia + Fa \quad (E_{31})$$

Se obtiene la ecuación para el cálculo de escorrentía directa según el método SCS:

$$Pe = \frac{(Pe - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad (E_{32})$$

Al analizar los datos obtenidos de diferentes cuencas experimentales pequeñas se llegó a la relación de:

$$Ia = 0.2S \quad (E_{33})$$

Por lo tanto, se puede obtener una nueva fórmula para la escorrentía directa:

$$Pe = \frac{(Pe - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (E_{34})$$

La aplicación de este método exige un valor de número adimensional de curva o curva número (CN) que corresponde al área de intervención donde el CN se calibra a partir de datos de precipitaciones y caudales resultantes, luego se ajusta el modelo hasta hacer coincidir el hidrograma de campo con el calculado.

Los números de curva han sido tabulados por la SCS en base al tipo de suelo del estudio.

Se definen 4 tipos de suelo (ver Tabla 7):

- a) Grupo A.** Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- b) Grupo B.** Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- c) Grupo C.** Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- d) Grupo D.** Margas arcillosas, Suelos que se expanden significativamente cuando se

mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Tabla 7

Número de curva de escorrentía.

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada: Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales: Condiciones pobres	68	79	86	89
Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierba.	45	66	77	83
Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, etc.				
Óptimas condiciones, cubierta de pasto del 75% a más.	39	61	74	80
Condiciones aceptables, cubiertas entre el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial				
Tamaño prom. de lote	% prom. impermeable			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79

Nota: Extraído del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (p. 41), 2012, MTC.

2.3.7. Hidrogramas unitarios

El hidrograma unitario es un gráfico que muestra la variación temporal de ciertos datos hidrológicos; el hidrograma unitario de una cuenca es el hidrograma de la escorrentía directa que ocurre en la parte saliente de la cuenca. Cabe señalar que las diferentes condiciones climáticas provocan cambios en la estructura general del hidrograma, incluso si las propiedades físicas de la cuenca permanecen relativamente sin cambios.

2.3.7.1. Obtención de hidrogramas unitarios. La obtención de estos diagramas parte a consecuencia de valores registrados, en donde los pasos a seguir son:

- Separar el flujo base de la escorrentía directa.
- Determinar el volumen de escorrentía directa.
- Las ordenadas del hidrograma de escorrentía directa se dividen por la profundidad de escorrentía observada.
- Las ordenadas ajustadas forman el hidrograma unitario.

2.3.7.2. Hidrogramas sintéticos. Son obtenidos mediante simulación usando de referencia las características geomorfológicas y parámetros de la cuenca a estudiar. Esta metodología tiene por finalidad la obtención del caudal pico para el diseño.

a) Hidrograma sintético triangular. Este método es sugerible para aquellas cuencas que no superen los 30 km² y de la cual no se tengan los suficientes datos hidrológicos.

El tiempo de recesión (t_r) puede aproximarse a: $1.67 T$

Como el área bajo el HU debe ser igual a una escorrentía de 1 cm, puede demostrarse que:

$$q_p = \frac{2.08A}{T_p} \quad (E_{35})$$

Donde:

- A: Área de drenaje en km²
- Tp: Tiempo de ocurrencia en el pico de horas.

Adicionalmente:

$$t_p = 0.6 t_c \quad (E_{36})$$

Donde:

- Tp: Tiempo de retardo entre el centroide del hietograma y el pico de caudal) (h)
- tc: Tiempo de concentración de la cuenca.

b) Método hidrograma unitario sintético de Snaider. La definición de este hidrograma expresa que la duración de lluvia t_r está relacionada con el retardo de cuenca t_p por.

$$t_p = 5.5 t_r \quad (E_{37})$$

El retardo de la cuenca se define:

$$t_p (hr) = 0.75 C t (L * L_c)^{0.3} \quad (E_{38})$$

Donde:

- L : Longitud del curso principal en km.
- Lc : Longitud del curso principal al centro de gravedad en km.

El caudal pico en m³/s se define con la fórmula:

$$q_p = \frac{2.75 C_p}{t_p} \quad (E_{39})$$

2.3.8. *Tiempo de concentración y de retardo*

2.3.8.1. Tiempo de concentración. Es el tiempo que demora una gota de agua llegue desde el punto más alejado de la cuenca hacia la salida.

El tiempo de concentración es una cuenca está influenciado por diferentes factores como la geometría presente, pendiente, vegetación, características de la cuenca, etc. Las fórmulas más comunes para determinar el tiempo de concentración toman en cuenta la pendiente, la longitud mayor del cauce y el área.

a) Método de Kirpich (1940). Desarrollada a partir del estudio de 7 cuencas rurales de Tennessee con canales definidos y una pendiente entre 3% y 10%.

$$t_c = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385} \quad (E_{40})$$

Donde:

- L : Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida en metros.
- S : Pendiente promedio de la cuenca en m/m.

b) Método de California Culverts Practice (1942). Desarrollada en California a partir de la fórmula de Kirpich para cuencas pequeñas

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (E_{41})$$

Donde:

- L : Longitud del curso de agua más largo.
- S : Diferencia de niveles entre la divisoria de aguas y punto de salida.

2.3.8.2. Tiempo de retardo. Es el intervalo de tiempo comprendido entre los centros de masa del hietograma y del hidrograma.

2.3.9. Caudales de diseño y modelamiento hidrológico.

Cuando no existen datos de caudales de aforo, “los datos de precipitación sirven como datos de entrada a una cuenca y que producen un caudal Q . Cuando ocurre la lluvia, una parte de ésta se infiltra en el subsuelo de la cuenca y la otra, escurre superficialmente” (MTC, 2012).

Los caudales máximos pueden estimarse por medio de muchas metodologías, pero una de las más empleadas en la actualidad es el Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos.

Con el modelo HEC-HMS se puede simular la respuesta de la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, como producto de la precipitación, a través de la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos, que dará como resultado del modelamiento el cálculo de hidrogramas de flujo en los sitios elegidos de la cuenca.

2.3.10. Hidráulica Fluvial

Los ríos son sistemas hídricos en los que circula el agua por acción de la gravedad y por medio de cauces presentes en la superficie de corteza terrestre, pasando por un curso alto, curso medio y curso bajo. Los ríos son diferentes y variables tanto en su forma como en su flujo por lo que se pueden clasificar de diferentes maneras.

2.3.10.1. Tipos de ríos según su geometría

a) Ríos rectos. En la naturaleza no existe ríos rectos, más si hay sistemas de encauzamiento recto constituidos por diques paraleles, en los cuales para caudales menores a los de diseño el río desarrolla su propia sinuosidad, lo cual genera un choque frontal del flujo hídrico con los diques

de encauzamiento.

b) Ríos entrelazados. También llamado ríos trenzados, son aquellos ríos que corren en forma de varios canales alrededor de varias islas, debido a la amplia superficie de influencia del cauce y a su pendiente pronunciada.

c) Ríos meándricos. Están constituidos por una sucesión de curvas que se forman por el comportamiento de la dinámica fluvial. Este tipo de ríos con frecuentes en las llanuras aluviales, ya que su formación se favorecida por la escasa pendiente.

2.3.10.2. Tipos de ríos según su periodo de actividad

a) Ríos perennes. Estos ríos se encuentran en cuencas hidrográficas con precipitaciones constantes y abundantes por lo que no presentan variaciones considerables en su caudal a lo largo del año.

b) Ríos estacionales. Este tipo de ríos de encuentra en cuencas con marcada estacionalidad, es decir, hay importantes diferencias entre lluviosas y las épocas de sequía, motivo por el cual su caudal presenta considerables variaciones a lo largo del año.

c) Ríos transitorios. Son aquellos cuyo caudal puede desaparecer durante meses e incluso años debido a que se encuentran en climas muy secos y su flujo hídrico reaparece solo reaparecen las lluvias.

2.3.10.3. Tipos de ríos según su condición de transporte de sólidos

a) Ríos estables. Son aquellos que presentan un equilibrio entre la sedimentación y la erosión debido a sus condiciones geométricas, de pendiente, etc.

b) Ríos depositantes. Son ríos en los que predomina la sedimentación debido a la baja velocidad del flujo.

c) Ríos erosionantes. Son aquellos en que predomina la erosión debido a la velocidad del

flujo.

2.3.10.4. Régimen de flujo. De forma general, un río puede ser de régimen permanente, si el calado, la velocidad del flujo y el caudal son constantes en una sección determinada del cauce, o de régimen no permanente, si el calado, la velocidad de flujo y el caudal varían con el tiempo en una sección determinada del cauce fluvial.

a) Número de Reynolds (Re). “Es un parámetro que, dependiendo de la proporción de las fuerzas de inercia sobre las fuerzas de viscosidad, permite clasificar al flujo como laminar, transicional o turbulento” (French, 1988).

$$Re = \frac{U \cdot L}{\nu} \quad (E_{42})$$

Donde:

- U: Velocidad media del flujo
- L: es la longitud característica o radio hidráulico de la sección (R)
- ν : viscosidad cinemática del fluido

Si:

- $R < 2100$ el flujo es laminar
- $2100 < R < 4000$ el flujo es transicional
- $R > 4000$ el flujo es turbulento

b) Número de Froude (F). “Es un parámetro que, dependiendo de la magnitud de la proporción de las fuerzas de gravedad e inercia, permite clasificar al flujo como subcrítico, crítico o supercrítico” (French, 1988).

$$F = \frac{U}{\sqrt{g \cdot L}} \quad (E_{43})$$

Donde:

- U: velocidad del flujo
- L: longitud característica
- g: gravedad

Si:

- $F < 1$ el flujo está en régimen subcrítico
- $F = 1$ el flujo está en régimen crítico
- $F > 1$ el flujo está en régimen supercrítico

2.3.10.5. Transporte de sedimentos. De acuerdo con Rocha (2013) el estudio de transporte de sedimentos es muy importante por las siguientes razones:

- Aporta información de las cantidades de sólidos que se incorporan eventualmente al curso del agua.
- Permite una mejor evaluación de los procesos de agradación y degradación.
- Para el diseño de protecciones contra la socavación en puentes, pilares y estribos.

a) Tamaño y forma de los sólidos. Existe diferentes clasificaciones para determinar el tamaño de las partículas, mientras que la forma de partículas de lechos aluviales son generalmente subredondeadas y subangulares.

El diámetro representativo de la muestra se puede elegir mediante diferentes criterios, pero el más común es tomar al diámetro que corresponde al 50% del porcentaje acumulado, llamado D_{50} .

Ecuación 18: Dímetro medio

$$d_m = \frac{1}{100} \sum P_i d_i$$

Donde:

- D_m : Diámetro medio representativo

- m: subíndice que indica el percentil d_{15} , d_{25} , d_{50} , d_{75} , etc.
- P_i : Porcentaje de peso total de la muestra correspondiente
- d_i : Diámetro de la partícula para el cual el $i\%$ en peso es de la muestra es menor o igual al tamaño de ese tamaño.

b) Condiciones de inicio de movimiento. La tensión tractiva τ_o es la fuerza que ejerce la corriente sobre el fondo por unidad de área, mientras que la fuerza tractiva crítica τ_c es la fuerza mínima necesaria para el comienzo del movimiento de las partículas el lecho fluvial (Rocha, 1998).

Por lo tanto debe cumplirse que:

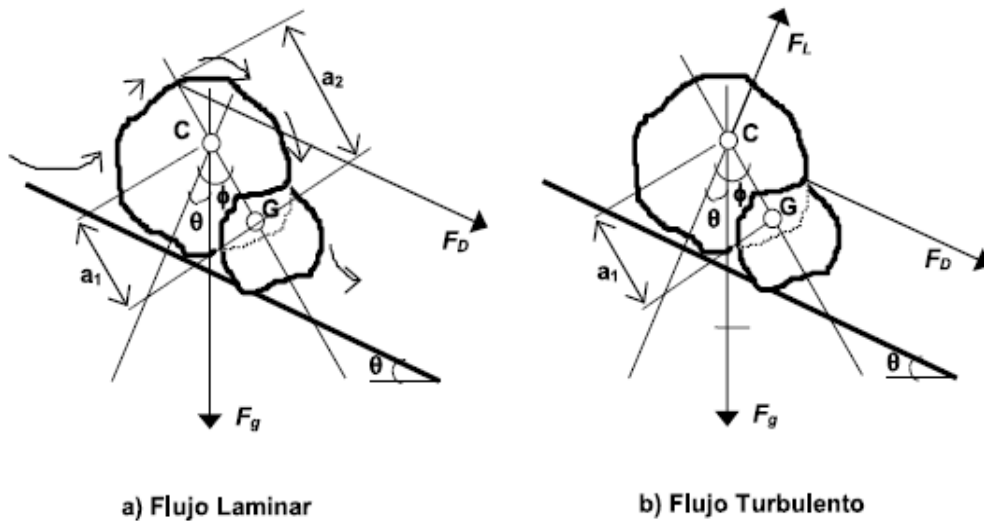
- $\tau_o > \tau_c$: para que haya movimiento de fondo
- $\tau_o < \tau_c$: para que el lecho se comporta como rígido
- $\tau_o = \tau_c$: para el inicio de movimiento de partículas de fondo

Para que una partícula del lecho del río se mueva las fuerzas actuantes tienen que superar las fuerzas resistentes. En la condición crítica para el inicio de movimiento las fuerzas de arrastre que actúan están equilibradas con las fuerzas resistentes (Apacla, 2014).

En la Figura 11 se muestra el esquema de las fuerzas actuantes sobre los sólidos en arrastre:

Figura 11

Flujo alrededor de una partícula en reposo



Nota: Tomado de “Transporte de Sedimentos en Ríos Aluviales”, (p. 98), por Mejía J., 2017.

Las ecuaciones que representan las fuerzas que actúan alrededor de una partícula y las tensiones tractivas críticas se muestran a continuación:

- Para flujo laminar

Ecuación 19: Fuerza de arrastre

$$F_D = \tau_o C_2 D^2$$

Ecuación 20: Fuerza de gravedad

$$F_g = C_1 D^3 (\gamma_s - \gamma)$$

Ecuación 21: Fuerza de sustentación

$$F_L = C_L C_3 \rho D^2 \frac{U^2}{2}$$

Ecuación 22: Tensión tractiva crítica

$$\tau_c = \frac{C_1 a_1}{C_2 a_2} D (\gamma_s - \gamma) \tan \phi$$

- Para flujo turbulento

Ecuación 23: Fuerza de gravedad

$$F_g = C_1 D^3 \gamma_s$$

Ecuación 24: Tensión tractiva crítica

$$\tau_c = \frac{C_1}{C_2} D (\gamma_s - \gamma) \tan \varphi$$

Donde:

- τ_o : Tensión tractiva
- τ_c : Tensión tractiva crítica
- C_1, C_2 : Constantes
- D : Diámetro del sedimento
- γ_s : Peso específico del sedimento
- γ : Peso específico del agua

c) **Diagrama de Shields.** Basándose en investigaciones teóricas y científicas el parámetro de Shields demuestra que la iniciación de movimiento de una partícula de un determinado diámetro puede describirse como la relación entre dos parámetros adimensionales siguientes:

Ecuación 25: Parámetro de Shields

$$\tau_c = \frac{T_o}{(\gamma_s - \gamma)d} = \frac{\rho \cdot U^2}{(\gamma_s - \gamma)d}$$

Ecuación 26: Índice de inestabilidad

$$R = \frac{U \cdot d}{\nu} = 11.6 \frac{d}{\delta}$$

Donde:

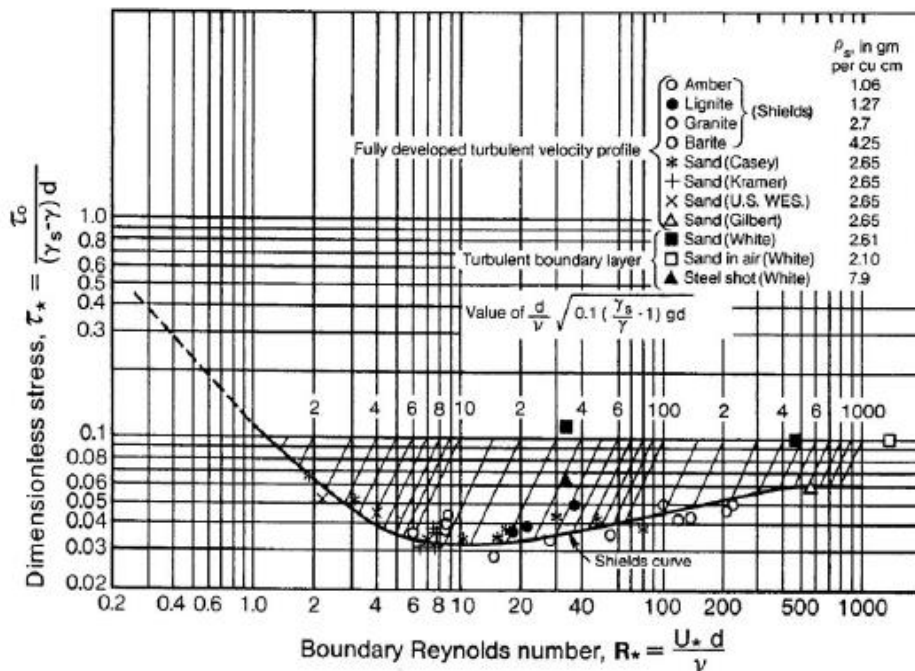
- τ_c : Fuerza tractiva sobre el fondo en el momento de iniciación del movimiento.

- U: Velocidad de corte, $U = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}}$
- R: Número de Reynolds calculado con la velocidad de corte o el diámetro de la partícula.
- δ : Espesor de la subcapa laminar.

El análisis de Shields para el movimiento incipiente de partículas se sintetiza en el gráfico mostrado en la Figura 12.

Figura 12

Diagrama para inicio de movimiento



Nota: Tomado de "Transporte de Sedimentos en Ríos Aluviales", (p. 98), por Mejía J., 2017.

2.3.10.6. Coeficientes de rugosidad en cauces

Debido a que los canales naturales tienen una amplia variedad de morfologías, es difícil evaluar el efecto de la rugosidad además de las formas del relieve que se ven en el canal.

Generalmente se sabe que los efectos de la rugosidad en el caudal del río disminuyen con la profundidad, pero si las orillas del río son más rugosas que el lecho del cauce debido a la presencia de arbustos y árboles, el valor correspondiente de rugosidad aumenta con la profundidad del caudal. (Encalada y Jara, 2010)

Tabla 8

Coefficientes n de Manning para cauces naturales

Material del cauce y llanuras adyacentes	Mínimo	Medio	Máximo
1-Cauces en planicie			
Limpio, recto, lleno, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
Limpio, sinuoso, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones ineficientes	0.040	0.048	0.055
Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.060	0.070	0.080
2-Cauces en montañas (Sin vegetación, bancas empinadas)			
Fondo con gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
Fondo con cantos rodados y rocas grandes	0.040	0.050	0.070
3-Llanura de inundación			
Pasto corto, sin matorrales	0.025	0.030	0.035
Pasto alto, sin matorrales	0.030	0.035	0.050
Áreas sin cultivo	0.020	0.030	0.040
Cultivo en línea maduros	0.025	0.035	0.045
Áreas de cultivo maduro	0.030	0.040	0.050

Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200

Nota: Adoptado de “Hidráulica de Canales Abiertos”, por Chow, 1994, p.110.

El coeficiente de rugosidad (n) del cauce de un río se también se puede determinar aplicando la ecuación de Cowan, a partir del reconocimiento de los factores primordiales que lo afectan.

Ecuación 27: Cowan

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

Donde:

- n_0 : Material involucrado
- n_1 : Grado de irregularidad
- n_2 : Variaciones de la sección transversal
- n_3 : Efecto relativo de las obstrucciones
- n_4 : Incidencia de la vegetación
- m_5 : Grado de los efectos por meandros

Los valores de los factores involucrados se muestran en el Anexo 4.

2.3.10.7. Coeficientes de contracción y expansión de flujo. Son coeficientes que dependen del acortamiento o ampliación de cauce del río, lo cual hace variar las propiedades hidráulicas del flujo al encontrarse con obstáculos como bocatomas o puentes sobre cauces fluviales.

Tabla 9*Coefficientes de contracción y expansión*

Tipo de transición	Expansión	Contracción
Transiciones graduales	0.3	0.1
Transiciones típicas en puentes	0.5	0.3
Transiciones abruptas	0.8	0.6

Nota: Adoptado de (Consortio Huallaga, 2018), citado por Rodriguez y Yataco, 2021.

2.3.10.8. Parámetros de la sección hidráulica. Los parámetros usuales para el estudio de flujo uniforme y variado en ríos son los siguientes:

- Ancho estable del río

Ecuación 28: Petits

$$B = 4.44Q^{0.5}$$

Ecuación 29: Blench

$$B = 1.81 \left(\frac{QF_b}{F_s} \right)^{0.5}$$

Donde:

- Fb: Factor de fondo
- Fs: Factor de orilla
- Altura media del agua (calado o tirante)

Ecuación 30: Manning

$$Y = \left(\frac{nQ}{BS^{1/2}} \right)^{3/5}$$

Donde:

- Y: Tirante del flujo

- n: Coeficiente de Manning
- B: Ancho estable del río
- Q: caudal (m³/s)
- Pendiente del cauce
- Velocidad media de flujo (V)

Ecuación 31: Manning

$$V = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n}$$

Donde:

- S: Pendiente del cauce
- n: Coeficiente de Manning
- R = A/P: Radio hidráulico (m)
- A: Área hidráulica (m²)
- P: Perímetro mojado (m)

2.3.11. Partes estructurales del puente

2.3.11.1. Superestructura. Está conformado por los componentes estructurales que constituyen el tramo horizontal y los principales son:

Tablero. Componente tipo plataforma que soporta directamente las cargas de rodadura y es soportada por otros componentes.

Vigas. Elementos estructurales portantes que transmiten las cargas del tablero a los componentes verticales como pilas y estribos.

Accesorios del tablero. Elementos que sirven para dar funcionalidad al puente y

seguridad tanto a los vehículos como a los peatones.

2.3.11.2. Subestructura

Pilas. Son elementos de apoyo intermedios los cuales transmiten las cargas de la superestructura hacia las fundaciones; pueden tener una sección constante o variable y están diseñadas para resistir presiones hidráulicas y cargas de impacto.

Estribos. Son elementos estructurales ubicados en ambos extremos del puente y entablan la conexión entre la superestructura y el terraplén, están diseñados para soportar las cargas de la superestructura la cual es transmitida por medio de los elementos de apoyo, las presiones del suelo y presiones hidráulicas si el caso lo requiere.

Fundaciones. Corresponden a la cimentación del puente, las cuales se encuentran bajo tierra o bajo el lecho del río y sirven para transmitir las cargas de toda la estructura hacia el suelo.

2.4. Hipótesis

- **H₀.** Los niveles de socavación local en el puente Cementerio y puente Oscar Burga son altos.
- **H₁.** Los niveles de socavación local en el puente Cementerio y puente Oscar Burga son bajos.

2.5. Operacionalización de variables

2.5.1. Variable Independiente

V1: Factores hidrológicos, topográficos, geométricos y geotécnicos

Las precipitaciones y caudales son factores hidrológicos desencadenantes de fenómenos de socavación en el cauce fluvial, mientras que pendiente del cauce, el material del lecho del río y las características geométricas de la estructura del puente son factores condicionantes de dicho fenómeno.

2.5.2. *Variable dependiente*

V2: Socavación

“Es la excavación del cauce lejos o cerca de la cimentación del puente como resultado de la acción erosiva del caudal del río que transporta material sólido del lecho fluvial” (Rocha, 1988).

Tabla 10

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Definición conceptual	Definición operacional	
				Indicadores	Unidad/ Ítem
Independiente	Las precipitaciones y caudales son factores hidrológicos desencadenantes de fenómenos de socavación en el cauce fluvial, mientras que pendiente del cauce, el material del lecho del río y las características geométricas del puente son factores condicionantes de dicho fenómeno.	Factor hidrológico	Caudal debido a una avenida extraordinaria	Caudal de diseño	m ³ /s
		Factor topográfico	Condiciona la velocidad de flujo	pendiente	%
		Factor geométricos	Define las características de la sección hidráulica de los puentes	Ancho – profundidad – luz libre	m
		Factor geotécnico	Determina las propiedades físicas del material del cauce fluvial	Granulometría	%
Dependiente	Profundidad excavada en el fondo del lecho de río por la acción del flujo hídrico que arranca y acarrea el material sólido de fondo del cauce.	Socavación general por contracción	Acarreo del material del lecho del río debido al estrechamiento de cauce fluvial por la construcción del puente	Socavación por el método Lischvan – Lebediev	m
		Socavación local en pilas	Acarreo de material del lecho del río contiguo a las pilas, producto de la interacción del flujo con estas.	Socavación por el Método de Laursen y Toch	m
		Socavación local en estribos	Acarreo de material del lecho del río contiguo a los estribos, producto de la interacción del flujo con estos.	Método de Froehlich	m
		Socavación local en estribos	Acarreo de material del lecho del río contiguo a los estribos, producto de la interacción del flujo con estos.	Socavación por el método de Artamonov	m
				Método de Froehlich	m

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo y según su finalidad es de tipo aplicada. En primer lugar, es cuantitativa porque usa datos e información cuantificables de manera secuencial y probatoria, siguiendo un orden específico para lograr un resultado final, producto de la medición y el cálculo. En segundo lugar, es aplicada porque el objetivo que se persigue conlleva a la aplicación de conocimientos, teorías, principios y fórmulas para lograr un resultado concreto sobre el fenómeno estudiado.

La investigación tiene un nivel o alcance descriptivo y correlacional, ya que, por una parte, busca precisar las propiedades y características de procesos, objetos o fenómenos sometido a un análisis, únicamente midiendo los conceptos o variables a los que se refiere; y, por otra parte, asocia conceptos y variables, y cuantifica relaciones entre estas, permitiendo determinar su grado de asociación y realizar predicciones. (Hernández et al, 2014)

3.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación es cuasiexperimental, puesto que manipula intencionalmente la variable independiente (caudales para 100 y 500 años de periodo de retorno) para observar y estimar la magnitud de la variable dependiente (socavación), y a diferencia del diseño experimental, el grupo experimental no se conforma al azar, sino que es determinado antes del experimento.

GE: X₁.....O₁

GE:X₂.....O₂

Donde:

- GE: Sección hidráulica del puente (claro del puente, pilas y estribos).

- X₁: Factores hidrológicos (T=100 años), topográficos, geométricos y geotécnicos.
- X₂: Factores hidrológicos (T=500 años), topográficos, geométricos y geotécnicos.
- O₁: Niveles de socavación en el puente Cementerio y puente Oscar Burga (caudales para T de 100 años).
- O₂: Niveles de socavación en el puente Cementerio y puente Oscar Burga (caudales para T de 500 años).

3.3. Métodos de investigación

Tabla 11

Métodos de simulación de la interacción hidráulica entre flujo y puente

Método HEC-RAS	Método Iber
a) Se llevó a cabo el levantamiento topográfico 400 m aguas arriba y 200 m aguas abajo de cada puente, según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del 2012 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, donde se obtuvo los puntos geográficos de la morfología del cauce, riberas y planicies de inundación para luego procesarlos y elaborar la geometría con las secciones transversales siguiendo el eje del río.	a) Se llevó a cabo el levantamiento topográfico 400 m aguas arriba y 200 m aguas abajo de cada puente, según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del 2012 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, donde se obtuvo los puntos geográficos de la morfología del cauce, riberas y planicies de inundación para luego procesarlos y elaborar la geometría de la zona de influencia del río.
b) Se efectuó el estudio geotécnico de la zona de trabajo, donde se excavó calicatas en el cauce del río para extraer las muestras del material del lecho, y luego se realizó los ensayos correspondientes de granulometría y peso específico.	b) Se efectuó el estudio geotécnico de la zona de trabajo, donde se debe excavar calicatas en el cauce del río para extraer las muestras del material del lecho, y luego realizar los ensayos correspondientes de granulometría y peso específico.
c) Se realizó el estudio hidrológico de zona de trabajo, donde se delimitará la cuenca y se determinó sus parámetros morfométricos;	c) Se realizó el estudio hidrológico de zona de trabajo, donde se delimitará la cuenca y se determinó sus parámetros morfométricos; además, se hará el tratamiento de los datos de

<p>además, se hizo el tratamiento de los datos de precipitaciones máximas anuales, para los cuales se obtuvo las curvas IDF y se calculó el caudal máximo de avenida.</p> <p>d) Se ingresó los datos de entrada al software HEC-RAS, los que comprenden la geometría de las secciones transversales del río, los datos de flujo como la serie de caudales, paso de cómputo y condiciones de frontera, y los datos de sedimentos como la granulometría, condiciones de frontera, ecuaciones de transporte y caída de sedimentos.</p> <p>e) Se ejecutó la simulación para obtener la información esperada como los niveles de socavación y otros parámetros hidráulicos.</p>	<p>precipitaciones máximas anuales, para los cuales se obtendrá las curvas IDF y se calculó el caudal máximo de avenida.</p> <p>d) Se ingresó los datos de entrada al software Iber, los que comprenden la geometría de la zona de influencia del río, se asignó la rugosidad de fondo, el modelo de turbulencia, condiciones de frontera etc., se asignó además opciones generales de cálculo como tiempo de cálculo, parámetros del esquema numérico, construir la malla, etc.</p> <p>e) Se ejecutó la simulación para obtener los resultados de los parámetros hidráulicos deseados como velocidad del flujo, tirante, etc. para calcular los niveles de socavación.</p>
--	---

3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

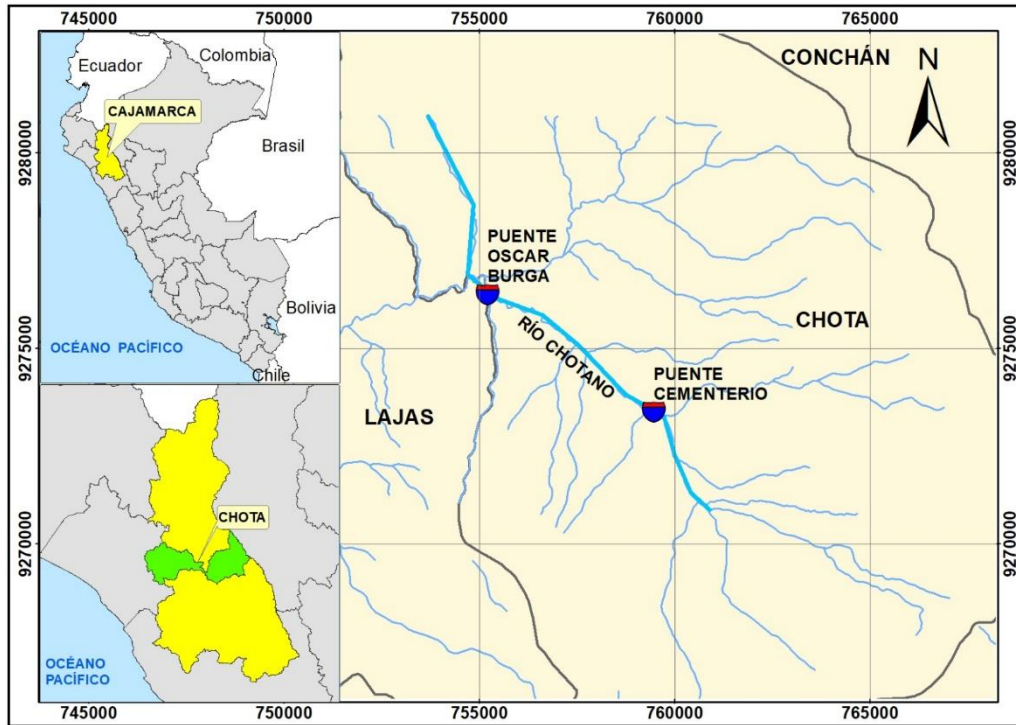
Puentes ubicados sobre el río Chotano desde su nacimiento hasta su desembocadura en el río Marañón

3.4.2. Muestra

Puente Cementerio y puente Oscar Burga Bustamante. Su ubicación geográfica se muestra en el mapa de la Figura 13.

Figura 13

Mapa de ubicación del puente Cementerio y puente Oscar Burga



3.4.3. Muestreo

El muestreo es no probabilístico, ya que depende del planteamiento de estudio y del propósito de los autores, quienes, mediante un proceso de observación y decisión, eligen las unidades de la muestra de investigación.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

En el estudio del problema planteado se emplean las siguientes técnicas de recolección de datos:

- **La observación.** En la investigación científica la observación no solo se limita a ser simplemente observadores sino también a adentrarse de manera activa a las situaciones físicas y sociales que tienen interacción en un determinado entorno. En la ingeniería los

datos obtenidos por medio de la observación deben ser plasmados en formatos adecuados al tipo de investigación realizada. (Hernández et al, 2014)

Mediante la observación directa se identifica a grandes rasgos la situación hidráulica actual del puente, midiendo con una cinta métrica las dimensiones geométricas de los estribos y del pilas de los puentes, así como también la profundidad de socavación local que hay alrededor de estos.

- **Levantamiento topográfico.** Haciendo uso de un equipo topográfico se obtienen los puntos geográficos de la zona de estudio para determinar la geometría del cauce del río aguas arriba y aguas abajo del puente Cementerio y el puente Oscar Burga.
- **Estudio de suelos.** Mediante la excavación de calicatas en las cercanías de la sección hidráulica del puente Cementerio y el puente Oscar Burga, se realiza la exploración y la obtención de muestras del material del lecho del río para luego someterlos a ensayos de laboratorio y análisis para determinar sus propiedades físicas siguiendo las indicaciones de las siguientes normas técnicas:
 - NTP 339.128 Granulometría de suelos (INACAL, 2019)
 - NTP 339.131 Peso específico del suelo (INACAL, 2019)

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

- **Cuaderno de campo.** Se usa para hacer anotaciones de datos de estudio obtenidos en campo.
- **Fichas técnicas.** Permiten recoger o registrar datos de manera ordenada para su posterior procesamiento.
- **Estación total.** Aparato que sirve para realizar levantamientos topográficos a partir de un punto topográfico de referencia que tiene elevación y coordenadas este y norte conocidas,

y a partir del cual se pueden determinar otros puntos geográficos de la zona de estudio con la estación total.

- **Informe geotécnico.** Formatos de mecánica de suelos donde se muestra los resultados de los ensayos de análisis granulométricos, peso específico, etc.
- **Normas:** Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, y Manual de Puentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.6.1. *Procesamiento y análisis de cuencas hidrográficas*

Para la delimitación y análisis de las cuencas hidrográficas correspondientes al área de estudio se empleó el software ArcGIS 10.8. Se siguieron los pasos correspondientes para la delimitación y determinación de la red hidrográfica, así como los parámetros morfométricos de cada cuenca. Primeramente, se procesó la topografía haciendo uso de la carta nacional 14f, determinándose el Modelo de Elevación Digital (DEM). Posteriormente se obtuvo la red hídrica, el mapa de pendientes y el mapa de vegetación y uso de suelos.

- **Delimitación de la cuenca puente Cementerio.** Los mapas y parámetros morfométricos de mayor importancia correspondientes a la cuenca puente Cementerio se muestran en la Figura 14, 15, 16, 17, 18, 19; y Tabla 12.

Figura 14

Modelo de elevación digital (DEM) de la cuenca Puente Cementerio

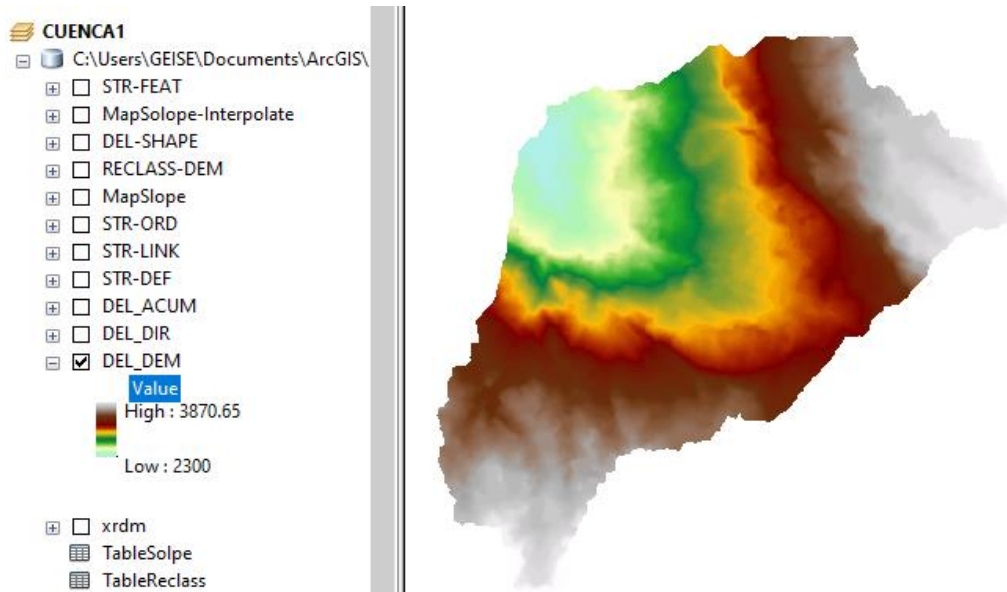


Figura 15

Delimitación de cuenca hidrográfica Puente Cementerio



Figura 16

Mapa de pendientes de la cuenca Puente Cementerio

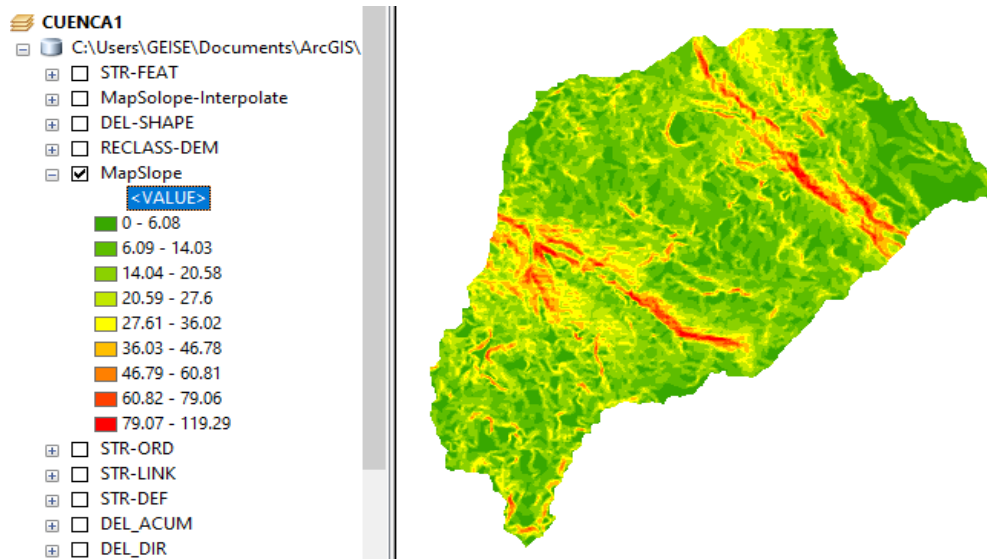


Figura 17

Mapa de vegetación y uso de suelos de la cuenca Puente Cementerio

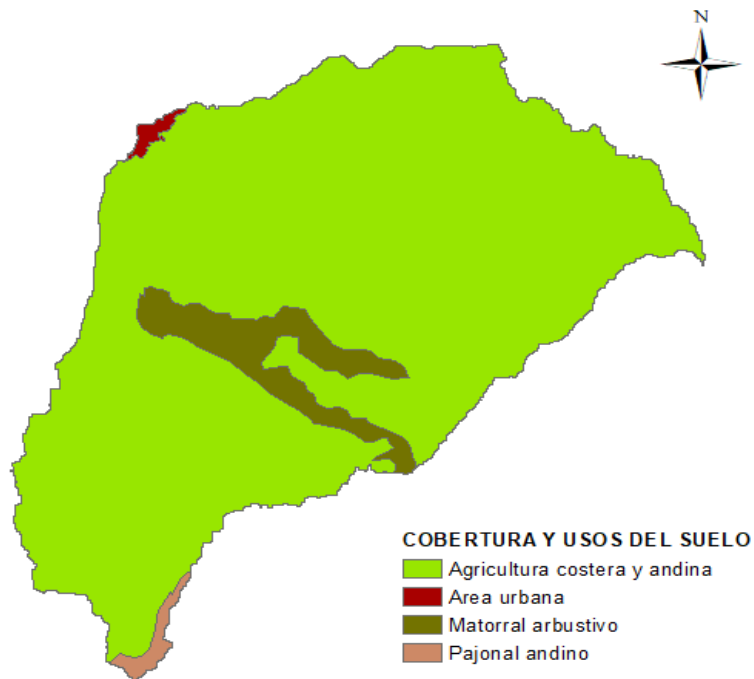


Figura 18

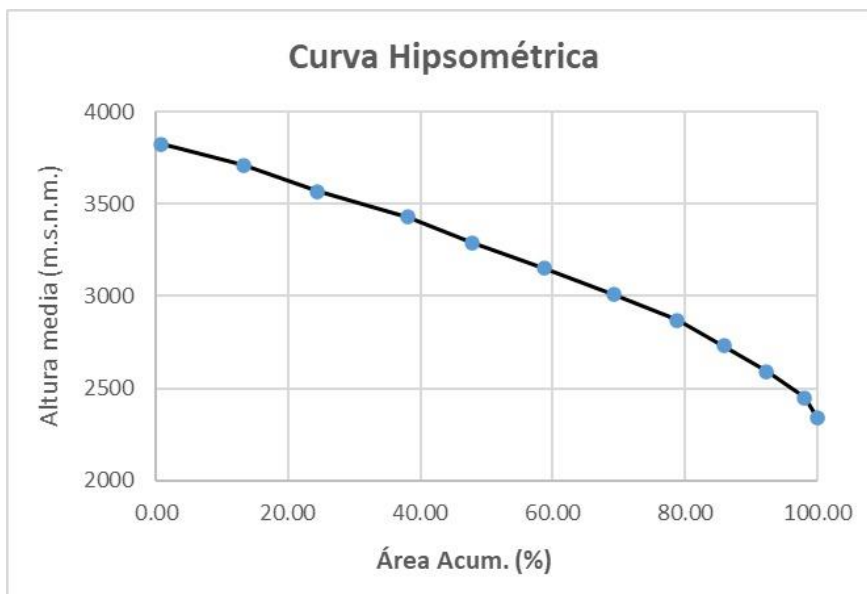
Rectángulo equivalente de la cuenca Puente Cementerio



Nota: Dimensiones del rectángulo: I= 5.67 km y L= 20.45 km

Figura 19

Curva Hipsométrica de la cuenca Puente Cementerio



Nota: Según la curva isométrica la cuenca del puente Cementerio está en fase de juventud.

Tabla 12*Parámetros morfométricos de la cuenca para el puente Cementerio*

Parámetros	Valores	Clasificación
Área (km ²)	116.01	Pequeña
Perímetro (km)	52.23	
Longitud de cuenca(km)	9.79	
Ancho de cuenca (km)	11.85	
Orden de ríos	2	Orden 2
Factor de forma	0.04	Muy alargada
Índice de Gravelius	1.37	oval oblonga
Pendiente media de cuenca (%)	18.95	
Altura media (m.s.n.m.)	3161.78	
Coefficiente orográfico	0.09	Potencial de erosión baja
Longitud de cauce principal (km)	16.61	
Pendiente media de cauce principal (%)	9.45	
Densidad de drenaje	0.34	
Relación de confluencias	1.2	Índice de ramificación muy alto

- **Delimitación de la cuenca puente Oscar Burga.** Los mapas y parámetros morfométricos de mayor importancia correspondientes a la cuenca puente Oscar Burga se muestran en la Figura 20, 21, 22, 23, 24, 25; y Tabla 13.

Figura 20

Modelo de elevación digital (DEM) de la cuenca Puento Oscar Burga

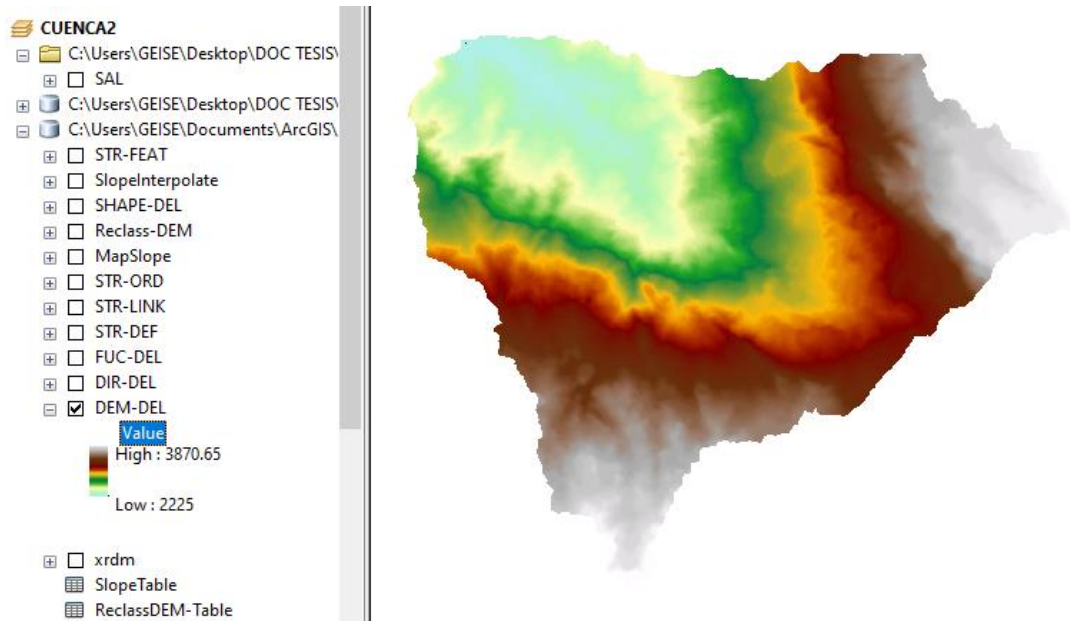


Figura 21

Delimitación de cuenca hidrográfica de puente Oscar Burga

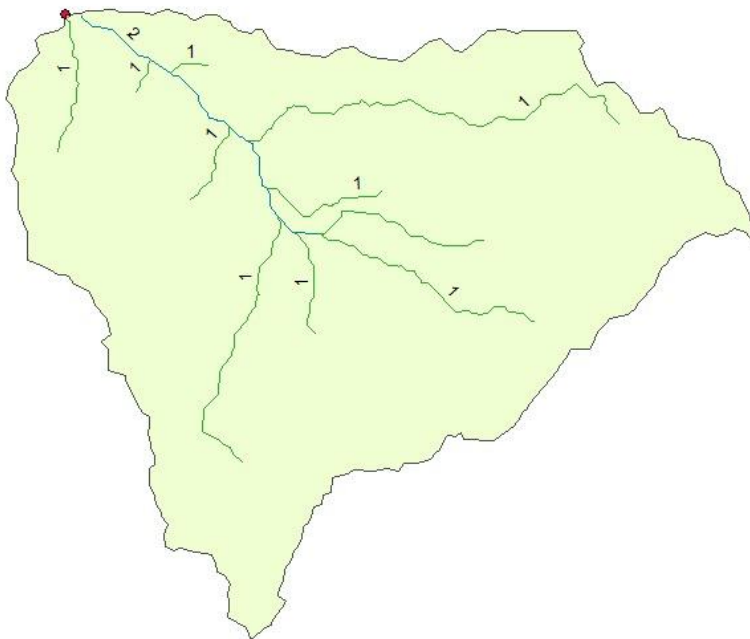


Figura 22

Mapa de pendientes de la cuenca puente Oscar Burga

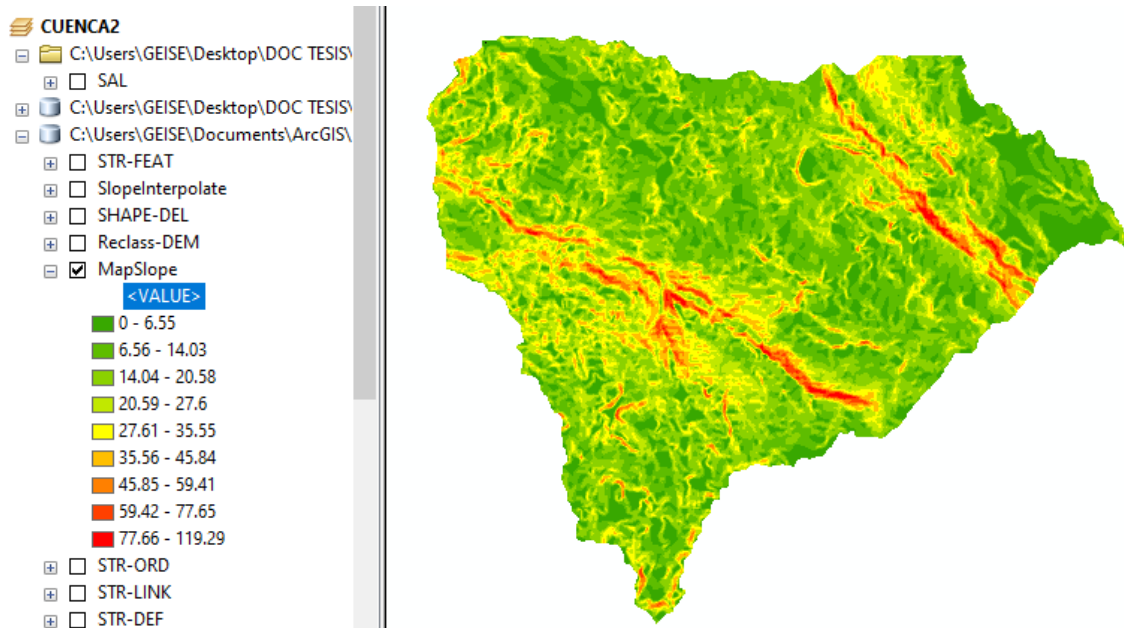


Figura 23

Mapa de vegetación y uso de suelos de la cuenca Puente Oscar Burga

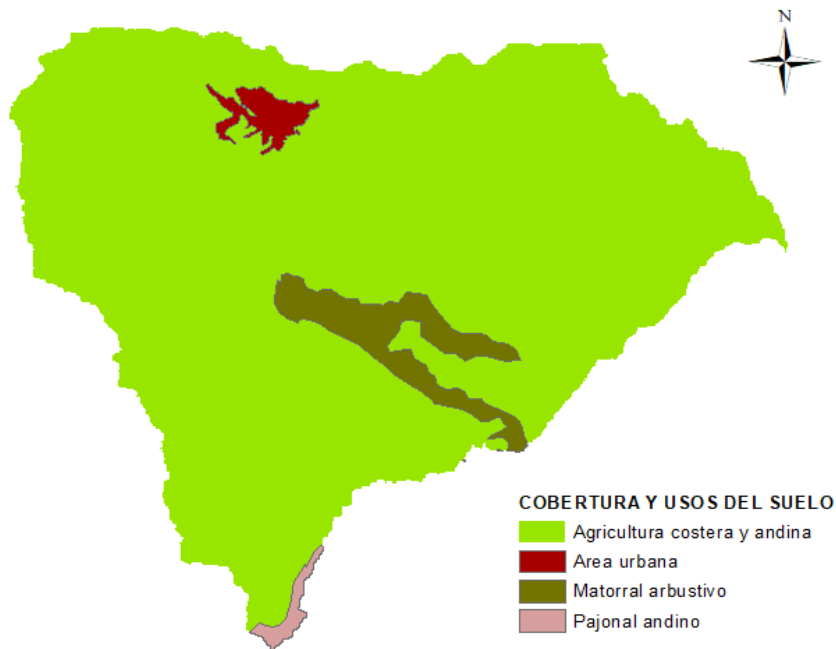


Figura 24

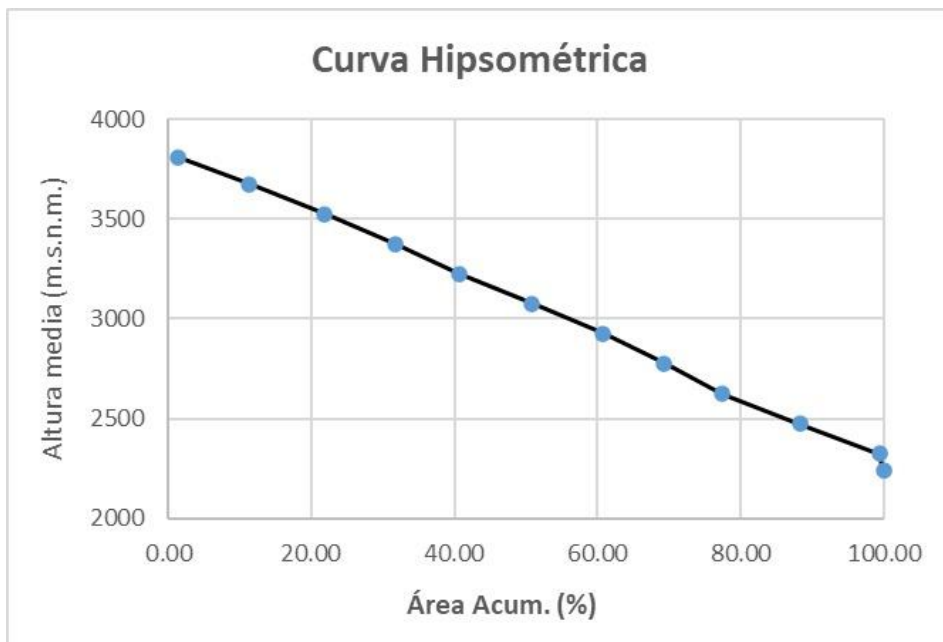
Rectángulo equivalente de la cuenca Puente Oscar Burga



Nota: Dimensiones del rectángulo: I= 6.70 km y L= 24.00 km

Figura 25

Curva hipsométrica de la cuenca puente Oscar Burga



Nota: Según la curva isométrica la cuenca del puente Oscar Burga está en fase intermedia.

Tabla 13*Parámetros morfométricos de la cuenca para el puente Oscar Burga*

Parámetros	Valores	Clasificación
Área (km ²)	160.9	Pequeña
Perímetro (km)	61.39	
Longitud de cuenca(km)	15.05	
Ancho de cuenca (km)	10.69	
Orden de ríos	2	Orden 2
Factor de forma	0.04	Muy alargada
Índice de Gravelius	1.37	oval oblonga
Pendiente media de cuenca (%)	18.99	
Altura media (m.s.n.m.)	3005.4	
Coefficiente orográfico	0.06	Potencial de erosión baja
Longitud de cauce principal (km)	22.61	
Pendiente media de cauce principal (%)	7.28	
Densidad de drenaje	0.33	
Relación de confluencias	1.25	Índice de ramificación muy alto

3.6.2. Procesamiento y análisis de datos hidrológicos

Para el estudio hidrológico se tomó como referencia la estación Chotano Lajas, cuyos datos de ubicación se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14*Ubicación de la estación Chotano-Lajas*

Estación Chotano - Lajas	
Ubicación	Cajamarca, Chota, Lajas
Latitud	6°33'43.77''S
Longitud	78°44'19.87''W
Altitud	2163
Código	106084

Tabla 15*Precipitaciones máximas de 24h de la estación Chotano-Lajas*

PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 H (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PPmax
1985	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	8	15.4	9.5	S/D	S/D	17.9	17.9
1986	S/D	27.4	15.4	38	23.3	1.8	1.8	12.4	8.6	20.2	30	29.1	38
1987	29.6	26	9.9	17.5	4.5	1.2	14.4	15.7	34	17.5	29	16.1	34
1988	28.6	24.4	21.2	31.2	23.8	21.3	4.4	12.5	18	10.5	20.5	24	31.2
1989	32.8	51.5	82.1	25.3	17	25.5	10.2	31.7	35.7	44	33.3	4.5	82.1
1990	24.5	14	9.2	18.8	22.2	5.2	3.2	10.7	1.7	43.3	16.9	10.2	43.3
1991	3	31.1	22.7	33.9	4.5	3.2	17.6	0	13.2	10.9	12.8	23.1	33.9
1992	14.3	32.2	18.7	37.8	13	11.8	14.6	6.5	28.1	26.2	14.5	7.7	37.8
1993	17.1	S/D	20.9	13	14.2	6.8	5.2	S/D	18.1	25.2	19.2	25.8	25.8
1994	20.3	23.3	26.6	19.3	16	13.8	2.4	0	31.8	7.9	22	17.6	31.8
1995	6.5	21.6	38.1	21.2	15.2	3	19.3	20.7	15.2	20.2	9.1	17.5	38.1
1996	19.3	22.7	20.5	17.9	10	15	2.1	10.4	21.7	31.1	17.5	5.8	31.1
1997	10.7	28.6	23	25.5	6.1	10.7	0.4	0.3	6.6	14.5	14.2	48.3	48.3
1998	28.1	28.6	36.8	63.4	28.2	0.3	5.1	16.6	18.5	29.1	19.2	69.1	69.1
1999	32	32.4	37.2	15	7.8	41.4	9	8.1	27.7	53.3	16.7	19.2	53.3
2000	18.7	18.6	17	35.4	24.5	27.5	0.9	13	7.7	3.3	9	29.1	35.4
2001	22.7	11.8	36.5	42.5	27.1	1.7	6.9	0	20	21	15	16.5	42.5
2002	20.9	35.5	26.6	24.2	24	1.9	3	1.3	11.7	24.3	24.2	39.5	39.5
2003	32.5	27.9	26	32.6	9.6	29.1	4.5	4.3	17.5	18.6	21.1	27.4	32.6

2004	26.2	18	27	17.6	43.3	0.8	14.7	1.2	29	18.8	27.7	19.3	43.3
2005	7.5	22.1	37.5	25	4	13.6	1.4	5.2	28.5	22.2	29.6	15.8	37.5
2006	29.6	36.2	42.4	30.3	1.2	9.2	13.6	10.1	37.1	18.4	32.4	26.7	42.4
2007	25.3	11.2	S/D	34.4	25.2	0	4.7	12.2	12.3	41.2	32.7	12.9	41.2
2008	49	35	20.4	11.8	12.7	10.8	2.6	17.6	35.5	43.4	26.2	8.2	49
2009	24	20.1	43.9	29.9	23.2	15.6	1.4	4.1	36.2	26.4	54.1	27.2	54.1
2010	15.1	57.7	34.2	33.5	13.5	10.3	16.9	12.4	19.4	20	8.6	13.1	57.7
2011	12.3	20.2	19.8	14.3	19.5	0.8	8.2	3.4	17.8	11.8	11.6	28.8	28.8
2012	26.7	48.5	36.4	47.6	18.9	0.6	4.8	0.6	15.8	23.1	31.4	35.7	48.5
2013	50.4	14.6	25.7	18.4	36.1	5.9	18.8	17.6	6	17.8	5.7	10.3	50.4
2014	16.6	22.1	24.1	16.8	34.6	3.1	8.7	11.9	11.1	17.7	40	16.5	40
2015	35	18	31.4	19	30.8	16.7	3.2	2.5	3.5	41.1	37.4	19.7	41.1
2016	20.3	32.4	37.5	31.5	19.6	29.4	0	0	26.7	15.8	16.8	17	37.5
2017	29.2	18.7	41.8	22.2	23.3	25.4	0	33.4	14	24.4	32	18	41.8
2018	34.4	40	20	38	19.5	5.8	0	0	32	35.7	46.5	12.4	46.5
2019	16.7	41.1	18.9	48.8	41.9	5.1	6.5	0	16.4	21.8	16	27	48.8
2020	6.7	25.5	23.6	44	18.1	21.4	27.9	5.5	21.9	34.5	34.8	59.5	59.5
2021	25.3	41.9	40.9	25.6	24.8	26.2	5.1	16.5	7.1	57.7	52.2	23.7	57.7
2022	16	34.6	51	18	25.7	13.8	13.7	22.4	13.4	12.2	7.8	S/D	51

Para el análisis de datos dudosos primeramente se calculó los parámetros estadísticos de las precipitaciones máximas de 24h, los cuáles se muestran en la Tabla 16; luego se determinó la precipitación mínima y máxima admisible para verificar que las precipitaciones de la estación en estudio no sobrepasen dichos valores.

Tabla 16*Parámetros estadísticos de la estación Chotano-Lajas*

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Pmax	Log (Pmax)
Número de datos (N)	38	38
Sumatoria	1642.50	61.54
Valor mínimo	17.90	1.25
Valor máximo	82.10	1.91
Media	43.22	1.62
Varianza	146.79	0.01
Desviación estándar	12.12	0.12
Coefficiente de variación	0.28	0.08
Coefficiente de sesgo	0.91	0.32
Considerar para prueba		Valores altos

✓ Prueba para datos dudosos altos

$$n = 38$$

$$Kn = 2.661$$

$$X_H = 1.944$$

Precipitación máxima aceptable (P_H) = 87.90 mm

✓ Prueba para datos dudosos bajos

$$n = 38$$

$$Kn = 2.661$$

$$X_L = 1.295$$

Precipitación mínima aceptable (P_L) = 19.72 mm

Los datos de precipitación corregidos se muestran en la figura 26 y en la Tabla 17.

Figura 26

Precipitaciones máximas y mínimas aceptables de 24 h

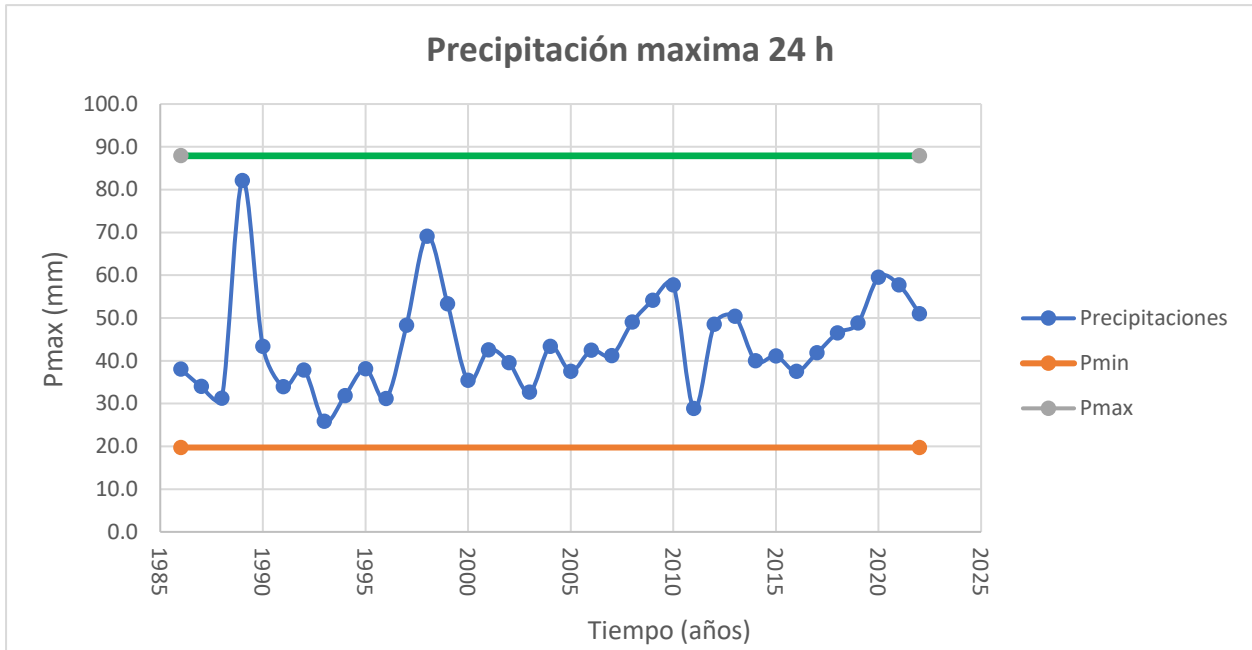


Tabla 17

Precipitaciones máximas corregidas de 24h (mm) de la estación Chotano-Lajas

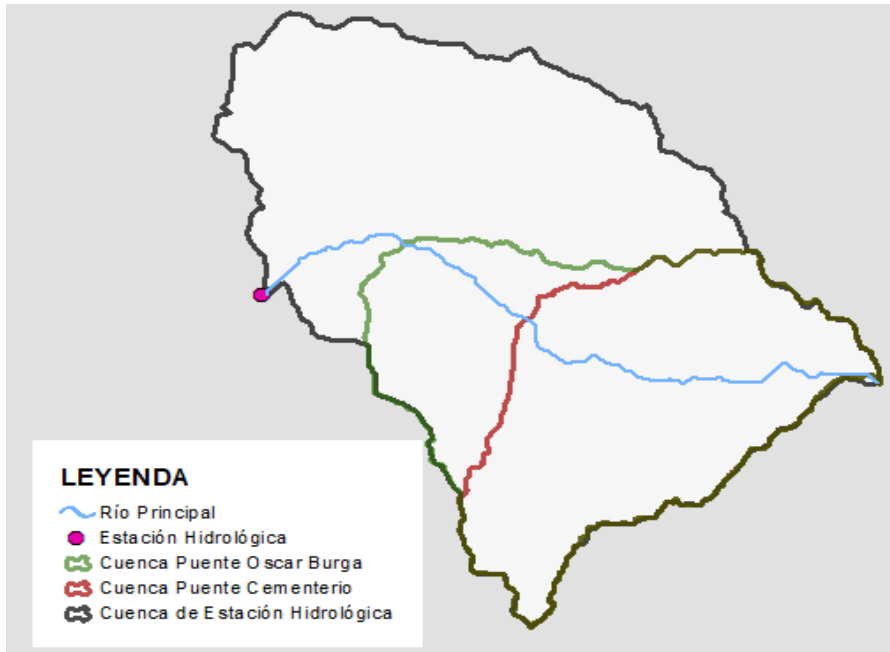
PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 H (mm) - CORREGIDO													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Pmax
1986	S/D	27.4	15.4	38	23.3	1.8	1.8	12.4	8.6	20.2	30	29.1	38.0
1987	29.6	26	9.9	17.5	4.5	1.2	14.4	15.7	34	17.5	29	16.1	34.0
1988	28.6	24.4	21.2	31.2	23.8	21.3	4.4	12.5	18	10.5	20.5	24	31.2
1989	32.8	51.5	82.1	25.3	17	25.5	10.2	31.7	35.7	44	33.3	4.5	82.1
1990	24.5	14	9.2	18.8	22.2	5.2	3.2	10.7	1.7	43.3	16.9	10.2	43.3
1991	3	31.1	22.7	33.9	4.5	3.2	17.6	0	13.2	10.9	12.8	23.1	33.9
1992	14.3	32.2	18.7	37.8	13	11.8	14.6	6.5	28.1	26.2	14.5	7.7	37.8
1993	17.1	S/D	20.9	13	14.2	6.8	5.2	S/D	18.1	25.2	19.2	25.8	25.8
1994	20.3	23.3	26.6	19.3	16	13.8	2.4	0	31.8	7.9	22	17.6	31.8
1995	6.5	21.6	38.1	21.2	15.2	3	19.3	20.7	15.2	20.2	9.1	17.5	38.1
1996	19.3	22.7	20.5	17.9	10	15	2.1	10.4	21.7	31.1	17.5	5.8	31.1
1997	10.7	28.6	23	25.5	6.1	10.7	0.4	0.3	6.6	14.5	14.2	48.3	48.3
1998	28.1	28.6	36.8	63.4	28.2	0.3	5.1	16.6	18.5	29.1	19.2	69.1	69.1
1999	32	32.4	37.2	15	7.8	41.4	9	8.1	27.7	53.3	16.7	19.2	53.3

2000	18.7	18.6	17	35.4	24.5	27.5	0.9	13	7.7	3.3	9	29.1	35.4
2001	22.7	11.8	36.5	42.5	27.1	1.7	6.9	0	20	21	15	16.5	42.5
2002	20.9	35.5	26.6	24.2	24	1.9	3	1.3	11.7	24.3	24.2	39.5	39.5
2003	32.5	27.9	26	32.6	9.6	29.1	4.5	4.3	17.5	18.6	21.1	27.4	32.6
2004	26.2	18	27	17.6	43.3	0.8	14.7	1.2	29	18.8	27.7	19.3	43.3
2005	7.5	22.1	37.5	25	4	13.6	1.4	5.2	28.5	22.2	29.6	15.8	37.5
2006	29.6	36.2	42.4	30.3	1.2	9.2	13.6	10.1	37.1	18.4	32.4	26.7	42.4
2007	25.3	11.2	S/D	34.4	25.2	0	4.7	12.2	12.3	41.2	32.7	12.9	41.2
2008	49	35	20.4	11.8	12.7	10.8	2.6	17.6	35.5	43.4	26.2	8.2	49.0
2009	24	20.1	43.9	29.9	23.2	15.6	1.4	4.1	36.2	26.4	54.1	27.2	54.1
2010	15.1	57.7	34.2	33.5	13.5	10.3	16.9	12.4	19.4	20	8.6	13.1	57.7
2011	12.3	20.2	19.8	14.3	19.5	0.8	8.2	3.4	17.8	11.8	11.6	28.8	28.8
2012	26.7	48.5	36.4	47.6	18.9	0.6	4.8	0.6	15.8	23.1	31.4	35.7	48.5
2013	50.4	14.6	25.7	18.4	36.1	5.9	18.8	17.6	6	17.8	5.7	10.3	50.4
2014	16.6	22.1	24.1	16.8	34.6	3.1	8.7	11.9	11.1	17.7	40	16.5	40.0
2015	35	18	31.4	19	30.8	16.7	3.2	2.5	3.5	41.1	37.4	19.7	41.1
2016	20.3	32.4	37.5	31.5	19.6	29.4	0	0	26.7	15.8	16.8	17	37.5
2017	29.2	18.7	41.8	22.2	23.3	25.4	0	33.4	14	24.4	32	18	41.8
2018	34.4	40	20	38	19.5	5.8	0	0	32	35.7	46.5	12.4	46.5
2019	16.7	41.1	18.9	48.8	41.9	5.1	6.5	0	16.4	21.8	16	27	48.8
2020	6.7	25.5	23.6	44	18.1	21.4	27.9	5.5	21.9	34.5	34.8	59.5	59.5
2021	25.3	41.9	40.9	25.6	24.8	26.2	5.1	16.5	7.1	57.7	52.2	23.7	57.7
2022	16	34.6	51	18	25.7	13.8	13.7	22.4	13.4	12.2	7.8	S/D	51.0

La transferencia de información hidrológica para las cuencas de estudio se realizó relacionando la altitud y las precipitaciones de la estación hidrológica (cuenca de referencia) con las alturas medias de las cuencas de estudio (cuencas de destino). Para aplicar este criterio se delimitó la cuenca para la estación hidrológica Chotano-Lajas (Figura 27) y se verificó que las cuencas de estudio se encuentren dentro del área de dicha cuenca.

Figura 27

Delimitación de la cuenca para la estación hidrológica



- **Análisis de datos hidrológicos para la cuenca Puente Cementerio**

Las precipitaciones para la cuenca Puente Cementerio fueron transferidas de la estación Chotano-Lajas (Tabla 18) considerando la altitud media de dicha cuenca. El análisis y procesamiento de datos hidrológicos se realizó en programa Microsoft Excel.

Tabla 18

Precipitación máxima transferida para la cuenca Puente Cementerio

Precipitación 24 h	
Año	Pmax
1986	55.5
1987	49.7
1988	45.6
1989	120.0
1990	63.3
1991	49.6
1992	55.3

1993	37.7
1994	46.5
1995	55.7
1996	45.5
1997	70.6
1998	101.0
1999	77.9
2000	51.7
2001	62.1
2002	57.7
2003	47.7
2004	63.3
2005	54.8
2006	62.0
2007	60.2
2008	71.6
2009	79.1
2010	84.3
2011	42.1
2012	70.9
2013	73.7
2014	58.5
2015	60.1
2016	54.8
2017	61.1
2018	68.0
2019	71.3
2020	87.0
2021	84.3
2022	74.5

Los datos de precipitaciones máxima de 24 horas para la cuenca Puente Cementerio fueron analizados mediante las distribuciones teóricas de probabilidad de Gauss, Pearson tipo III y Gumbel y fueron ajustados por prueba de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov, tal como se muestra en la Tabla 19, donde se calculó el delta teórico máximo (Δ_{max}) para cada distribución y se verificó que sea menor que el delta tabular (Δ_o), determinando que la distribución de mejor

ajuste es la de Gauss, ya que su Δ_{max} es menor al Δ_{max} de las otras distribuciones.

Tabla 19

Ajuste de distribución de precipitaciones de la cuenca Puente Cementerio

Pmax	Weibull	Gaussiana		Pearson Tipo III		Gumbel	
		F(x)	F(X)-P(X)	F(x)	F(X)-P(X)	F(x)	F(X)-P(X)
37.71	0.026	0.058	0.032	0.001	0.026	0.015	0.012
42.10	0.053	0.095	0.042	0.032	0.021	0.049	0.004
45.46	0.079	0.133	0.054	0.090	0.011	0.096	0.018
45.61	0.105	0.135	0.030	0.093	0.013	0.099	0.006
46.48	0.132	0.146	0.015	0.112	0.020	0.115	0.017
47.65	0.158	0.163	0.005	0.140	0.018	0.138	0.020
49.55	0.184	0.192	0.008	0.188	0.004	0.181	0.004
49.70	0.211	0.195	0.016	0.192	0.018	0.184	0.027
51.75	0.237	0.230	0.007	0.248	0.011	0.235	0.002
54.82	0.263	0.289	0.026	0.335	0.072	0.318	0.055
54.82	0.289	0.289	0.001	0.335	0.046	0.318	0.028
55.25	0.316	0.298	0.018	0.348	0.032	0.330	0.014
55.55	0.342	0.304	0.038	0.356	0.014	0.338	0.004
55.69	0.368	0.307	0.061	0.360	0.009	0.342	0.026
57.74	0.395	0.351	0.044	0.417	0.022	0.400	0.005
58.47	0.421	0.367	0.054	0.437	0.016	0.420	0.001
60.08	0.447	0.404	0.044	0.480	0.032	0.464	0.017
60.22	0.474	0.407	0.067	0.483	0.010	0.468	0.006
61.10	0.500	0.427	0.073	0.506	0.006	0.492	0.008
61.98	0.526	0.448	0.078	0.528	0.002	0.515	0.012
62.12	0.553	0.451	0.101	0.532	0.021	0.518	0.034
63.29	0.579	0.479	0.100	0.560	0.019	0.548	0.031
63.29	0.605	0.479	0.126	0.560	0.045	0.548	0.057
67.97	0.632	0.589	0.043	0.662	0.030	0.657	0.025
70.60	0.658	0.649	0.009	0.711	0.053	0.709	0.051
70.90	0.684	0.655	0.029	0.716	0.032	0.714	0.030
71.33	0.711	0.665	0.046	0.723	0.013	0.722	0.012
71.63	0.737	0.671	0.066	0.728	0.009	0.727	0.010
73.67	0.763	0.714	0.050	0.761	0.003	0.762	0.002
74.55	0.789	0.731	0.058	0.774	0.016	0.775	0.014
77.91	0.816	0.793	0.023	0.818	0.002	0.821	0.005
79.08	0.842	0.812	0.030	0.831	0.011	0.835	0.007

84.34	0.868	0.885	0.016	0.882	0.013	0.886	0.018
84.34	0.895	0.885	0.010	0.882	0.013	0.886	0.009
86.97	0.921	0.912	0.009	0.902	0.019	0.906	0.015
101.01	0.947	0.986	0.038	0.965	0.017	0.967	0.019
120.01	0.974	1.000	0.026	0.992	0.018	0.992	0.018
		$\Delta_{max} =$	0.1263	$\Delta_{max} =$	0.0719	$\Delta_{max} =$	0.0569
		$\Delta =$	0.2525	$\Delta =$	0.2525	$\Delta =$	0.2525

Para la cuenca Puente Cementerio se determinó estadísticamente sus precipitaciones máximas (X_T) mediante la distribución de mejor ajuste Pearson tipo III (Tabla 20).

Tabla 20

Precipitación máxima de la cuenca puente Cementerio tratada estadísticamente

T	P($X \leq X_T$)	Gumbel	
		K_T	X_T
2	0.5	-0.1642	69.40
5	0.8	0.7195	86.21
10	0.9	1.3046	97.34
25	0.96	2.0439	111.40
50	0.98	2.5923	121.83
100	0.99	3.1367	132.18
500	0.998	4.3947	156.11

Para realizar el análisis de regresión potencial de las precipitaciones en la cuenca Puente Cementerio se calculó las intensidades máximas para diferentes periodos de retorno y diferentes duraciones (Tabla 21). El análisis de regresión sirve para determinar la ecuación de intensidad válida para cualquier duración y periodo de retorno de la cuenca estudiada.

Tabla 21*Intensidades máximas para diferentes periodos de retorno de la cuenca Puente Cementerio*

Tiempo de duración (h)	Tiempo (min)	Periodo de retorno en años (T)						
		T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100	T=500
24	1440	2.89	3.59	4.06	4.64	5.08	5.51	6.50
18	1080	3.47	4.31	4.87	5.57	6.09	6.61	7.81
12	720	4.57	5.68	6.41	7.33	8.02	8.70	10.28
8	480	5.55	6.90	7.79	8.91	9.75	10.57	12.49
6	360	6.48	8.05	9.08	10.40	11.37	12.34	14.57
5	300	6.94	8.62	9.73	11.14	12.18	13.22	15.61
4	240	7.63	9.48	10.71	12.25	13.40	14.54	17.17
3	180	8.79	10.92	12.33	14.11	15.43	16.74	19.77
2	120	10.76	13.36	15.09	17.27	18.88	20.49	24.20
1	60	17.35	21.55	24.33	27.85	30.46	33.05	39.03
0.5	30	52.74	65.51	73.96	84.64	92.57	100.44	118.62
0.25	15	88.69	110.17	124.39	142.36	155.68	168.92	199.49
0.17	10	120.19	149.30	168.57	192.92	210.98	228.91	270.35

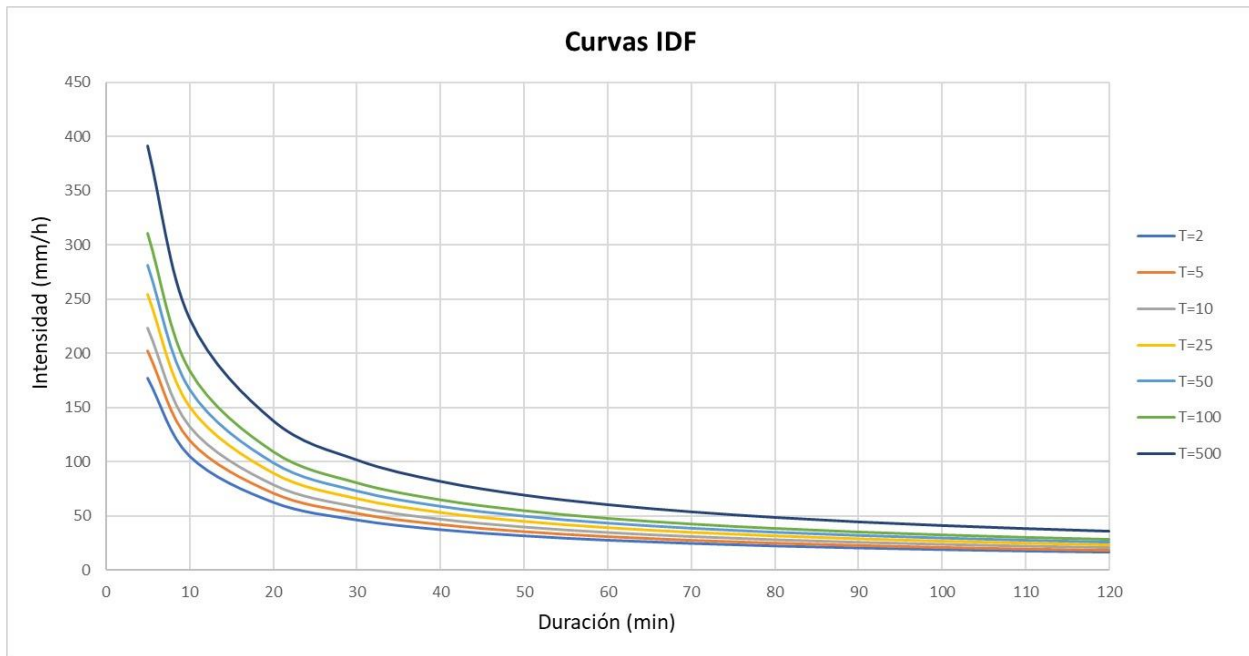
Luego de realizar el análisis de regresión potencial de los datos de intensidades máximas, se obtiene la ecuación general de intensidad máxima para la cuenca del puente Cementerio, la cual se muestra a continuación:

$$I_{max} = \frac{537.464 \cdot T^{0.1436}}{t^{0.7521}}$$

En base a esta ecuación se determinó las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la cuenca Puente Cementerio, para diferentes periodos de retorno y una duración de lluvia de 120 minutos (Figura 28).

Figura 28

Curvas de intensidad – duración – frecuencia de la cuenca Puente Cementerio



El hietograma sirve para realizar el modelamiento hidrológico en el software HEC-HMS v.4.11. Para determinar los hietogramas en la cuenca Puente Cementerio se empleó el método de bloques alternos que consiste en calcular la precipitación incremental y ordenar los valores impares a un lado y pares al otro lado en orden descendente, partiendo del valor máximo de precipitación. La tabulación de valores y los gráficos de los hietogramas se muestran en la Tabla 22 y Figura 29 para el periodo de retorno de 100 años; en la Tabla 23 y Figura 30 para el periodo de retorno de 500 años.

Tabla 22*Método de bloques alternos para T=100 años de la cuenca Puente Cementerio*

Duración (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación Incremental (mm)	Precipitación (mm)
60	47.90	47.90	47.90	1.14
120	28.44	56.89	8.98	1.23
180	20.97	62.91	6.02	1.32
240	16.89	67.56	4.65	1.44
300	14.28	71.40	3.84	1.59
360	12.45	74.70	3.30	1.78
420	11.09	77.62	2.91	2.03
480	10.03	80.23	2.61	2.38
540	9.18	82.61	2.38	2.91
600	8.48	84.79	2.19	3.84
660	7.89	86.82	2.03	6.02
720	7.39	88.72	1.89	47.90
780	6.96	90.49	1.78	8.98
840	6.58	92.17	1.68	4.65
900	6.25	93.76	1.59	3.30
960	5.95	95.28	1.51	2.61
1020	5.69	96.72	1.44	2.19
1080	5.45	98.10	1.38	1.89
1140	5.23	99.42	1.32	1.68
1200	5.03	100.70	1.27	1.51
1260	4.85	101.92	1.23	1.38
1320	4.69	103.11	1.18	1.27
1380	4.53	104.25	1.14	1.18
1440	4.39	105.36	1.11	1.11

Figura 29

Hietograma de precipitación para T = 100 años de la cuenca Puente Cementerio

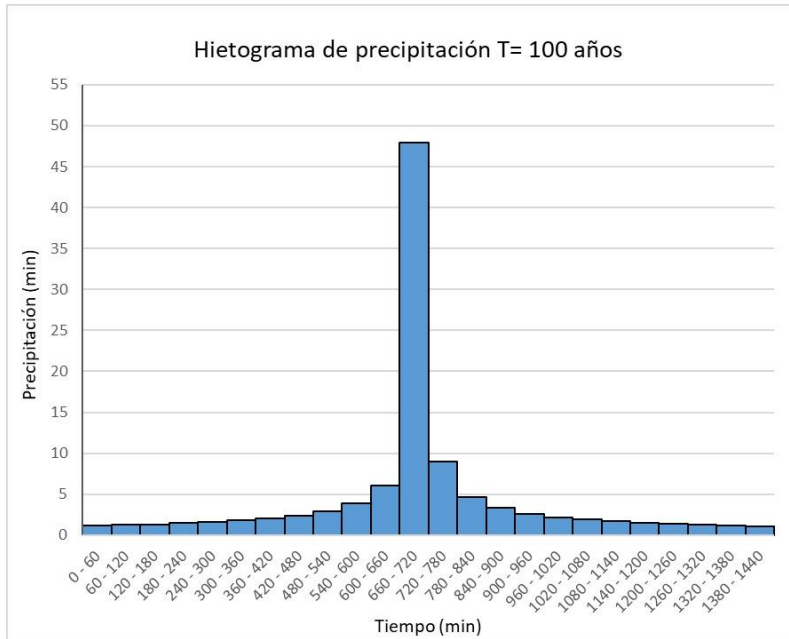


Tabla 23

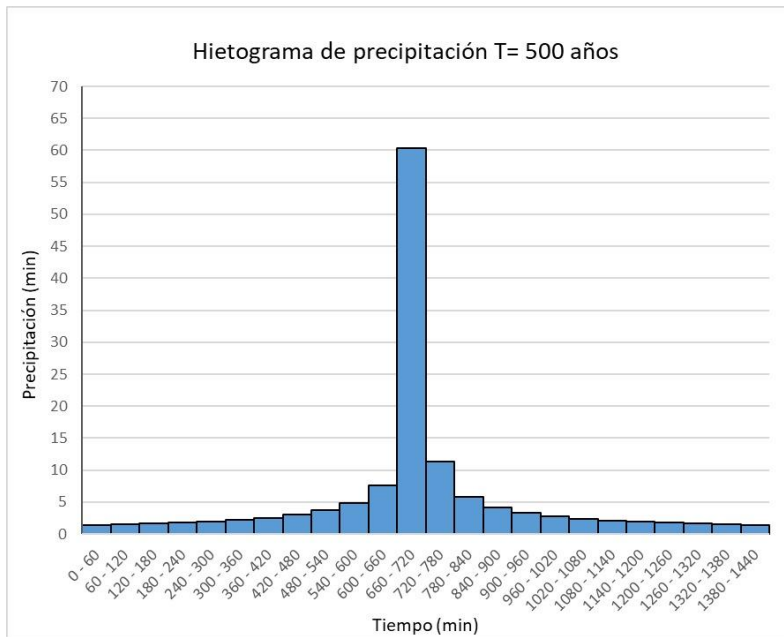
Método de bloques alternos para T=500 años de la cuenca Puente Cementerio

Duración (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación Incremental (mm)	Precipitación (mm)
60	60.36	60.36	60.36	1.44
120	35.84	71.68	11.32	1.54
180	26.42	79.27	7.58	1.67
240	21.28	85.13	5.86	1.82
300	17.99	89.97	4.84	2.00
360	15.69	94.13	4.16	2.24
420	13.97	97.80	3.67	2.56
480	12.64	101.10	3.29	3.00
540	11.57	104.09	3.00	3.67
600	10.68	106.85	2.76	4.84
660	9.95	109.40	2.56	7.58
720	9.32	111.79	2.39	60.36
780	8.77	114.03	2.24	11.32
840	8.30	116.15	2.12	5.86

900	7.88	118.15	2.00	4.16
960	7.50	120.06	1.91	3.29
1020	7.17	121.88	1.82	2.76
1080	6.87	123.62	1.74	2.39
1140	6.59	125.28	1.67	2.12
1200	6.34	126.89	1.60	1.91
1260	6.12	128.43	1.54	1.74
1320	5.91	129.92	1.49	1.60
1380	5.71	131.36	1.44	1.49
1440	5.53	132.76	1.39	1.39

Figura 30

Hietograma de precipitación para T = 500 años de la cuenca Puente Cementerio



- Análisis de datos hidrológicos para la cuenca Puente Oscar Burga**

Las precipitaciones para la cuenca Puente Oscar Burga fueron transferidas de la estación Chotano-Lajas (Tabla 24) considerando la altitud media de dicha cuenca.

Tabla 24*Precipitación máxima transferida para la cuenca Puente Oscar Burga*

Precipitación 24 h	
Año	Pmax
1986	52.8
1987	47.2
1988	43.4
1989	114.1
1990	60.2
1991	47.1
1992	52.5
1993	35.8
1994	44.2
1995	52.9
1996	43.2
1997	67.1
1998	96.0
1999	74.1
2000	49.2
2001	59.1
2002	54.9
2003	45.3
2004	60.2
2005	52.1
2006	58.9
2007	57.2
2008	68.1
2009	75.2
2010	80.2
2011	40.0
2012	67.4
2013	70.0
2014	55.6
2015	57.1
2016	52.1
2017	58.1
2018	64.6
2019	67.8
2020	82.7
2021	80.2

Los datos de precipitaciones máxima de 24 horas para la cuenca Puente Cementerio fueron analizados mediante las distribuciones teóricas de probabilidad de Gauss, Pearson tipo III y Gumbel y fueron ajustados por prueba de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov, tal como se muestra en la Tabla 19, donde se calculó el delta teórico máximo (Δ_{max}) para cada distribución y se verificó que sea menor que el delta tabular (Δ_0), determinando que la distribución de mejor ajuste es la de Gauss, ya que su Δ_{max} es menor al Δ_{max} de las otras distribuciones.

Tabla 25

Ajuste de distribución de precipitaciones de la cuenca Puente Oscar Burga

Pmax	Weibull	Gaussiana		Pearson Tipo III		Gumbel	
		F(x)	F(X)-P(X)	F(x)	F(X)-P(X)	F(x)	F(X)-P(X)
X	P(X)	F(x)	F(X)-P(X)	F(x)	F(X)-P(X)	F(x)	F(X)-P(X)
35.85	0.026	0.058	0.032	0.001	0.026	0.015	0.012
40.02	0.053	0.095	0.042	0.032	0.021	0.049	0.004
43.21	0.079	0.133	0.054	0.090	0.011	0.096	0.018
43.35	0.105	0.135	0.030	0.093	0.013	0.099	0.006
44.18	0.132	0.146	0.015	0.112	0.020	0.115	0.017
45.30	0.158	0.163	0.005	0.140	0.018	0.138	0.020
47.10	0.184	0.192	0.008	0.188	0.004	0.181	0.004
47.24	0.211	0.195	0.016	0.192	0.018	0.184	0.027
49.19	0.237	0.230	0.007	0.248	0.011	0.235	0.002
52.10	0.263	0.289	0.026	0.335	0.072	0.318	0.055
52.10	0.289	0.289	0.001	0.335	0.046	0.318	0.028
52.52	0.316	0.298	0.018	0.348	0.032	0.330	0.014
52.80	0.342	0.304	0.038	0.356	0.014	0.338	0.004
52.94	0.368	0.307	0.061	0.360	0.009	0.342	0.026
54.88	0.395	0.351	0.044	0.417	0.022	0.400	0.005
55.58	0.421	0.367	0.054	0.437	0.016	0.420	0.001
57.11	0.447	0.404	0.044	0.480	0.032	0.464	0.017
57.25	0.474	0.407	0.067	0.483	0.010	0.468	0.006
58.08	0.500	0.427	0.073	0.506	0.006	0.492	0.008
58.91	0.526	0.448	0.078	0.528	0.002	0.515	0.012

59.05	0.553	0.451	0.101	0.532	0.021	0.518	0.034
60.16	0.579	0.479	0.100	0.560	0.019	0.548	0.031
60.16	0.605	0.479	0.126	0.560	0.045	0.548	0.057
64.61	0.632	0.589	0.043	0.662	0.030	0.657	0.025
67.11	0.658	0.649	0.009	0.711	0.053	0.709	0.051
67.39	0.684	0.655	0.029	0.716	0.032	0.714	0.030
67.81	0.711	0.665	0.046	0.723	0.013	0.722	0.012
68.08	0.737	0.671	0.066	0.728	0.009	0.727	0.010
70.03	0.763	0.714	0.050	0.761	0.003	0.762	0.002
70.86	0.789	0.731	0.058	0.774	0.016	0.775	0.014
74.06	0.816	0.793	0.023	0.818	0.002	0.821	0.005
75.17	0.842	0.812	0.030	0.831	0.011	0.835	0.007
80.17	0.868	0.885	0.016	0.882	0.013	0.886	0.018
80.17	0.895	0.885	0.010	0.882	0.013	0.886	0.009
82.67	0.921	0.912	0.009	0.902	0.019	0.906	0.015
96.01	0.947	0.986	0.038	0.965	0.017	0.967	0.019
114.07	0.974	1.000	0.026	0.992	0.018	0.992	0.018
		$\Delta_{\max} =$	0.1263	$\Delta_{\max} =$	0.0719	$\Delta_{\max} =$	0.0569
		$\Delta =$	0.2525	$\Delta =$	0.2525	$\Delta =$	0.2525

Para la cuenca Puente Oscar Burga se determinó estadísticamente sus precipitaciones máximas (X_T) mediante la distribución de mejor ajuste Pearson tipo III (Tabla 26).

Tabla 26

Precipitación máxima de la cuenca puente Oscar Burga tratada estadísticamente

T	P($X \leq X_T$)	Gumbel	
		K_T	X_T
2	0.5	-0.1642	65.97
5	0.8	0.7195	81.95
10	0.9	1.3046	92.52
25	0.96	2.0439	105.89
50	0.98	2.5923	115.80
100	0.99	3.1367	125.65
500	0.998	4.3947	148.39

Para realizar el análisis de regresión potencial de las precipitaciones en la cuenca Puente Oscar Burga se calculó las intensidades máximas para diferentes periodos de retorno y diferentes duraciones (Tabla 27). El análisis de regresión sirve para determinar la ecuación de intensidad válida para cualquier duración y periodo de retorno de la cuenca estudiada.

Tabla 27

Intensidades máximas para diferentes periodos de retorno de la cuenca Puente Oscar Burga

Tiempo de duración (h)	Tiempo (min)	Periodo de retorno en años (T)						
		T=2	T=5	T=10	T=25	T=50	T=100	T=500
24	1440	2.75	3.41	3.86	4.41	4.83	5.24	6.18
18	1080	3.30	4.10	4.63	5.29	5.79	6.28	7.42
12	720	4.34	5.39	6.09	6.97	7.62	8.27	9.77
8	480	5.28	6.56	7.40	8.47	9.26	10.05	11.87
6	360	6.16	7.65	8.64	9.88	10.81	11.73	13.85
5	300	6.60	8.19	9.25	10.59	11.58	12.56	14.84
4	240	7.26	9.01	10.18	11.65	12.74	13.82	16.32
3	180	8.36	10.38	11.72	13.41	14.67	15.92	18.80
2	120	10.23	12.70	14.34	16.41	17.95	19.48	23.00
1	60	16.49	20.49	23.13	26.47	28.95	31.41	37.10
0.5	30	50.13	62.27	70.30	80.46	87.99	95.47	112.75
0.25	15	84.30	104.72	118.24	135.31	147.98	160.56	189.62
0.17	10	114.25	141.91	160.23	183.38	200.55	217.59	256.98

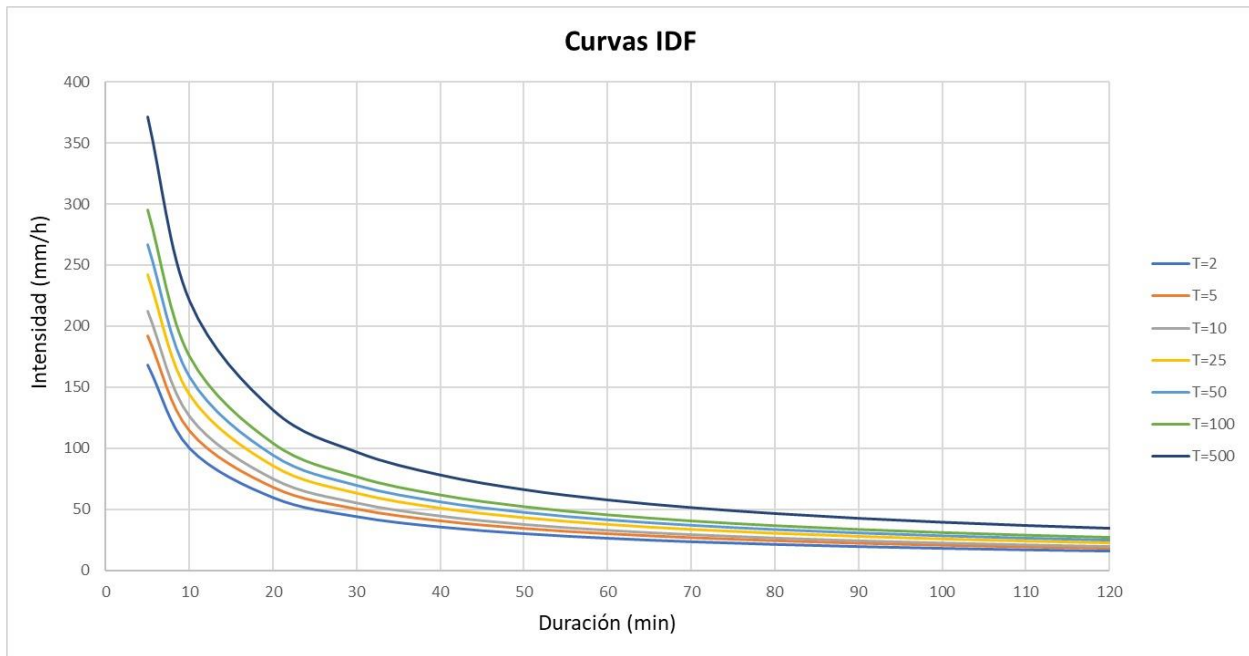
Luego de realizar el análisis de regresión potencial de los datos de intensidades máximas, se obtiene la ecuación general de intensidad máxima para la cuenca del puente Oscar Burga, que se muestra a continuación:

$$I_{max} = \frac{510.8814 \cdot T^{0.1436}}{t^{0.7521}}$$

En base a esta ecuación se determinó las curvas de intensidad, duración y frecuencia (IDF) de la cuenca Puente Oscar Burga, para diferentes periodos de retorno y una duración de lluvia de 120 minutos (Figura 31).

Figura 31

Curvas de intensidad – duración – frecuencia de la cuenca Puente Oscar Burga



Para determinar los hietogramas en la cuenca Puente Oscar Burga se empleó el método de bloques alternos que consiste en calcular la precipitación incremental y ordenar los valores impares a un lado y pares al otro lado en orden descendente, partiendo del valor máximo de precipitación. La tabulación de valores y los gráficos de los hietogramas se muestran en la Tabla 28 y Figura 32 para el periodo de retorno de 100 años; en la Tabla 29 y Figura 33 para el periodo de retorno de 500 años.

Tabla 28*Método de bloques alternos para T=100 años de la cuenca Puente Oscar Burga*

Duración (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación Incremental (mm)	Precipitación (mm)
60	45.44	45.44	45.44	1.08
120	26.98	53.97	8.52	1.16
180	19.89	59.68	5.71	1.26
240	16.02	64.09	4.41	1.37
300	13.55	67.73	3.65	1.51
360	11.81	70.87	3.13	1.69
420	10.52	73.63	2.76	1.92
480	9.51	76.11	2.48	2.26
540	8.71	78.36	2.26	2.76
600	8.04	80.44	2.07	3.65
660	7.49	82.36	1.92	5.71
720	7.01	84.16	1.80	45.44
780	6.60	85.85	1.69	8.52
840	6.25	87.44	1.59	4.41
900	5.93	88.95	1.51	3.13
960	5.65	90.38	1.44	2.48
1020	5.40	91.75	1.37	2.07
1080	5.17	93.06	1.31	1.80
1140	4.96	94.32	1.26	1.59
1200	4.78	95.53	1.21	1.44
1260	4.60	96.69	1.16	1.31
1320	4.45	97.81	1.12	1.21
1380	4.30	98.90	1.08	1.12
1440	4.16	99.94	1.05	1.05

Figura 32

Hietograma de precipitación para T = 100 años de la cuenca Puente Oscar Burga

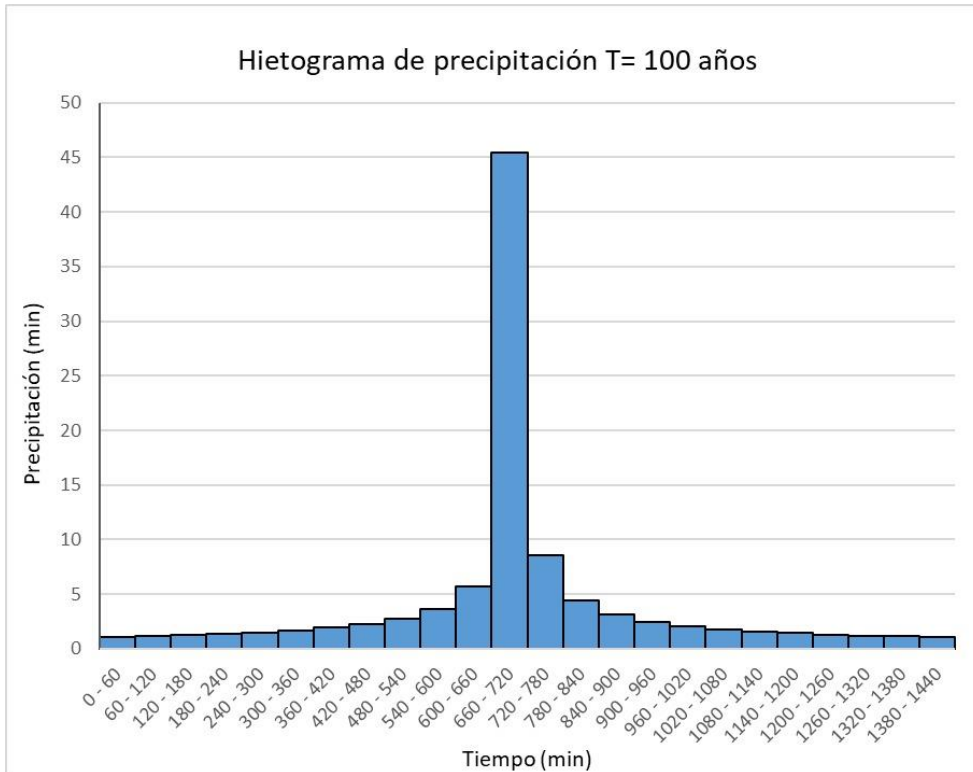


Tabla 29

Método de bloques alternos para T=500 años de la cuenca Puente Oscar Burga

Duración (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación Incremental (mm)	Precipitación (mm)
60	57.38	57.38	57.38	1.37
120	34.07	68.14	10.76	1.47
180	25.12	75.35	7.21	1.59
240	20.23	80.92	5.57	1.73
300	17.10	85.52	4.60	1.91
360	14.91	89.48	3.96	2.13
420	13.28	92.96	3.49	2.43
480	12.01	96.09	3.13	2.85
540	10.99	98.94	2.85	3.49
600	10.16	101.56	2.62	4.60

660	9.45	103.99	2.43	7.21
720	8.85	106.26	2.27	57.38
780	8.34	108.39	2.13	10.76
840	7.89	110.40	2.01	5.57
900	7.49	112.31	1.91	3.96
960	7.13	114.12	1.81	3.13
1020	6.81	115.85	1.73	2.62
1080	6.53	117.50	1.65	2.27
1140	6.27	119.09	1.59	2.01
1200	6.03	120.61	1.52	1.81
1260	5.81	122.08	1.47	1.65
1320	5.61	123.50	1.42	1.52
1380	5.43	124.86	1.37	1.42
1440	5.26	126.19	1.32	1.32

Figura 33

Hietograma de precipitación para T = 500 años de la cuenca Puente Oscar Burga

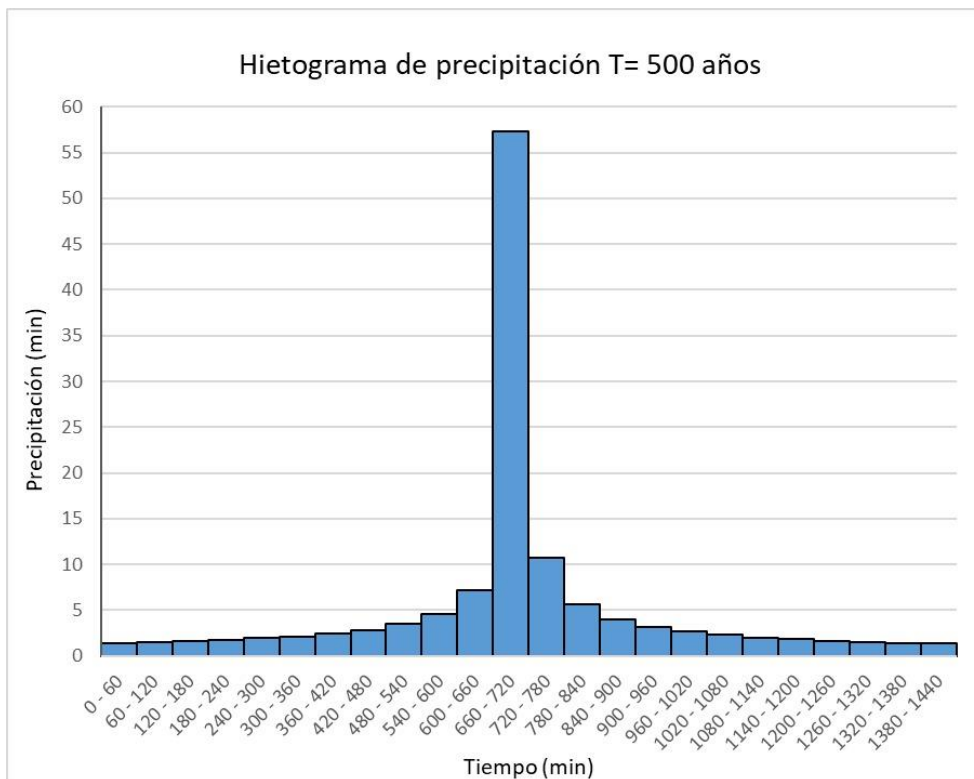


Tabla 30

Características de la cuenca respecto al Puente Cementerio

Subcuenca	Área (km ²)	CN	S (m/m)	tc (h)	tr	
					(h)	(min)
W100	26.09	90.14	0.17	2.14	1.29	77.12
W110	14.05	88.00	0.18	1.49	0.89	53.62
W130	13.97	88.94	0.18	1.76	1.05	63.20
W140	20.88	89.38	0.21	1.68	1.01	60.37
W160	26.55	88.03	0.20	1.62	0.97	58.20
W170	14.48	88.41	0.21	1.43	0.86	51.30

Figura 35

Tramo de río para definir rugosidades en la cuenca Puente Cementerio



Tabla 31

Valores de Manning para los diferentes tramos de río de la cuenca respecto al Puente

Cementerio

Tramo de río	Valores de Manning (n)		
	n-derecha	n-cauce	n-izquierda
R10	0.05	0.04	0.06
R30	0.05	0.04	0.05
R40	0.05	0.04	0.05
R50	0.04	0.04	0.05

En la cercanía del Puente Cementerio aguas arriba, un tributario perteneciente a la subcuenca “W100” se une al río principal”, por lo que se le consideró por separado para la obtención caudales máximos e hidrogramas y el posterior modelamiento hidráulico. Los caudales máximos e hidrogramas para el resto de la cuenca se obtuvieron en la confluencia “J41” donde drena la subcuenca W100. Las máximas avenidas se calcularon para duraciones de lluvia de 24 horas con incrementos cada 60 minutos, mientras que los hidrogramas se calcularon para duraciones de lluvia de 24 horas con incrementos cada 10 minutos. En la Figura 36 y en la Figura 37 se muestran los hidrogramas para la subcuenca W100 y la confluencia J41 respectivamente para el periodo de retorno de 100 años. En la Figura 38 y en la Figura 39 se muestran los hidrogramas para la subcuenca W100 y la confluencia J41 respectivamente para el periodo de retorno de 500 años.

Figura 36

Hidrograma para la subcuenca "W100" para T= 100_24h_10min

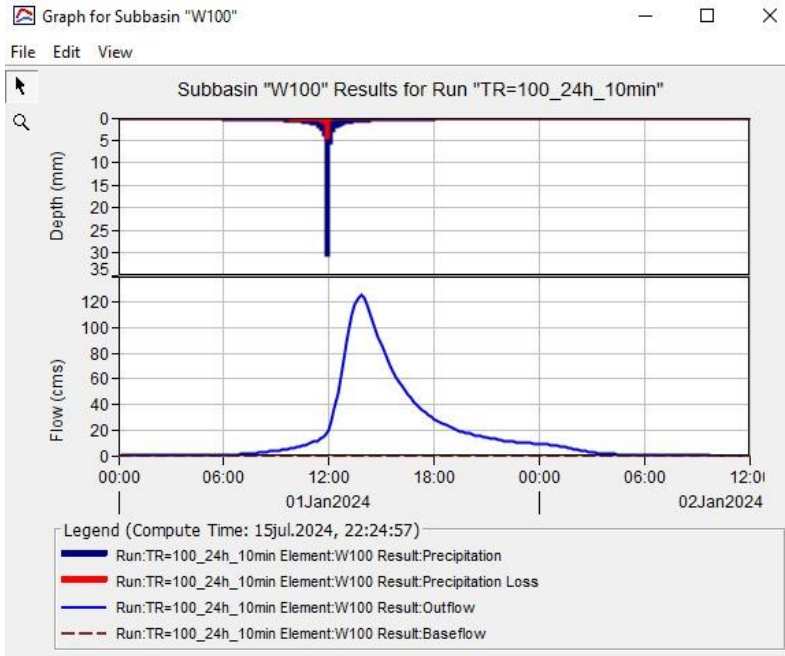


Figura 37

Hidrograma para la confluencia "J41" para T= 100_24h_10min

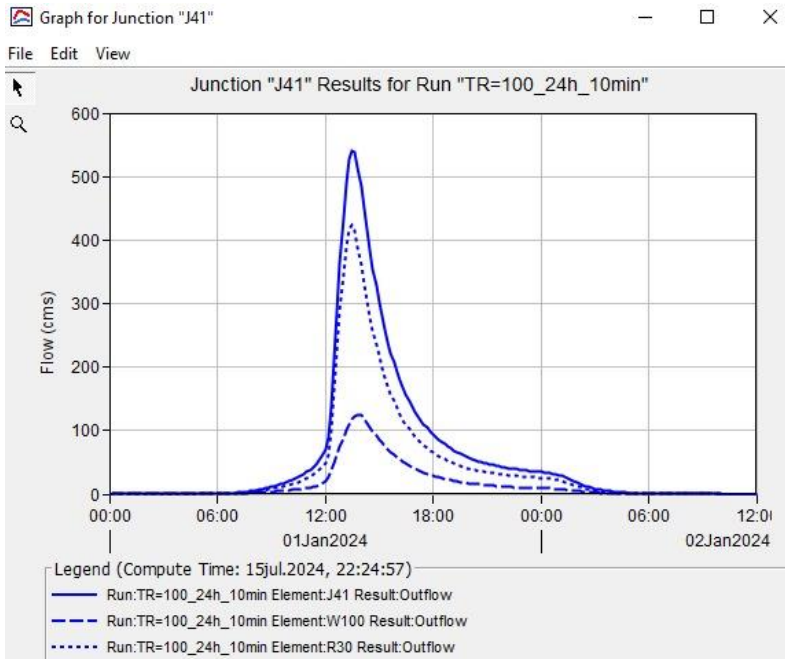


Figura 38

Hidrograma para la subcuenca "W100" para T= 500_24h_10min

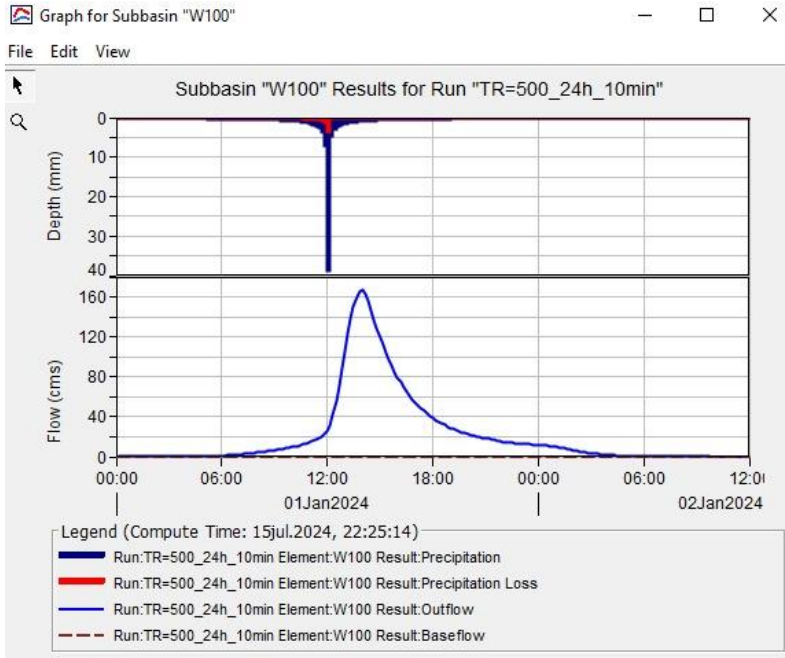
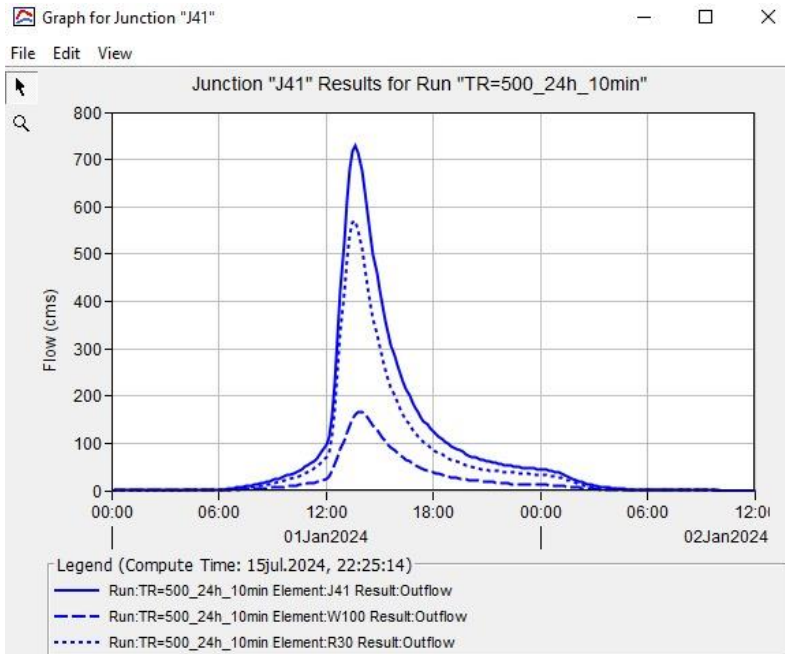


Figura 39

Hidrograma para la confluencia "J41" para T= 500_24h_10min



- **Modelamiento hidrológico de la cuenca Puente Oscar Burga**

Para el modelamiento hidrológico de la cuenca Puente Oscar Burga se utilizó el Software HEC-HMS v.4.11, donde se empleó como método de pérdida de Curva Número del SCS y como método de transformación, el hidrograma unitario del SCS. El esquema de la cuenca, sus características y valores de Manning utilizados para el modelamiento hidrológico se muestra en la Figura 40 , Tabla 32 y 33 respectivamente.

Figura 40

Representación esquemática de la cuenca Puente Oscar Burga

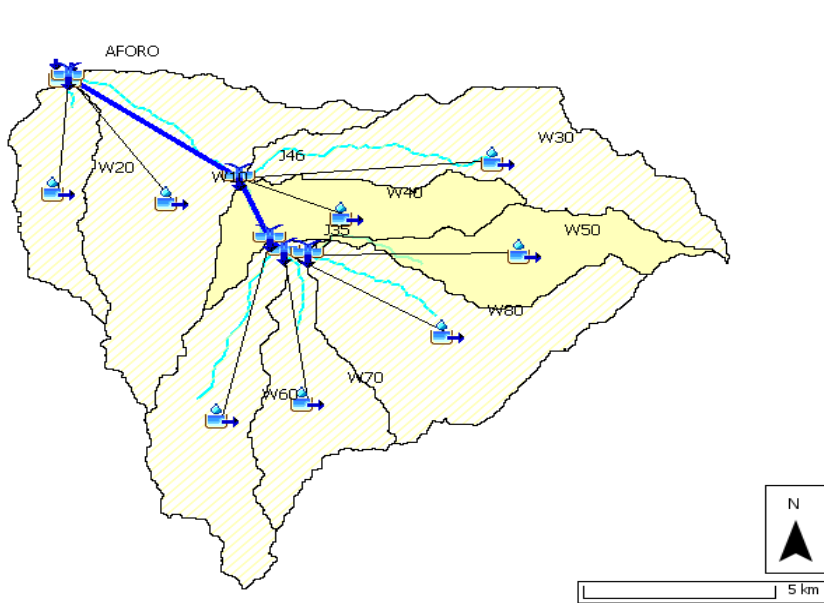


Tabla 32

Características de la cuenca Puente Oscar Burga

Resumen de datos de subcuencas						
Subcuenca	Área (km ²)	CN	S (m/m)	tc (h)	tr	
					(h)	(min)
W10	34.08	88.00	0.18	1.90	1.14	68.38
W20	11.06	88.00	0.22	1.31	0.78	47.08
W30	26.09	90.14	0.17	2.14	1.29	77.20
W40	13.81	88.00	0.18	1.48	0.89	53.29
W50	13.97	88.94	0.18	1.76	1.05	63.26
W60	20.88	89.38	0.21	1.68	1.01	60.52
W70	14.48	88.41	0.21	1.43	0.86	51.35
W80	26.55	88.03	0.20	1.62	0.97	58.26

Figura 41

Tramo de río para definir rugosidades en la cuenca Puente Oscar Burga



Tabla 33

Valores de Manning para los diferentes tramos de río de la cuenca Puente Oscar Burga

Tramo de río	Valor de Manning (n)		
	n-derecha	n-cauce	n-izquierda
R10	0.055	0.04	0.5
R30	0.06	0.04	0.06
R50	0.05	0.04	0.05
R60	0.05	0.04	0.05
R70	0.05	0.04	0.045

Para el modelamiento hidrológico se realizó en Software HEC-HMS v.4.11 empleando método de pérdida de Curva Número del SCS y como método de transformación, el hidrograma unitario del SCS.

En la cercanía del Puente Oscar Burga aguas arriba, un tributario perteneciente a la subcuenca “W20” se une al río principal”, por lo que se le consideró por separado para la obtención caudales máximos e hidrogramas y el posterior modelamiento hidráulico. Los caudales máximos e hidrogramas para el resto de la cuenca se obtuvieron en la confluencia “J51” donde drena la subcuenca W20. Las máximas avenidas se calcularon para duraciones de lluvia de 24 horas con incrementos cada 60 minutos, mientras que los hidrogramas se calcularon para duraciones de lluvia de 24 horas con incrementos cada 10 minutos. En la Figura 42 y en la Figura 43 se muestran los hidrogramas para la subcuenca W20 y la confluencia J51 respectivamente para el periodo de retorno de 100 años. En la Figura 44 y en la Figura 45 se muestran los hidrogramas para la subcuenca W20 y la confluencia J51 respectivamente para el periodo de retorno de 500 años.

Figura 42

Hidrograma para la subcuenca "W20" para T= 100_24h_10min

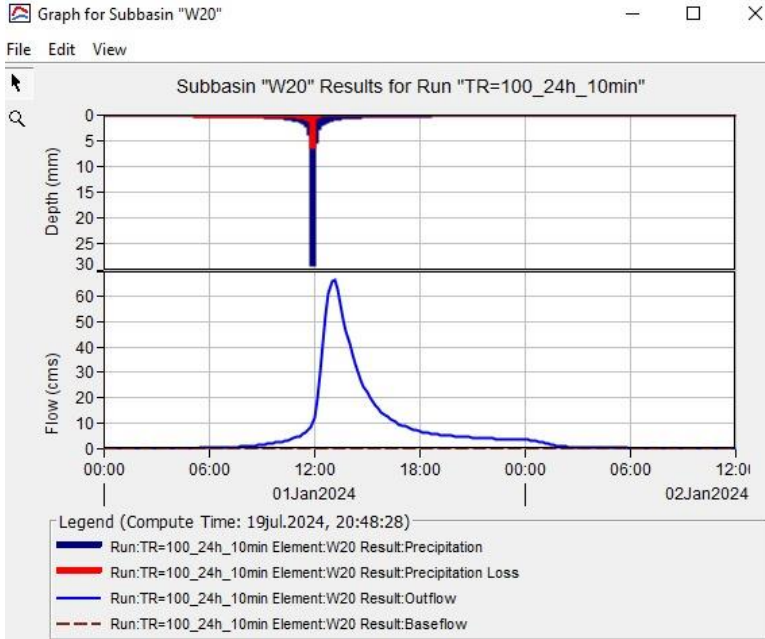


Figura 43

Hidrograma para la confluencia "J51" para T= 100_24h_10min

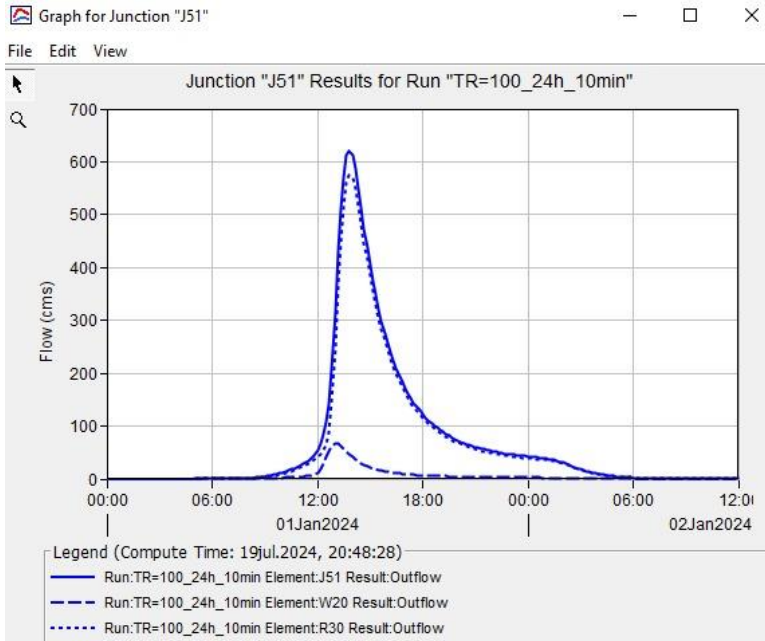


Figura 44

Hidrograma para la subcuenca "W20" para T= 500_24h_10min

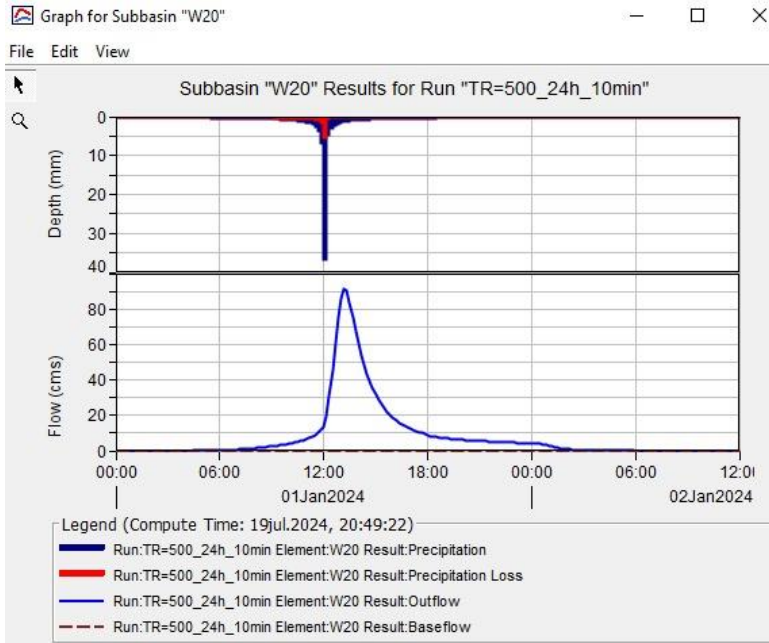
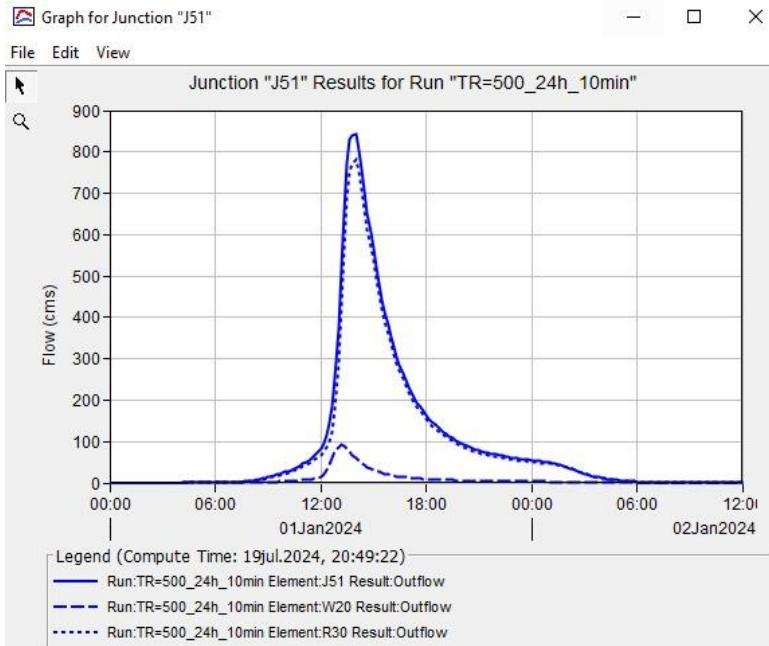


Figura 45

Hidrograma para la confluencia "J51" para T= 500_24h_10min



3.6.4. Modelamiento hidráulico

El modelamiento hidraulico unidimensional se realizó en el programa HEC-RAS v.6.5. Beta y el modelamiento hidráulico bidimensional en el progrma Iber v.3.3.1, tanto para el Puente Oscar Burga como para el Puente Cementerio. Las tablas que muestran los datos y cálculos de socvación se realizaron en excel.

3.6.4.1. Geometría y condiciones de contorno del Puente Cementerio en HEC-RAS v.6.5

En primer lugar, se definió la geometría importando las secciones transversales del río preparadas en el programa Civil 3D 2018; así mismo, se definió la geometría de la estructura del puente. En la Figura 46 se puede visualizar el esquema de la morfología fluvial y el emplazamiento del puente, en la Figura 47 se visualiza el perfil del puente aguas arriba y aguas abajo. En segundo lugar, se eligió el tipo de flujo estable, donde se ingresó los caudales de avenida tanto para el río principal como para el tributario, para periodos de retorno de 100 y 500 años, y se establecieron condiciones normales de contorno (Figura 48). En tercer lugar, se definió el plan para un régimen de flujo mixto (Figura 49) y finalmente se ejecutó el programa.

Figura 46

Geometría del río y emplazamiento del puente Cementerio

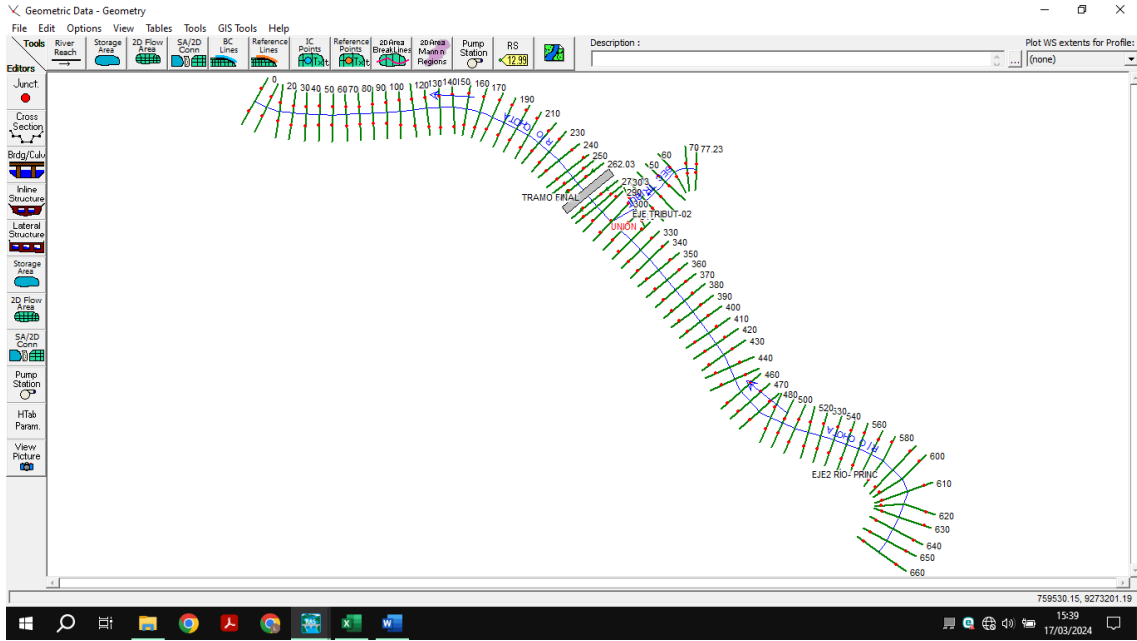


Figura 47

Perfil de la geometría del puente Cementerio

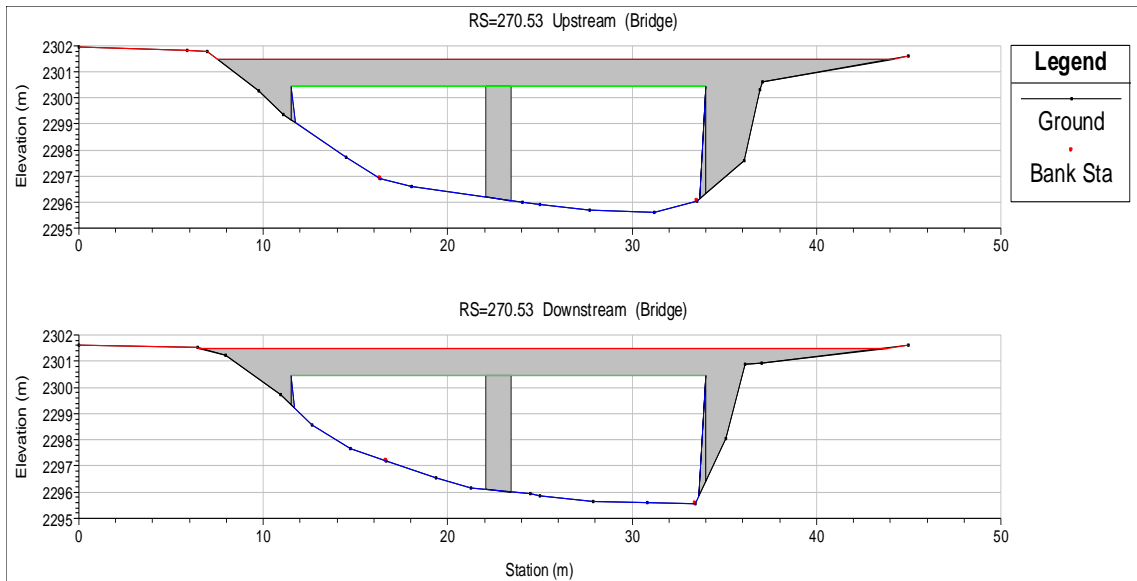


Figura 48

Tipo de flujo, asignación de caudales y condiciones de contorno, puente Cementerio

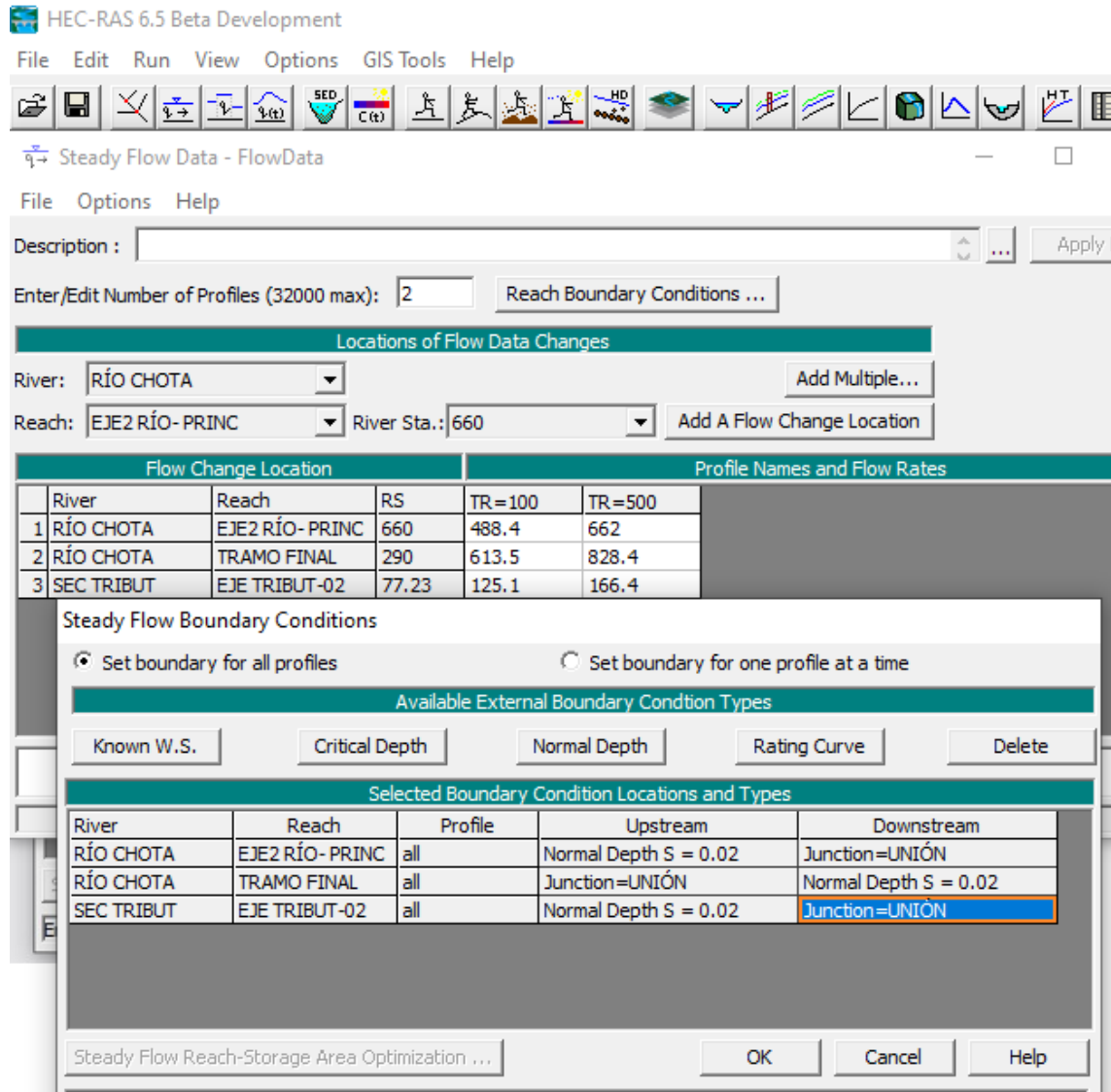
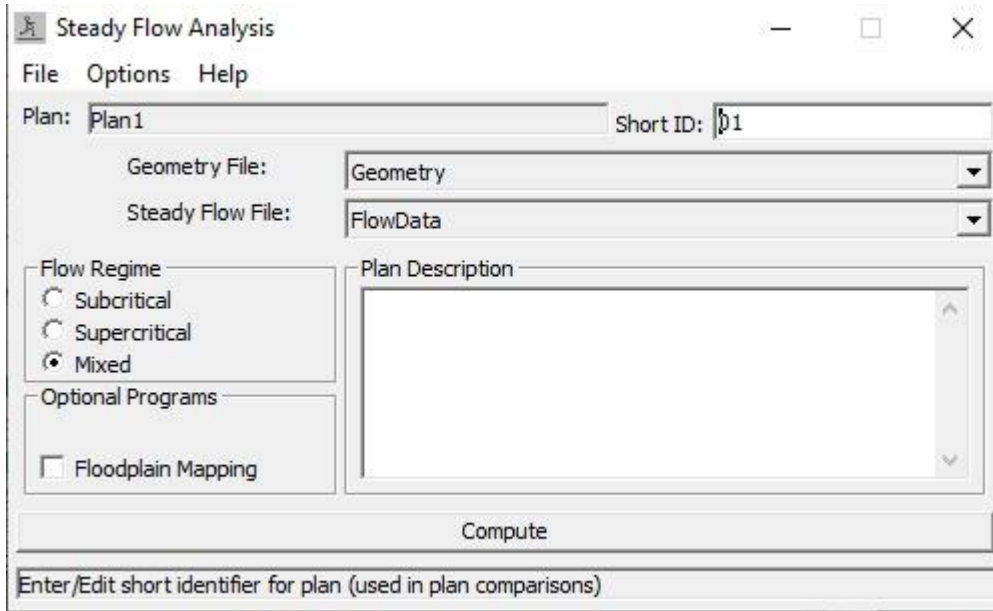


Figura 49

Régimen mixto de flujo, puente Cementerio



3.6.4.2. Modelamiento hidráulico del Puente Cementerio en el programa Iber v.3.3.1

Como primer paso del modelamiento hidrodinámico en Iber v.3.3.1 se trianguló adecuadamente en Civil 3D 2018 la superficie del tramo de río que contiene al puente Cementerio (Figura 50). En segundo lugar, se creó la geometría y el mallado en Iber v.3.3.1 (Figura 51), y se le asignó el uso de suelos (Figura 52). Luego se le asignó las condiciones de contorno, la duración y el paso de tiempo para los periodos de retorno de 100 y 500 años.

Figura 50

Triangulación de la superficie en Civil 3D para el Puente Cementerio

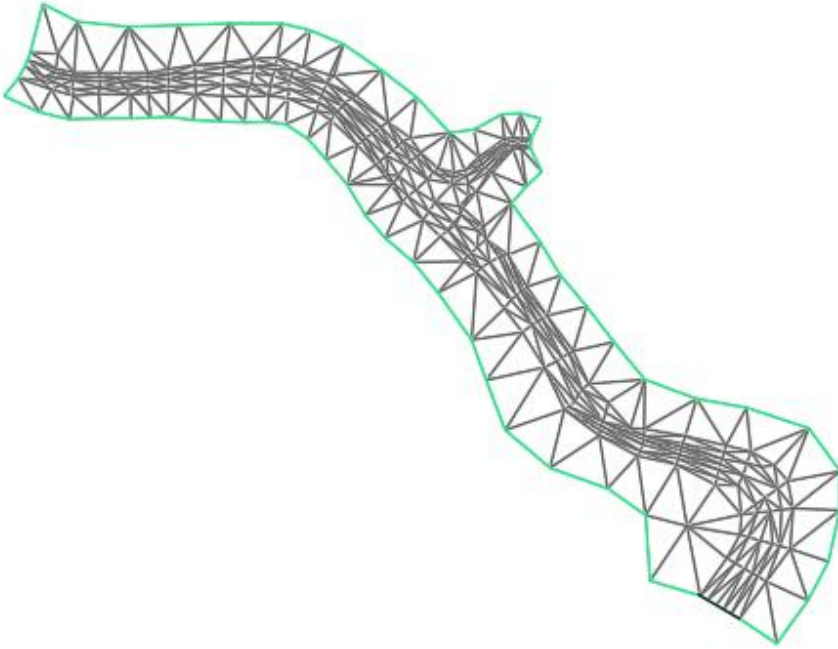


Figura 51

Malla creada en Iber para el Puente Cementerio

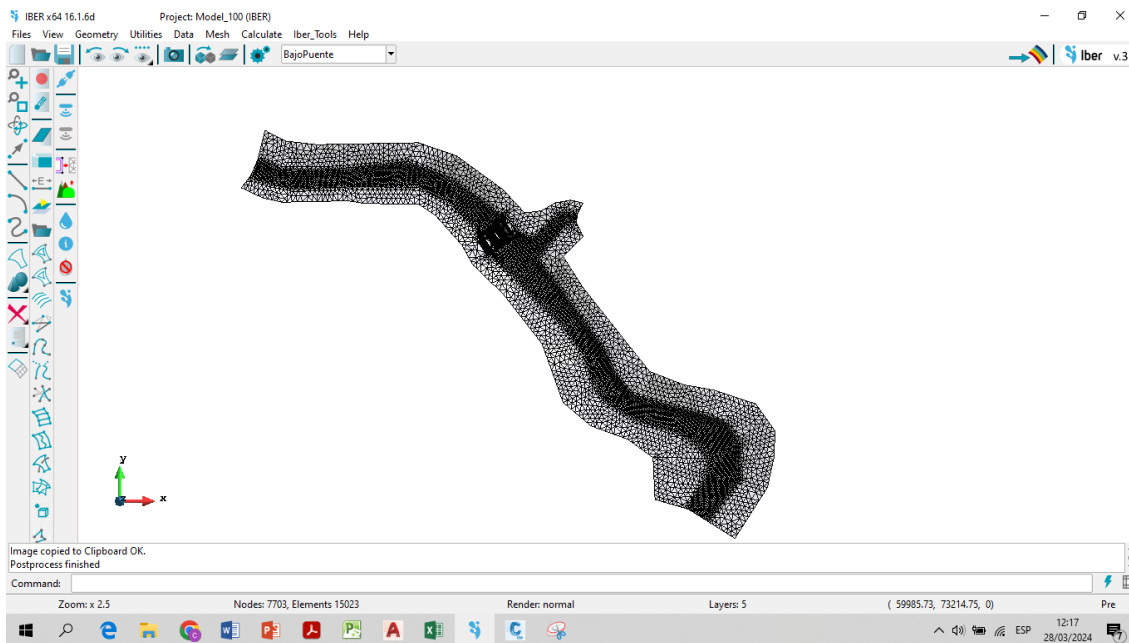
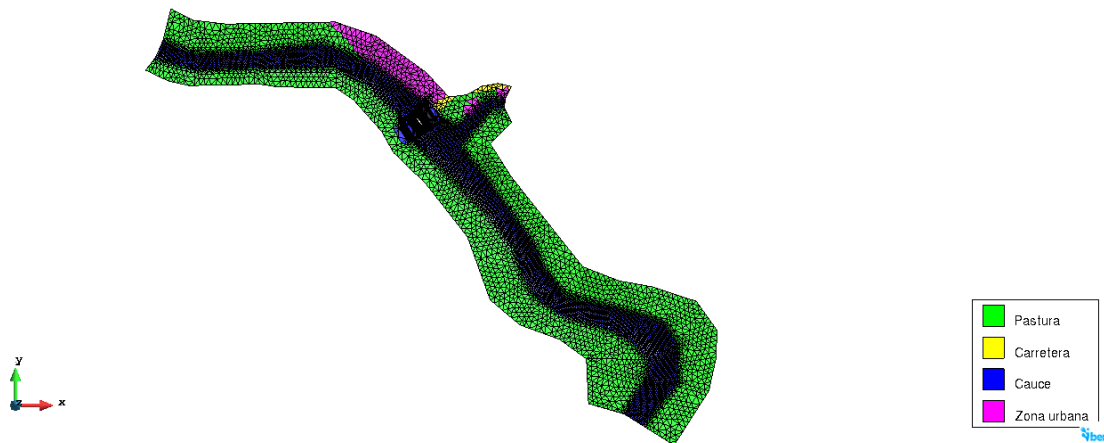


Figura 52

Asignación de uso de suelo a la malla para el puente Cementerio



3.6.4.3. Modelamiento hidráulico del Puente Oscar Burga en el programa HEC-RAS

v.6.5

En primer lugar, se definió la geometría importando las secciones transversales del río preparadas en el programa Civil 3D 2018; así mismo, se definió la geometría de la estructura del puente. En la Figura 53 se pudo visualizar el esquema de la morfología fluvial y el emplazamiento del puente, en la Figura 54 se visualiza el perfil del puente aguas arriba y aguas abajo. En segundo lugar, se eligió el tipo de flujo estable, donde se ingresó los caudales de avenida tanto para el río principal como para el tributario, para periodos de retorno de 100 y 500 años, y se establecieron condiciones normales de contorno (Figura 55). En tercer lugar, se definió el plan para un régimen de flujo mixto (Figura 56) y finalmente se ejecutó el programa.

Figura 53

Geometría del río y emplazamiento del Puente Oscar Burga

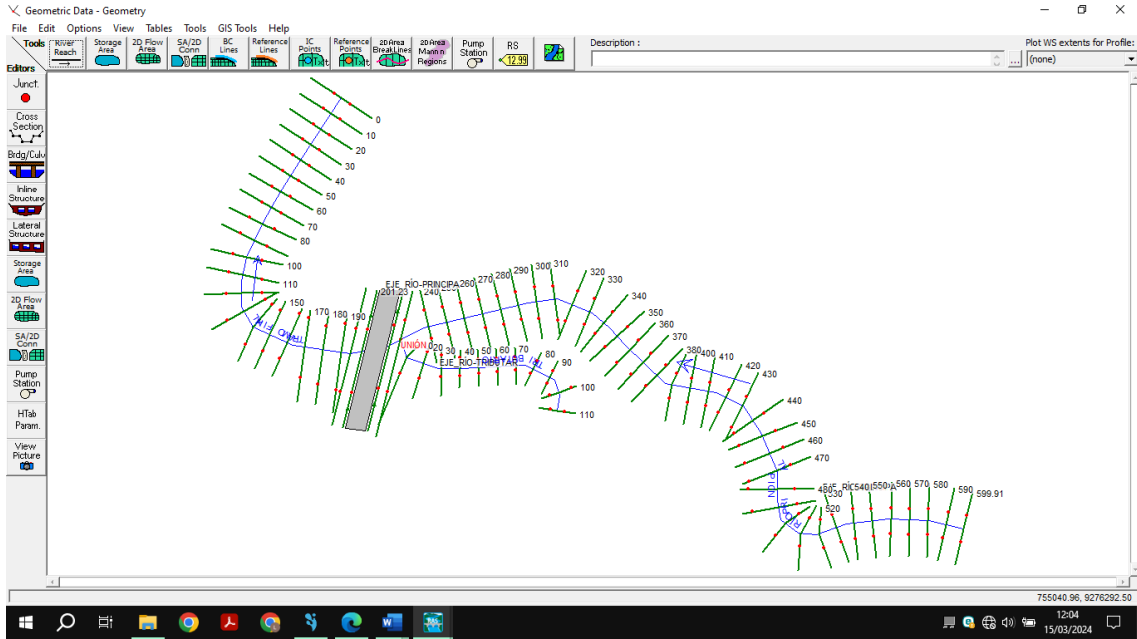


Figura 54

Perfil de la geometría del puente Oscar Burga

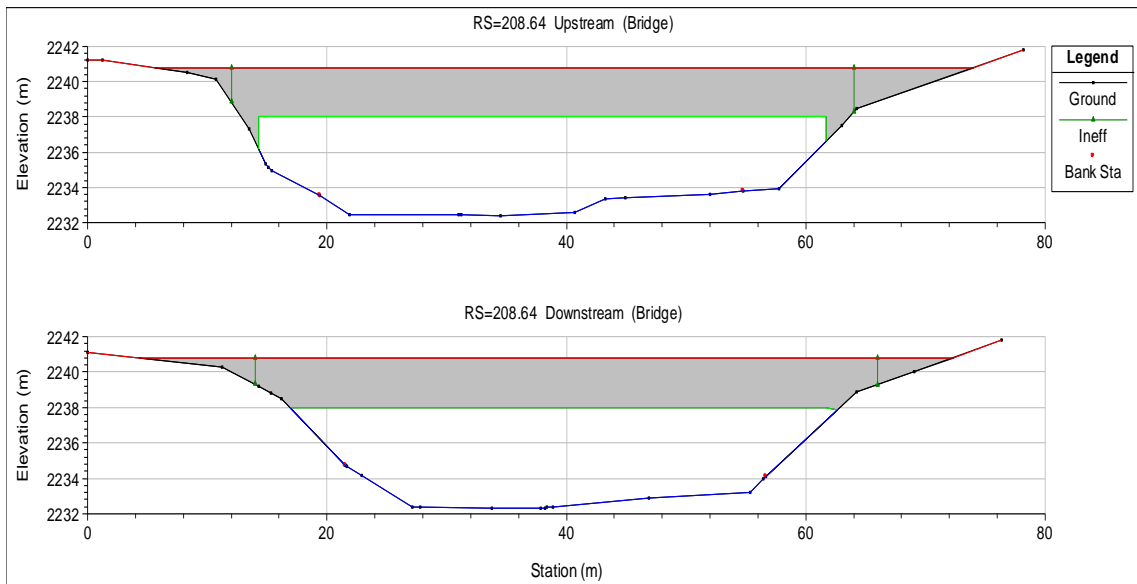


Figura 55

Tipo de flujo, asignación de caudales y condiciones de contorno, puente Oscar Burga

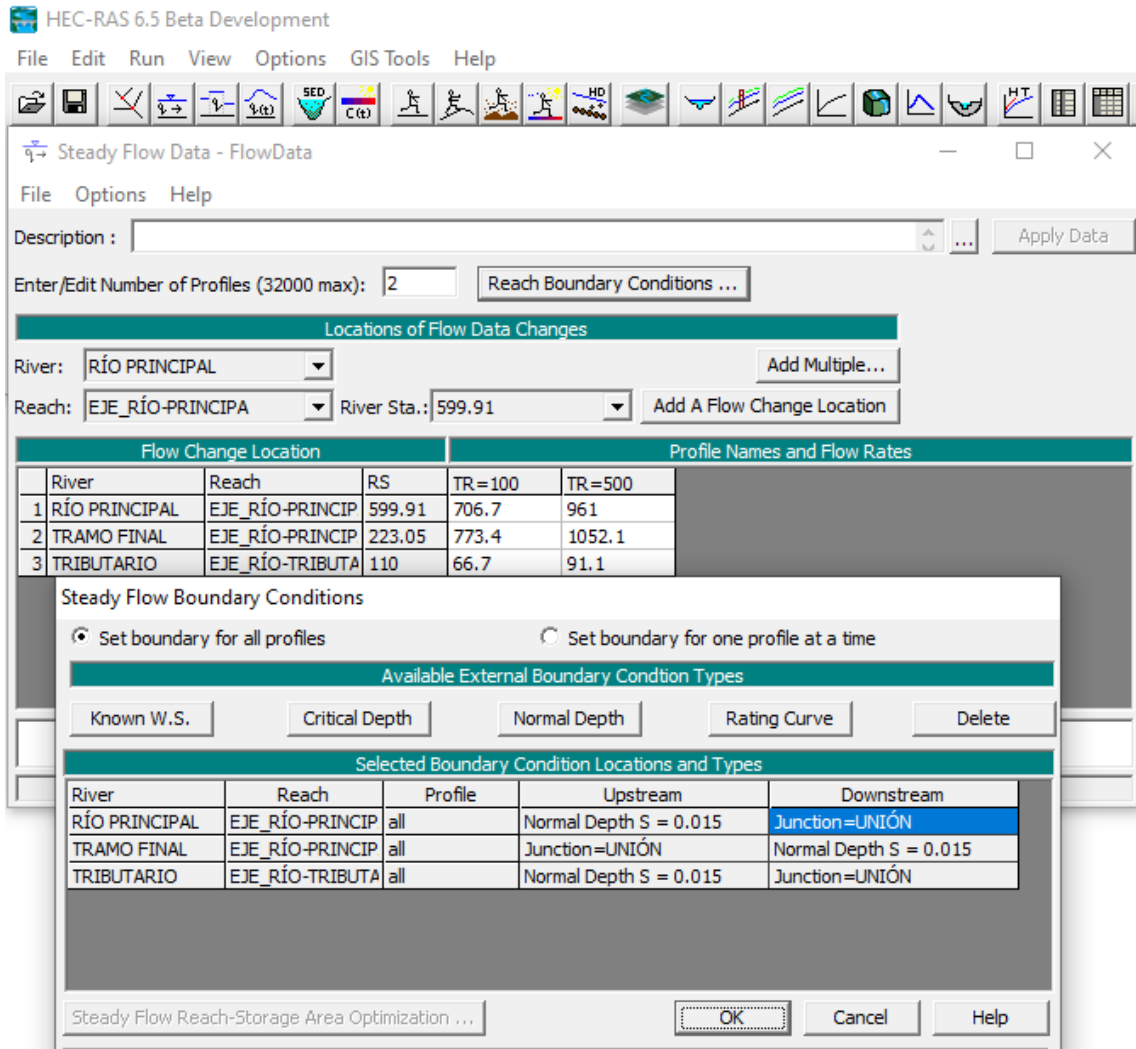
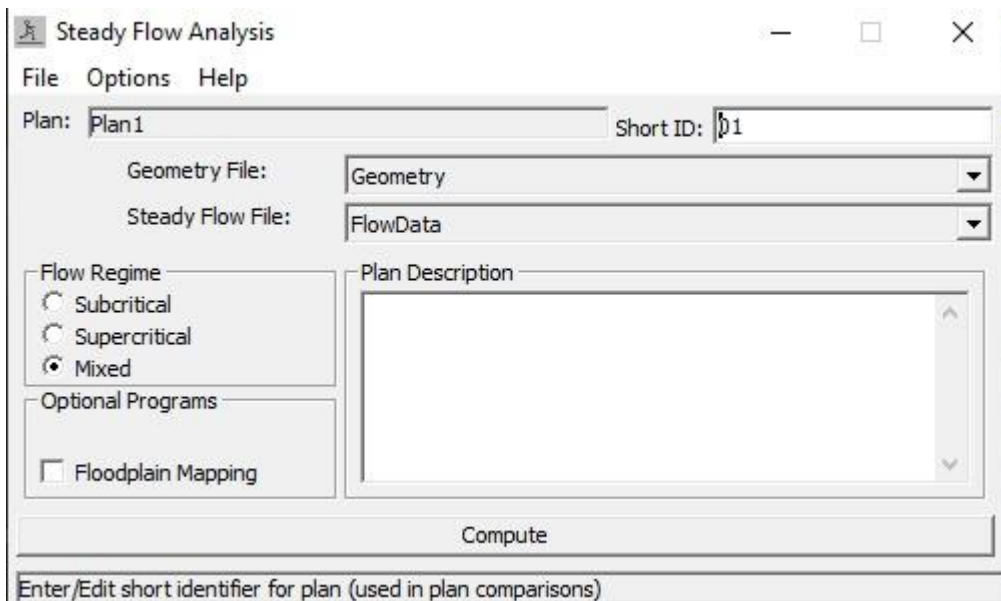


Figura 56

Régimen mixto de flujo, puente Oscar Burga



3.6.4.4. Modelamiento hidráulico del Puente Oscar Burga en el programa iber v.3.3.1

Como primer paso del modelamiento hidrodinámico en Iber v.3.3.1 se trianguló adecuadamente en Civil 3D 2018 la superficie del tramo de río que contiene al puente Oscar Burga (Figura 57). En segundo lugar, se creó la geometría y el mallado en Iber v.3.3.1 (Figura 58), y se le asignó el uso de suelos (Figura 59). Luego se le asignó las condiciones de contorno, la duración y el paso de tiempo para los periodos de retorno de 100 y 500 años.

Figura 57

Triangulación de la superficie en Civil 3D para el Puente Oscar Burga

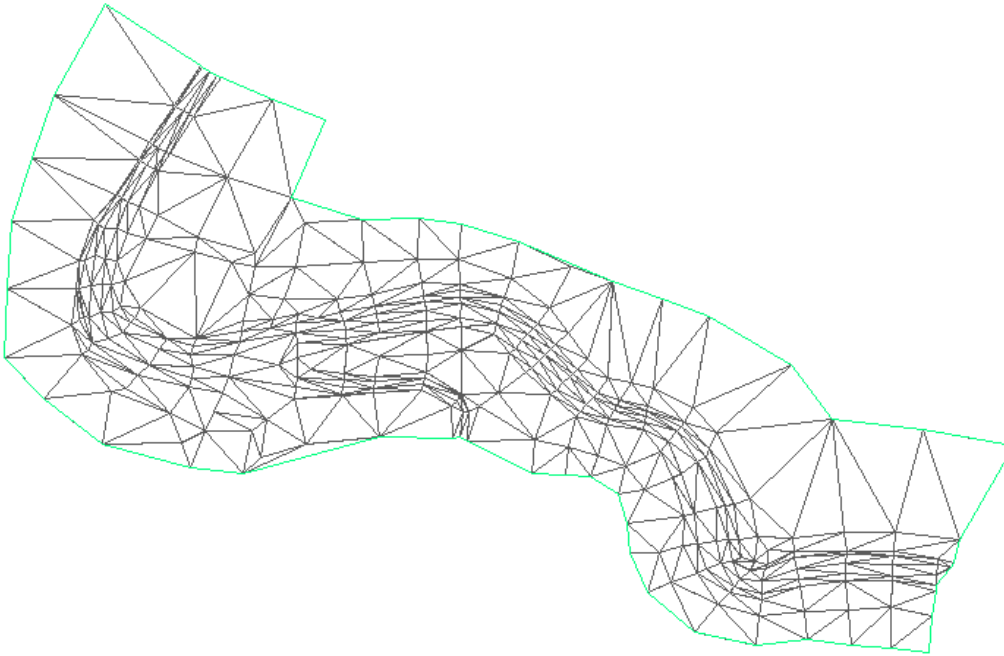


Figura 58

Malla creada en Iber para el Puente Oscar Burga

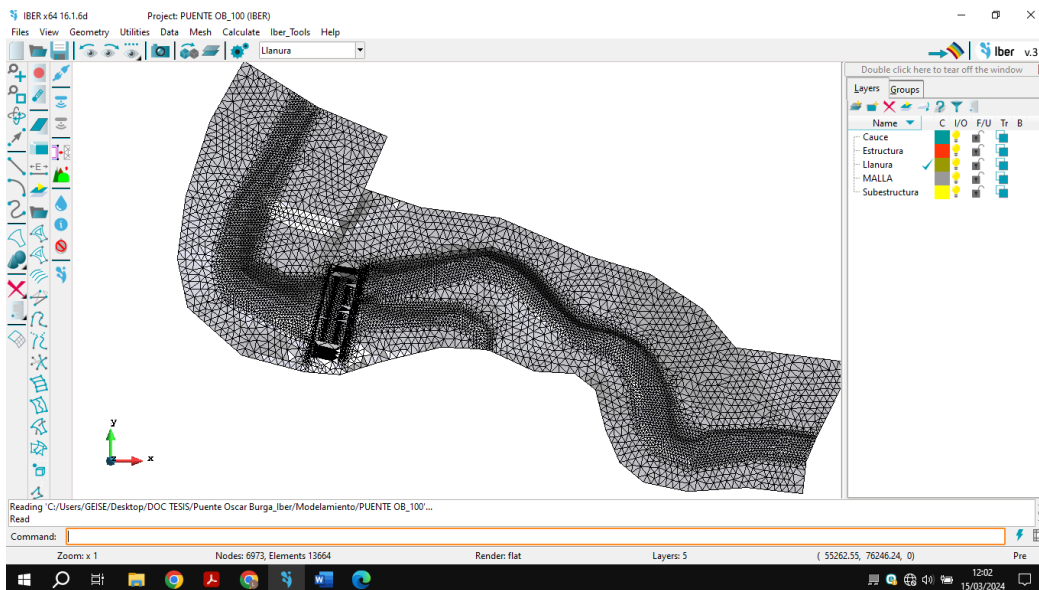
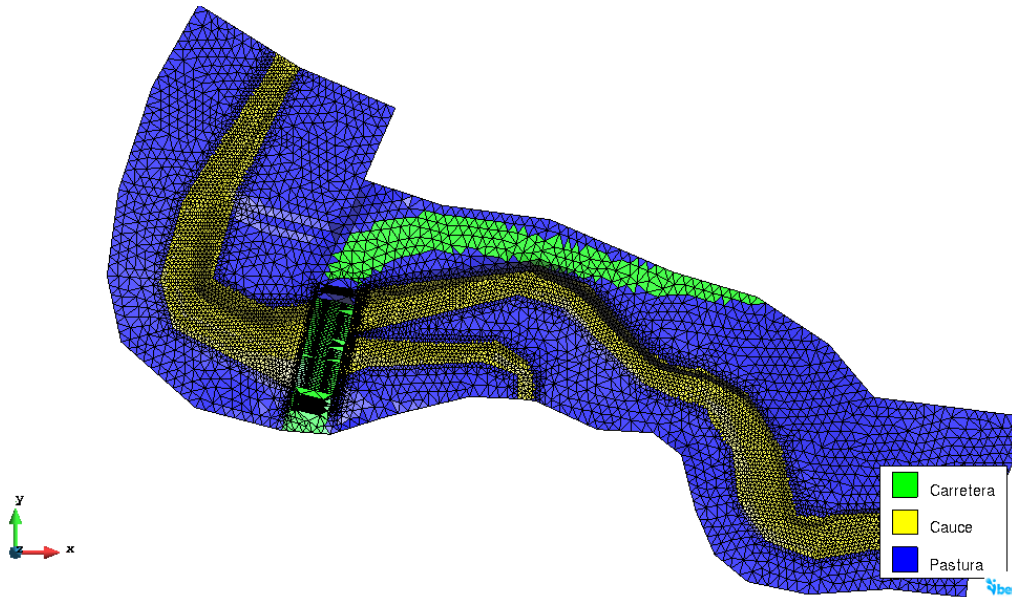


Figura 59

Asignación de uso de suelo a la malla para el Puente Oscar Burga



3.7. Aspectos éticos

Desde la dimensión axiológica, respondiendo a los argumentos que hacen interesante el asunto investigado, en la formación del ingeniero civil no basta el conocimiento científico y tecnológico. Se requiere de profesionales con formas de actuar probas sobre todo en el contexto social, económico y científico en el que se mueven; que sean capaces de reconocer la importancia y responsabilidad de sus acciones y de cómo estas repercuten en la sociedad; afectándolo de forma tangible a través de sus diseños y propuestas. (Mulino, 2020, p. 107)

La autonomía del profesional se refiere a la capacidad personal de tomar decisiones en el ejercicio de la profesión. La ética profesional demanda que la elección autónoma ha de producirse en unas condiciones que garanticen su competencia a la hora de actuar. (Giménez, 2015). Por lo tanto, dejamos expresado que nuestro trabajo de investigación se

centra sobre la base de datos verídicos de campo en el contexto de la ubicación de los dos puentes.

3.8. Matriz de consistencia

Ver anexo 5

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

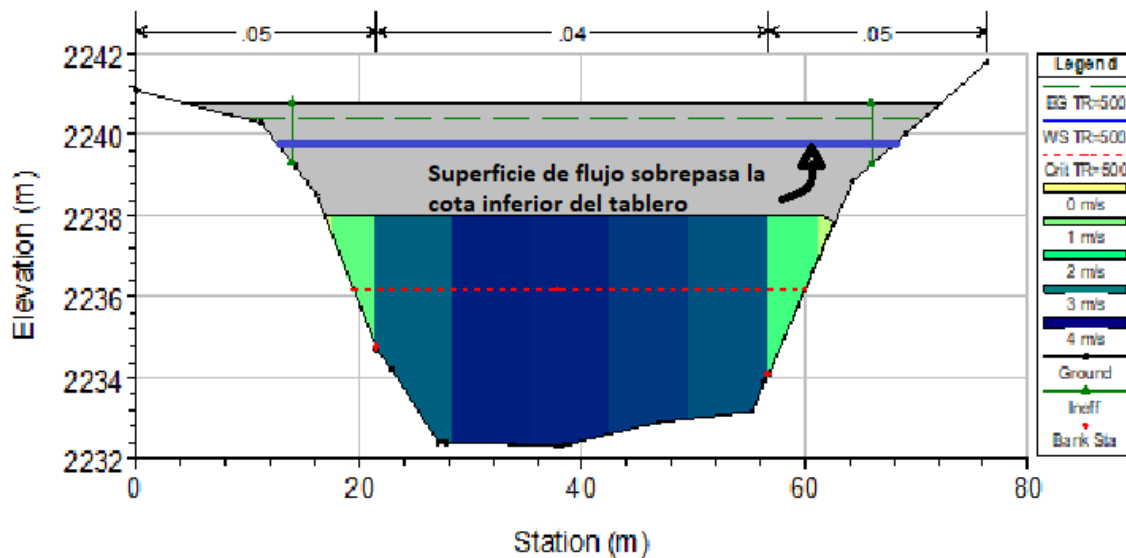
4.1. Descripción de resultados

4.1.1. Caudales y niveles de avenida máximos extraordinarios

La superficie de flujo en ambos puentes a resultado ser superior a la cota inferior del tablero, por lo que, para el cálculo de las profundidades de socavación, se aplicó el criterio de flujo a presión bajo puentes que considerara como tirante o calado la altura desde el fondo del lecho hasta la cara inferior del tablero, cuando la superficie del flujo sobrepasa dicha cota (ver Figura 60).

Figura 60

Ilustración de flujo de agua a presión bajo puente



El modelamiento hidrológico mediante HEC-HMS v.4.11 y el modelamiento hidráulico tanto en HEC-RAS v.6.5 como Iber 3.3.1 para el puente Cementerio y puente Oscar Burga dieron respectivamente los caudales y niveles máximos que se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34

Caudales máximos y NAMEs para los puentes Cementerio y Oscar Burga

Puente	T (años)	Caudal (m ³ /s)	NAME (m.s.n.m.)	
			Modelo HEC-RAS	Modelo Iber
Cementerio	100	613.5	2302.38	2302.67
	500	828.4	2303.03	2303.27
Oscar Burga	100	773.4	2238.05	2240.07
	500	1052.1	2241.15	2240.21

4.1.2. Niveles de socavación en el Puente Cementerio

Simulación hidráulica para T= 100 años en HEC-RAS v.6.5. Se ejecutó el programa HEC-RAS v.6.5 para obtener los resultados del modelamiento del puente Cementerio para 100 años de retorno para el puente Cementerio; se puede visualizar los resultados en forma gráfica y tabular, y en base a estos se calculó la socavación local y total. En la Figura 61 se puede visualizar el perfil de flujo (línea de color azul), la línea de energía (color verde) y la línea de tirante crítico (color rojo), determinando así un régimen subcrítico entre aguas arriba del puente y la confluencia, y un régimen predominantemente supercrítico a lo largo del tramo del río. En la Figura 62 se muestra el flujo de agua a través de la sección hidráulica del puente.

Figura 61

Perfil de flujo para $T=100$ años en el puente Cementerio

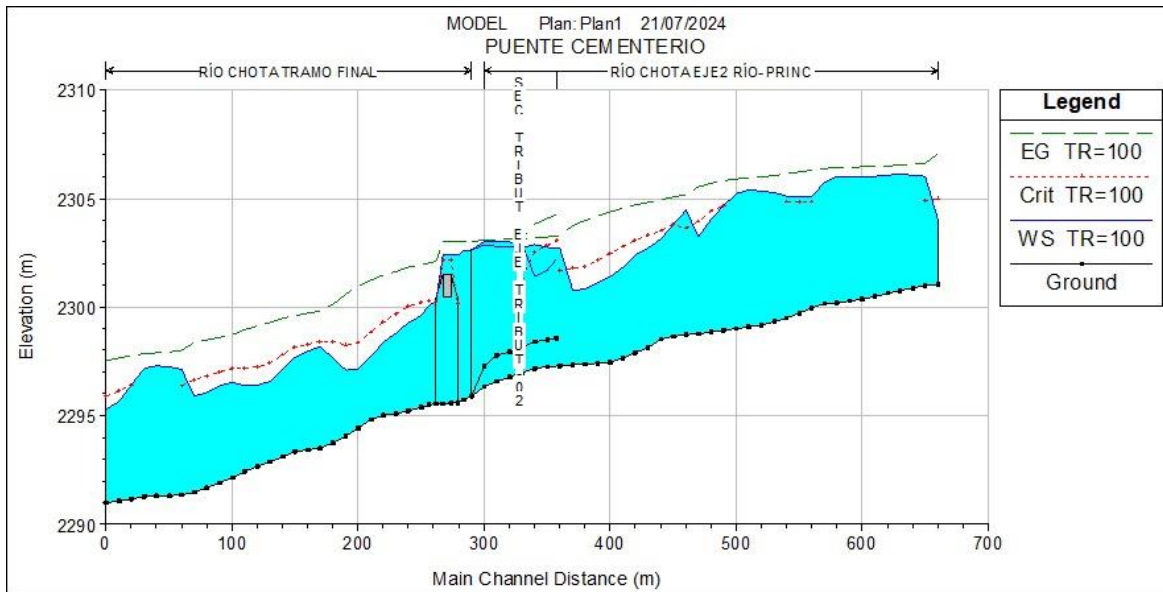
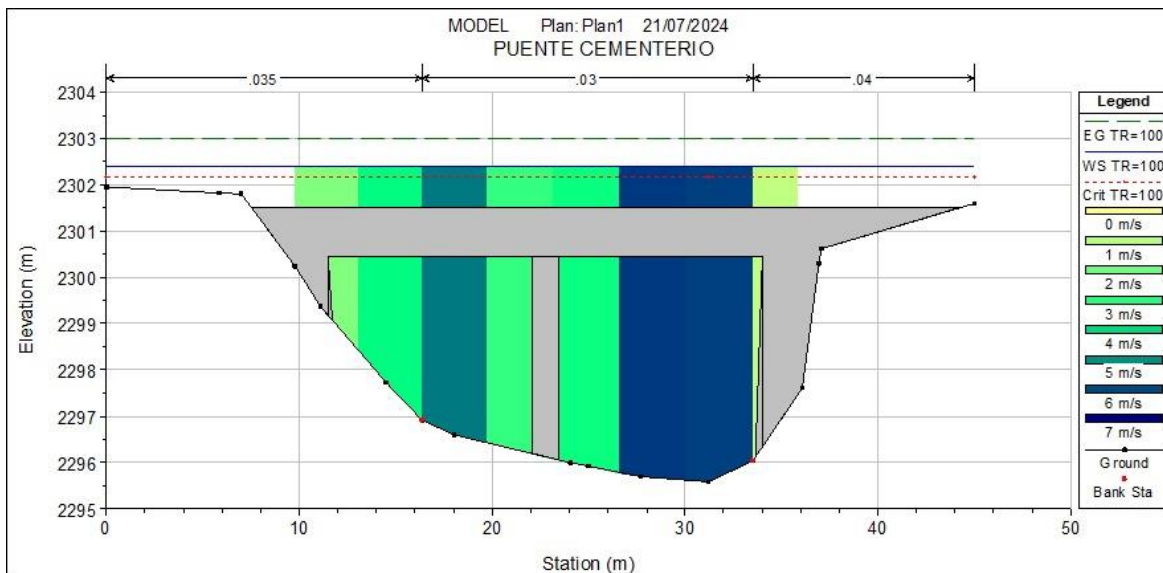


Figura 62

Flujo de agua a través de la sección del puente Cementerio, $T=100$ años



Cálculo de socavación para T=100 años en HEC-RAS v.6.5. La socavación general por contracción se calculó usando el método de Lischtvan y Lebediev (Tabla 35), la socavación local en estribos se obtuvo aplicando el método de Artamonov (Tabla 36), la socavación local en pilas se obtuvo por el método de Froelich (Tabla 37), finalmente se obtuvo la socavación total en estribos (Tabla 38) y la socavación total en pilas (Tabla 39).

Tabla 35

Socavación general por contracción, T= 100 años

Símbolo	Valor	Unidad
Dm =	32.29	mm
γ_m =	1.74	t/m ³
T =	100	años
Qd =	613.5	m ³ /s
S =	0.020	m/m
n =	0.045	
V =	4.60	m/s
B =	30.00	m
A =	82.40	m ²
R =	1.77	m
h =	4.10	m
μ =	0.95	
β =	0.99	
z =	0.31	
ϕ =	2.09	
α =	4.09	
Hs =	6.05	m
Ds =	1.95	m

Tabla 36*Socavación local en estribos, T=100 años*

Símbolo	Estribo derecho	Estribo izquierdo	Unidad
T =	100	100	años
Q _d =	613.5	613.5	m ³ /s
Q _l =	69.06	74.00	m ³ /s
Θ =	90	90°	
K _Θ =	1.00	1.00	
K _Q =	2.26	2.33	
K _m =	0.82	0.82	
h =	1.00	4.5	m
H _T =	1.85	8.31	m
ds =	0.85	3.81	m

Tabla 37*Socavación local en pila central, T=100 años*

Símbolo	Valor	Unidad
T =	100	años
Fr =	0.7	
a' =	1.4	m
a =	1.4	m
D ₅₀ =	0.029	m
Kf =	0.7	
h =	4.5	m
ds =	2.11	m

Tabla 38*Socavación total en estribos, T=100*

Ubicación del estribo	Valor	unidad
Estribo derecho	2.80	m
Estribo izquierdo	5.76	m

Tabla 39

Socavación total en pila central, T=100

Ubicación del estribo	Valor	unidad
Pila central	4.06	m

Simulación hidráulica para T= 500 años en HEC-RAS v.6.5. Se ejecutó el programa HEC-RAS v.6.5 para obtener los resultados del modelamiento del puente Cementerio para T=500 años; se puede visualizar los resultados en forma gráfica y tabular, y en base a estos se calculó la socavación local y total. En la Figura 63 se puede visualizar el perfil de flujo (línea de color azul), la línea de energía (color verde) y la línea de tirante crítico (color rojo), determinando así un régimen subcrítico entre aguas arriba del puente y la confluencia, y un régimen predominantemente supercrítico a lo largo del tramo del río. En la Figura 64 se muestra flujo de agua a través de la sección hidráulica del puente.

Figura 63

Perfil de flujo para T=500 años en el puente Cementerio

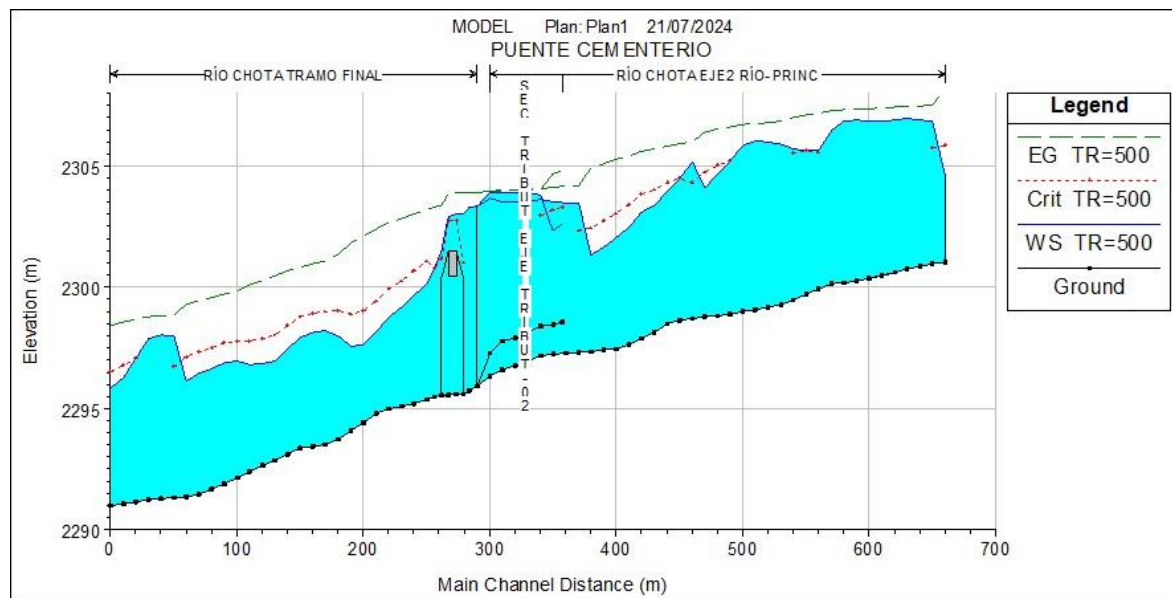
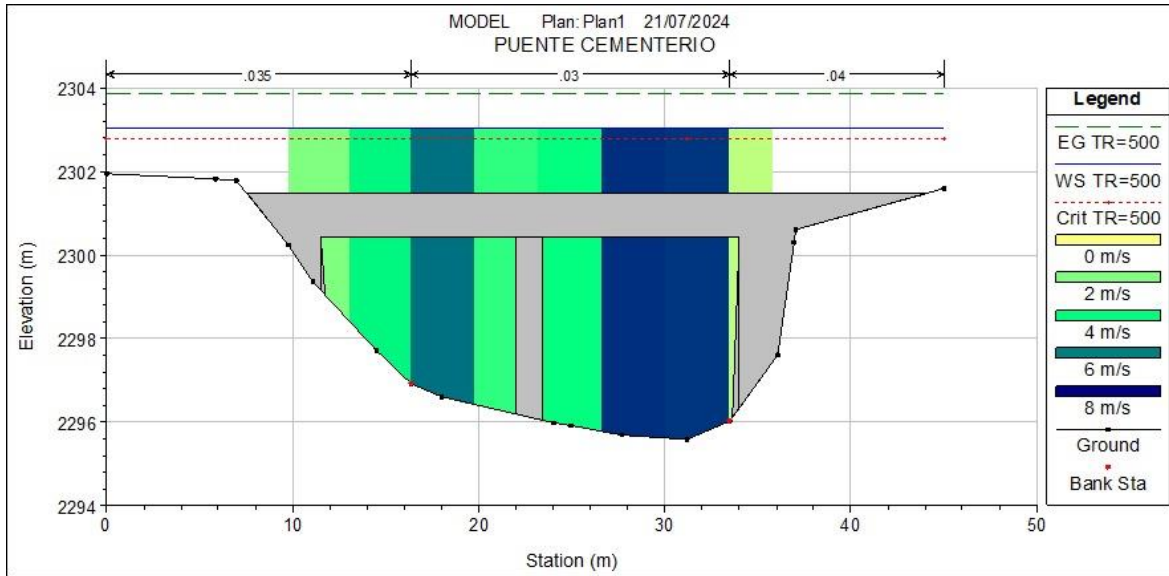


Figura 64

Flujo de agua a través de la sección del puente Cementerio, T=500 años



Cálculo de socavación para T=500 años en HEC-RAS v.6.5. La socavación general por contracción se calculó usando el método de Lischtvan y Lebediev (Tabla 40), la socavación local en estribos se obtuvo aplicando el método de Artamonov (Tabla 41), la socavación local en pilas se obtuvo por el método de Froelich (Tabla 42), finalmente se obtuvo la socavación total en estribos (Tabla 43) y la socavación total en pilas (Tabla 44).

Tabla 40

Socavación general por contracción, T= 500 años

Símbolo	Valor	Unidad
Dm =	32.29	mm
γ_m =	1.74	t/m ³
T =	500	años
Qd =	828.4	m ³ /s
S =	0.020	m/m
n =	0.045	
V =	5.40	m/s

B =	30.00	m
A =	82.40	m ²
R =	2.25	m
h =	4.10	m
μ =	0.94	
β =	1.06	
z =	0.31	
φ =	2.09	
α =	4.73	
Hs =	6.66	m
Ds =	2.56	m

Tabla 41

Socavación local en estribos, T=500 años

Símbolo	Estribo derecho	Estribo izquierdo	Unidad
T =	500	500	años
Q _d =	828.4	828.4	m ³ /s
Q _l =	100.44	107.14	m ³ /s
Θ =	90	90°	
K _{Θ} =	1.00	1.00	
K _Q =	2.33	2.39	
K _m =	0.82	0.82	
h =	1.00	4.50	m
H _T =	1.91	7.87	m
ds =	0.91	3.73	m

Tabla 42

Socavación local en pila central, T=500 años

Símbolo	Valor	Unidad
T =	500	años
Fr =	0.9	
a' =	1.4	m
a =	1.4	m
D ₅₀ =	0.029	m

Kf =	0.7	
h =	4.5	m
ds =	2.14	m

Tabla 43

Socavación total en estribos, T=500

Ubicación del estribo	Valor	unidad
Estribo derecho	3.47	m
Estribo izquierdo	6.29	m

Tabla 44

Socavación total en pila central, T=500

Ubicación del estribo	Valor	unidad
Pila central	4.70	m

Simulación hidráulica para T= 100 años en Iber v.3.3.1. Se definió las condiciones de contorno de entrada asignando el hidrograma correspondiente al periodo de retorno de 100 años (Figura 65), luego se asignó las condiciones de contorno de salida (Figura 66) y finalmente se determinó la duración y el paso de tiempo para el cálculo que se ejecutó seguidamente. En la Figura 67 se visualiza el mapa de elevación de la superficie del agua y en la Figura 68 se muestra la sección 0+216.13 inmediatamente aguas arriba del puente, donde se visualiza la superficie de agua en color cian.

Figura 65

Condiciones de contorno de entrada para el puente Cementerio, $T=100$ años

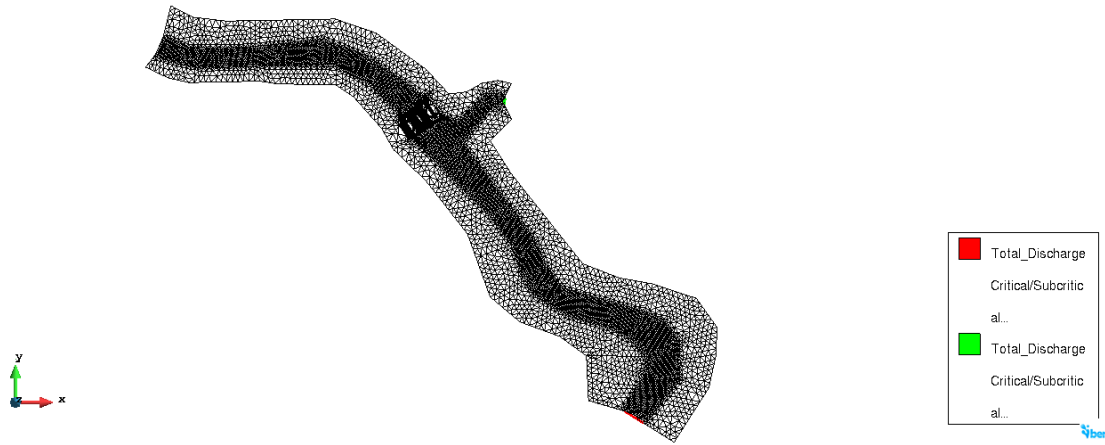


Figura 66

Condiciones de contorno de salida para el puente Cementerio, $T=100$

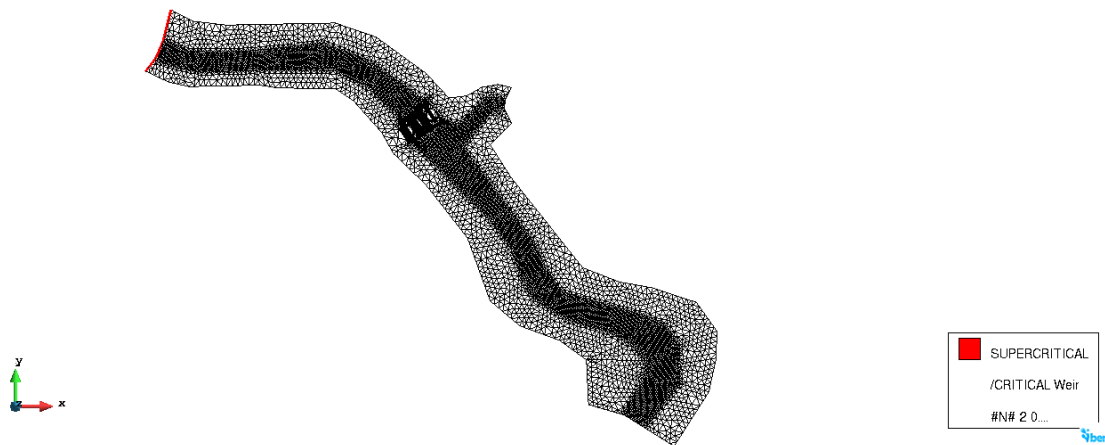


Figura 67

Tramo del río Chotano simulado en Iber para el puente Cementerio, T=100 años

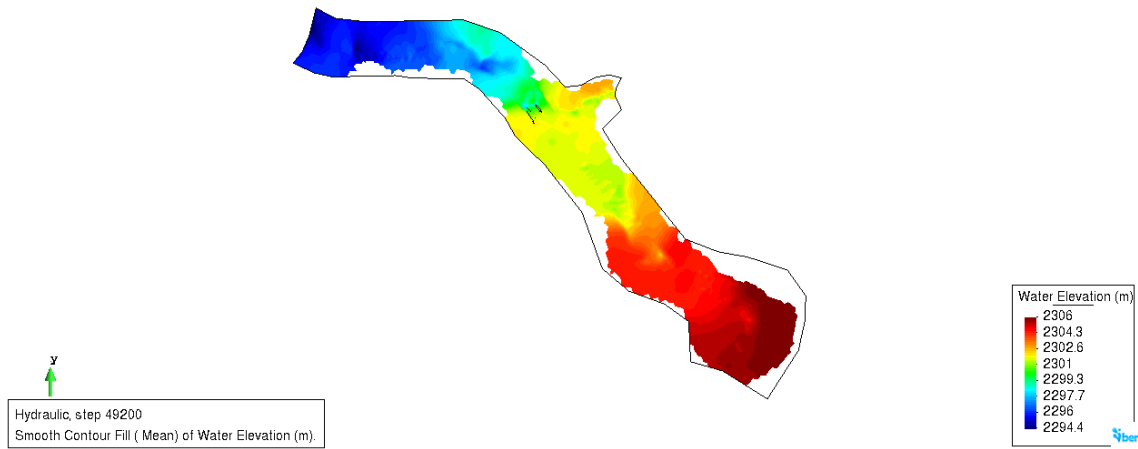
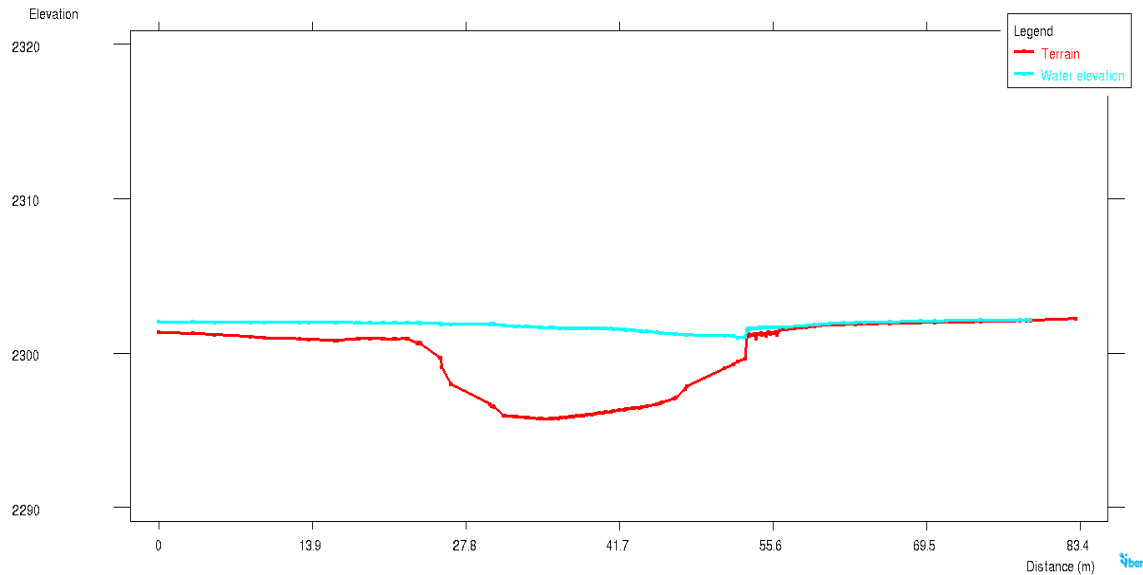


Figura 68

Sección 0 +274.60 inmediatamente aguas arriba del puente Cementerio, T=100 años



Cálculo de la socavación para T= 100 en Iber v.3.3.1. La socavación general por contracción se calculó usando el método de Lischtván y Lebediev (Tabla 45), la socavación local

en estribos se obtuvo mediante el método de Artamonov (Tabla 46), la socavación local en pilas se obtuvo por el método de Froelich (Tabla 47) finalmente se obtuvo la socavación total en estribos (Tabla 48) y la socavación total en pilas (Tabla 49).

Tabla 45

Socavación general por contracción del Cementerio en Iber, T=100 años

Símbolo	Valor	Unidad
Dm =	32.29	mm
ym =	1.74	t/m3
T =	100	años
Qd =	613.5	m3/s
S =	0.020	m/m
n =	0.045	
V =	4.32	m/s
B =	30.00	m
A =	82.40	m2
R =	2.55	m
h =	4.10	m
μ =	0.94	
β =	0.99	
z =	0.31	
ϕ =	2.09	
α =	2.67	
Hs =	5.53	m
Ds =	1.43	m

Tabla 46

Socavación local en pila central del Puente cementerio en Iber, T=100 años

Símbolo	Valor	Unidad
T =	100	años
Fr =	0.95	
a' =	1.4	m
a =	1.4	m
D ₅₀ =	0.029	m

Kf =	0.7	
h =	4.5	m
ds =	2.16	m

Tabla 47

Socavación local en estribos del Puente cementerio en Iber, T=100 años

Símbolo	Estribo derecho	Estribo izquierdo	Unidad
T =	100	100	años
Q _d =	613.5	613.5	m ³ /s
Q _l =	71.90	67.70	m ³ /s
θ =	90	90°	
K _θ =	1.00	1.00	
K _Q =	1.68	1.81	
K _m =	0.96	0.96	
h =	1.00	4.5	m
H _T =	1.81	7.98	m
ds =	0.81	3.48	m

Tabla 48

Socavación total en estribos, T=100

Ubicación del estribo	Valor	unidad
Estribo derecho	2.24	m
Estribo izquierdo	4.91	m

Tabla 49

Socavación total en pila central, T=100

Ubicación del estribo	Valor	unidad
Pila central	3.59	m

Simulación hidráulica para T= 500 años en Iber v.3.3.1. Se definió las condiciones de contorno de entrada asignando el hidrograma correspondiente al periodo de retorno de 100 años (Figura 69), luego se asignó las condiciones de contorno de salida (Figura 70) y finalmente se determinó la duración y el paso de tiempo para el cálculo que se ejecutó seguidamente. En la Figura 71 se visualiza el mapa de elevación de la superficie del agua y en la Figura 72 se muestra la sección 0+216.13 inmediatamente aguas arriba del puente, donde se visualiza la superficie de agua en color cian.

Figura 69

Condiciones de contorno de entrada para el puente Cementerio, T=500 años

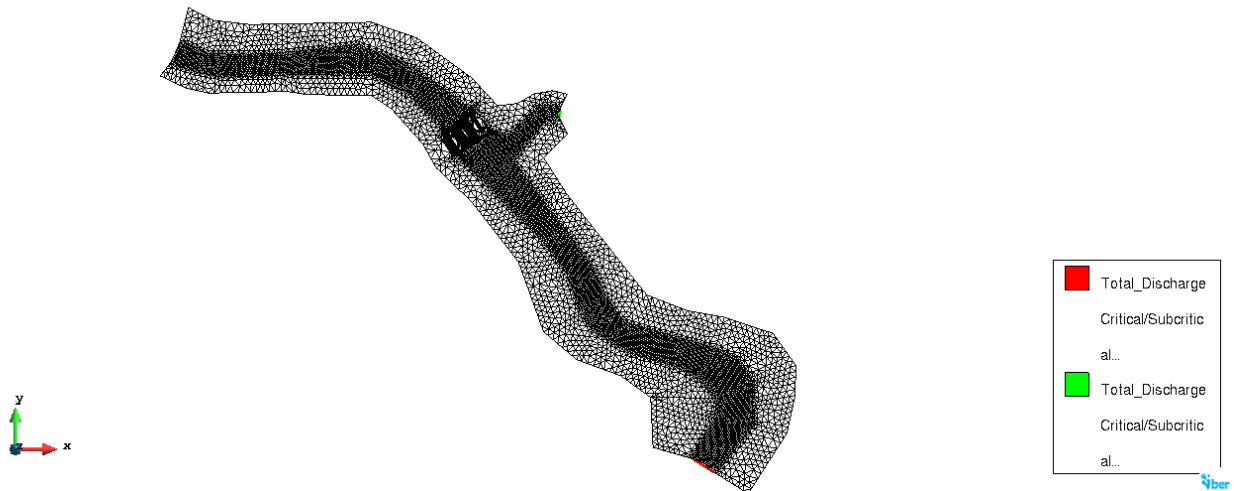


Figura 70

Condiciones de contorno de entrada para el puente Cementerio, $T=500$ años

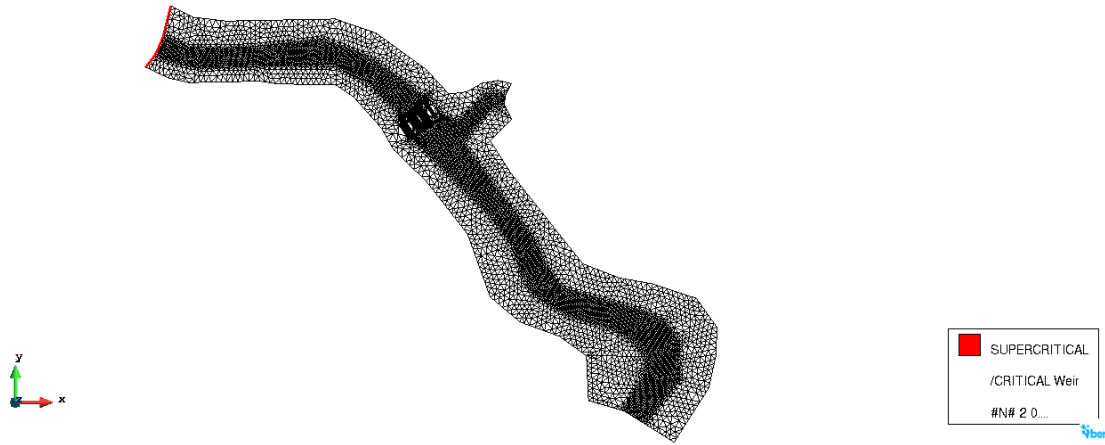


Figura 71

Tramo del río Chotano simulado en Iber para el puente Cementerio, $T=500$ años

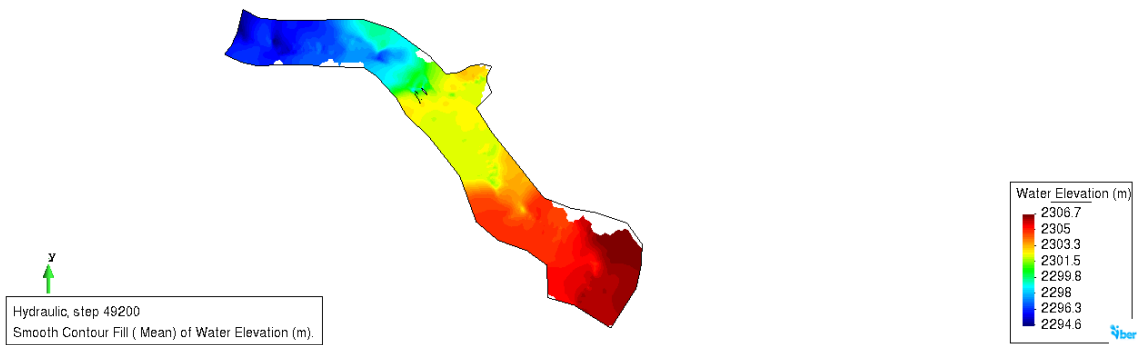
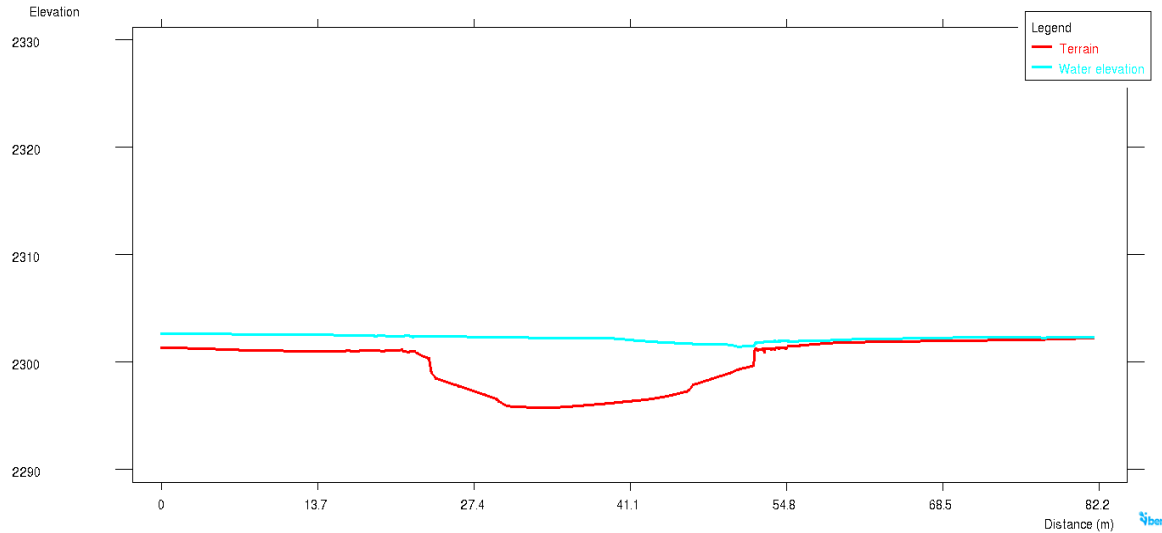


Figura 72

Sección 0 +274.60 inmediatamente aguas arriba del puente Cementerio, T=500 años



Cálculo de la socavación para T= 500 en Iber v.3.3.1. La socavación general por contracción se calculó usando el método de Lischtvan y Lebediev (Tabla 50), la socavación local en estribos se obtuvo mediante el método de Artamonov (Tabla 51), la socavación local en pilas se obtuvo por el método de Froelich (Tabla 52) finalmente se obtuvo la socavación total en estribos (Tabla 53) y la socavación total en pilas (Tabla 54).

Tabla 50

Socavación general por contracción del puente Cementerio en Iber, T=500

Símbolo	Valor	Unidad
Dm =	32.29	mm
γ_m =	1.74	t/m ³
T =	500	años
Qd =	828.4	m ³ /s
S =	0.020	m/m
n =	0.045	
V =	6.41	m/s

B =	30.00	m
A =	82.40	m ²
R =	3.02	m
h =	4.10	m
μ =	0.94	
β =	1.06	
z =	0.31	
ϕ =	2.09	
α =	3.11	
Hs =	5.75	m
Ds =	1.65	m

Tabla 51

Socavación local en pila central

Símbolo	Valor	Unidad
T =	500	años
Fr =	1.0	
a' =	1.4	m
a =	1.4	m
D ₅₀ =	0.029	m
Kf =	0.7	
h =	4.5	m
ds =	2.17	m

Tabla 52

Socavación local en estribos

Símbolo	Estribo derecho	Estribo izquierdo	Unidad
T =	500	500	años
Q _d =	828.4	828.4	m ³ /s
Q ₁ =	97.78	99.85	m ³ /s
θ =	90	90°	
K _{θ} =	1.00	1.00	
K _Q =	1.74	1.87	

$K_m =$	0.96	0.96	
$h =$	1.00	4.50	m
$H_T =$	1.82	8.12	m
$ds =$	0.82	3.62	m

Tabla 53

Socavación total en estribos, T=500

Ubicación del estribo	Valor	unidad
Estribo derecho	2.47	m
Estribo izquierdo	5.27	m

Tabla 54

Socavación total en pila central, T=500

Ubicación del estribo	Valor	unidad
Pila central	3.82	m

En la Tabla 55 se muestra un resumen de los valores de socavación calculados para los caudales de 100 y 500 años de periodo de retorno, medidos desde el fondo de cauce de río, resultando ser mayores a la socavación actual presente en el puente Cementerio (1.65 m. en el estribo derecho y 1.25 en la pila central).

Tabla 55

Resumen de socavación total en el puente Cementerio

Socavación total	T= 100 años		T= 500 años	
	HEC-RAS	Iber	HEC-RAS	Iber
Socavación general por contracción (m)	1.95	1.43	2.56	1.65
Socavación total en estribo izquierdo (m)	5.76	4.91	6.29	5.27
Socavación total en estribo derecho (m)	2.80	2.24	3.47	2.47
Socavación total en pila central (m)	4.06	3.59	4.70	3.82

4.1.3. Niveles de socavación en el Puente Oscar Burga

Simulación hidráulica para T= 100 años en HEC-RAS v.6.5. Se ejecutó el programa HEC-RAS v.6.5 para obtener los resultados del modelamiento del puente Oscar Burga para 100 años de retorno; se puede visualizar los resultados de forma gráfica y tabular, y en base a estos se calculó la socavación local y total. En la Figura 73 se puede visualizar el perfil de flujo (línea de color azul), la línea de energía (color verde) y la línea de tirante crítico (color rojo), determinando así un régimen subcrítico del flujo de agua. En la Figura 74 se muestra flujo a través de la sección hidráulica del puente.

Figura 73

Perfil de flujo para T=100 años en el Puente Oscar Burga

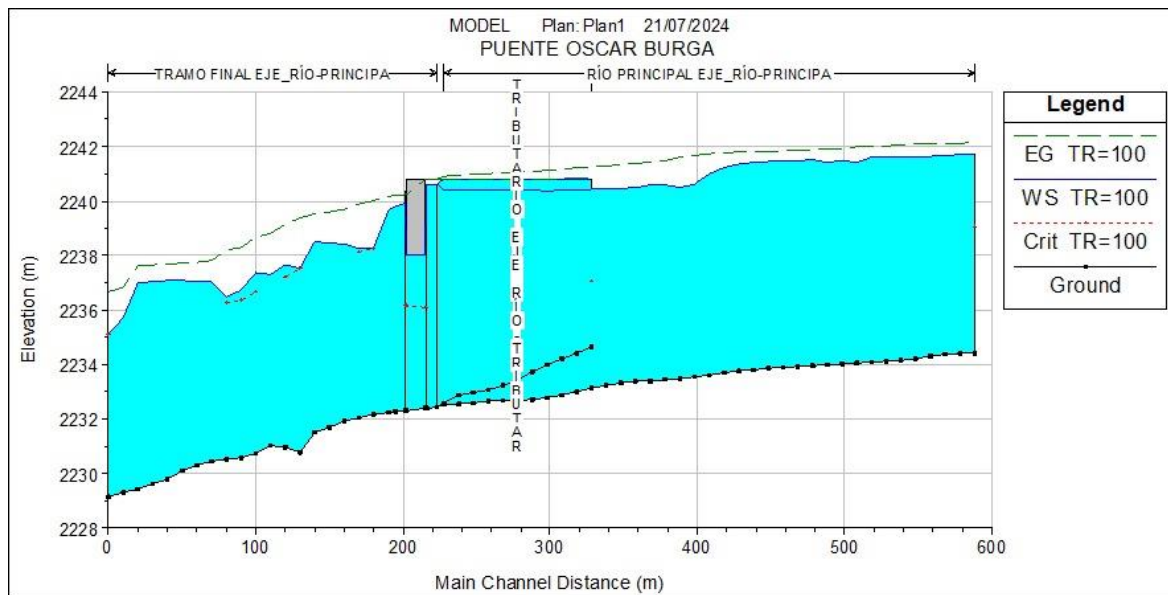
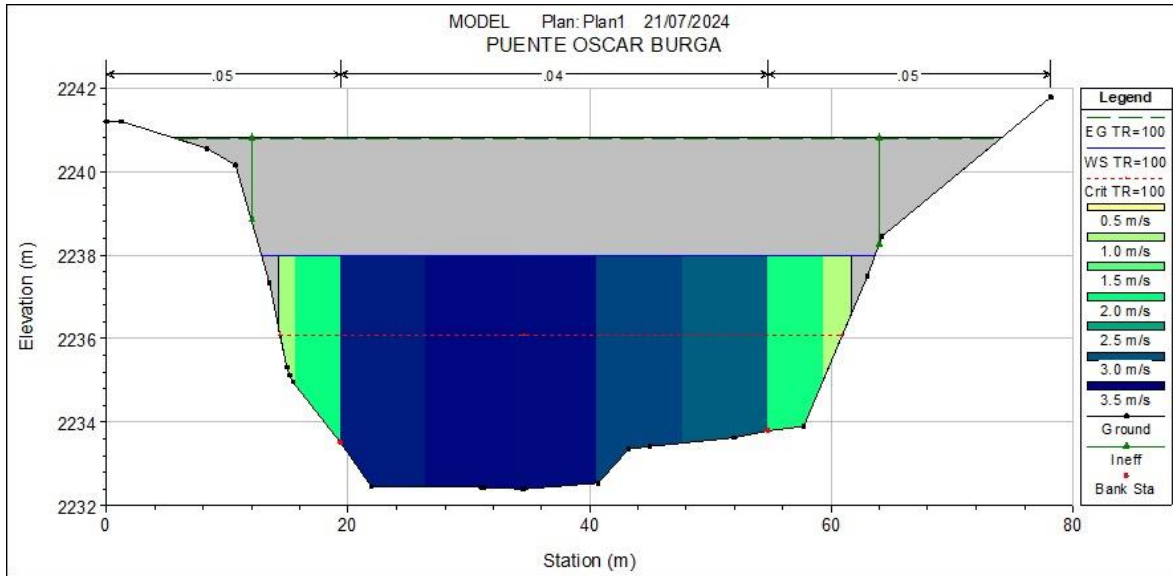


Figura 74

Flujo de agua a través de la sección del puente Oscar Burga, T=100 años



Cálculo de socavación para T=100 año en HEC-RAS v.6.5. La socavación general por contracción se calculó usando el método de Lischtvan y Lebediev (Tabla 56), la socavación local en estribos se obtuvo aplicando el método de Artamonov (Tabla 57), finalmente se obtuvo la socavación total (Tabla 58).

Tabla 56

Socavación general por contracción del Puente Oscar Burga en HEC-RAS, T=100 años

Símbolo	Valor	Unidad
Dm =	30.61	mm
γ_m =	1.72	t/m ³
T =	100	años
Qd =	773.4	m ³ /s
S =	0.015	m/m
n =	0.045	
V =	3.29	m/s
B =	60.00	m

A =	201.48	m ²
R =	1.33	m
h =	5.60	m
μ =	0.98	
β =	0.99	
z =	0.31	
ϕ =	2.06	
α =	2.72	
H _s =	7.28	m
D _s =	1.68	m

Tabla 57

Socavación local en estribos del Puente Oscar Burga en HEC-RAS, T= 100 años

Símbolo	Estribo derecho	Estribo izquierdo	Unidad
T =	100	100	años
Q _d =	773.4	773.4	m ³ /s
Q _l =	106.05	99.42	m ³ /s
Θ =	120°	120°	
K _{Θ} =	1.07	1.07	
K _Q =	2.39	2.33	
K _m =	0.82	0.82	
h =	2.10	2.10	m
H _T =	4.40	4.28	m
d _s =	2.30	2.18	m

Tabla 58

Socavación total en estribos del Puente Oscar Burga en HEC-RAS, T=100 años

Ubicación del estribo	Valor	Unidad
Estribo derecho	3.98	m
Estribo izquierdo	3.86	m

Simulación hidráulica para T= 500 años en HEC-RAS v.6.5. Se ejecutó el programa HEC-RAS v.6.5 para obtener los resultados del modelamiento del puente Oscar Burga para 500

años de retorno; se puede visualizar los resultados en forma gráfica y tabular, y en base a estos se calculó la socavación local y total. En la Figura 75 se puede visualizar el perfil de flujo (línea de color azul), la línea de energía (color verde) y la línea de tirante crítico (color rojo), determinando así un régimen subcrítico del flujo de agua. En la Figura 76 se muestra flujo de agua a través de la sección hidráulica del puente.

Figura 75

Perfil de flujo para T=500 años en el Puente Oscar Burga

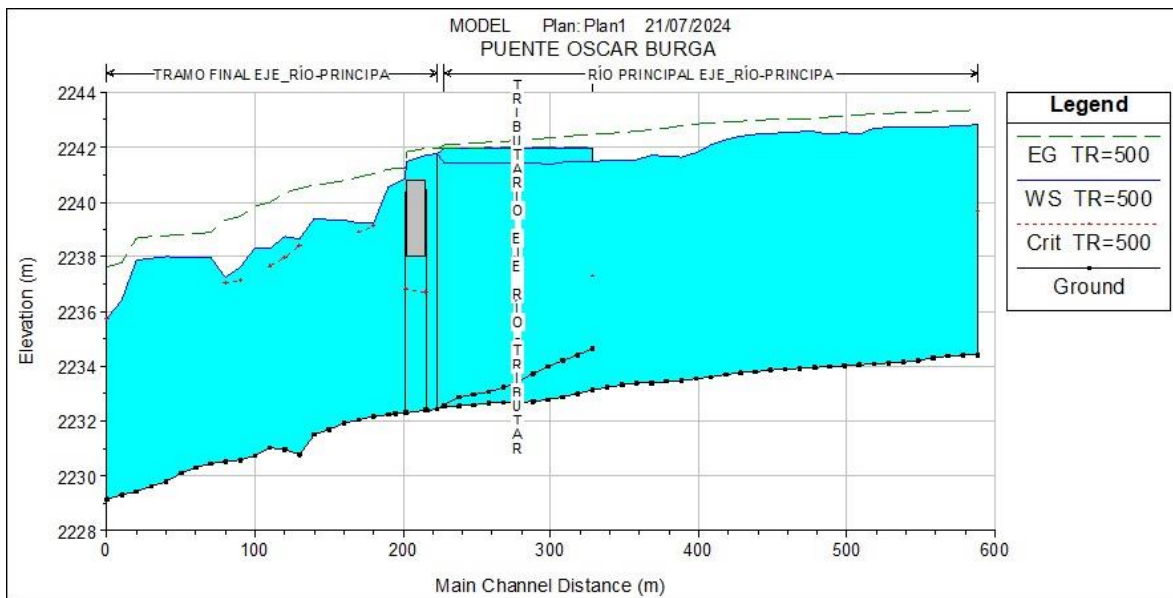
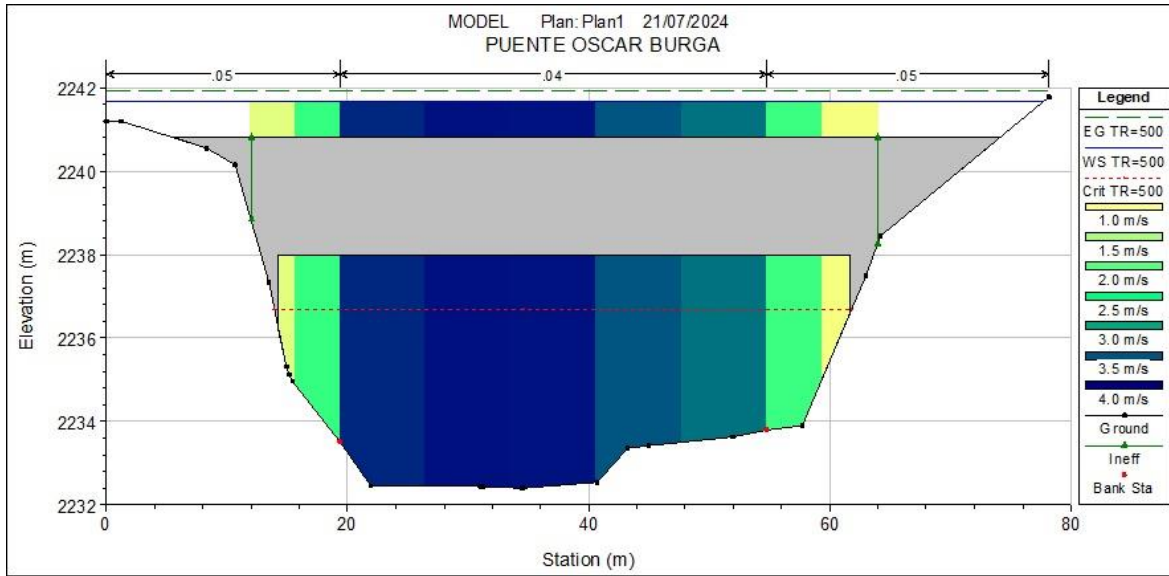


Figura 76

Flujo en la sección aguas arriba del puente Oscar Burga, T=500 años



Resultados de socavación para T=500 años en HEC-RAS v.6.5. La socavación general por contracción se calculó usando el método de Lischtvan y Lebediev (Tabla 59), la socavación local en estribos se obtuvo aplicando el método de Artamonov (Tabla 60), finalmente se obtuvo la socavación total (Tabla 61).

Tabla 59

Socavación general por contracción del Puente Oscar Burga en HEC-RAS, T=500 años

Símbolo	Valor	Unidad
Dm =	30.61	mm
γ_m =	1.72	t/m ³
T =	500	años
Qd =	1052.1	m ³ /s
S =	0.015	m/m
n =	0.045	
V =	3.72	m/s
B =	60.00	m

A =	201.48	m ²
R =	1.60	m
h =	5.60	m
μ =	0.97	
β =	1.06	
z =	0.31	
ϕ =	2.06	
α =	3.18	
Hs =	7.84	m
Ds =	2.24	m

Tabla 60

Socavación local en estribos del Puente Oscar Burga en HEC-RAS, T=500 años

Símbolo	Estribo derecho	Estribo izquierdo	Unidad
T =	500	500	años
Q _d =	1052.1	1052.1	m ³ /s
Q _l =	174.94	163.29	m ³ /s
Θ =	120	120°	
K _{Θ} =	1.07	1.07	
K _Q =	2.65	2.59	
K _m =	0.82	0.82	
h =	2.10	2.10	m
H _T =	4.88	4.76	m
ds =	2.78	2.66	m

Tabla 61

Socavación total en estribos del Puente Oscar Burga en HEC-RAS, T=500 años

Ubicación del estribo	Valor	Unidad
Estribo derecho	5.02	m
Estribo izquierdo	4.90	m

Simulación hidráulica para T= 100 años en Iber v.3.3.1. Se definió las condiciones de contorno de entrada asignando el hidrograma correspondiente al periodo de retorno de 100 años (Figura 78), luego se asignó las condiciones de contorno de salida (Figura 79) y finalmente se determinó la duración y el paso de tiempo para el cálculo que se ejecutó seguidamente. En la Figura 80 se visualiza el mapa de elevación de la superficie del agua y en la Figura 81 se muestra la sección 0+216.13 inmediatamente aguas arriba del puente, donde se visualiza la superficie de agua en color cian.

Figura 77

Condiciones de contorno de entrada para el Puente Oscar Burga, T=100 años

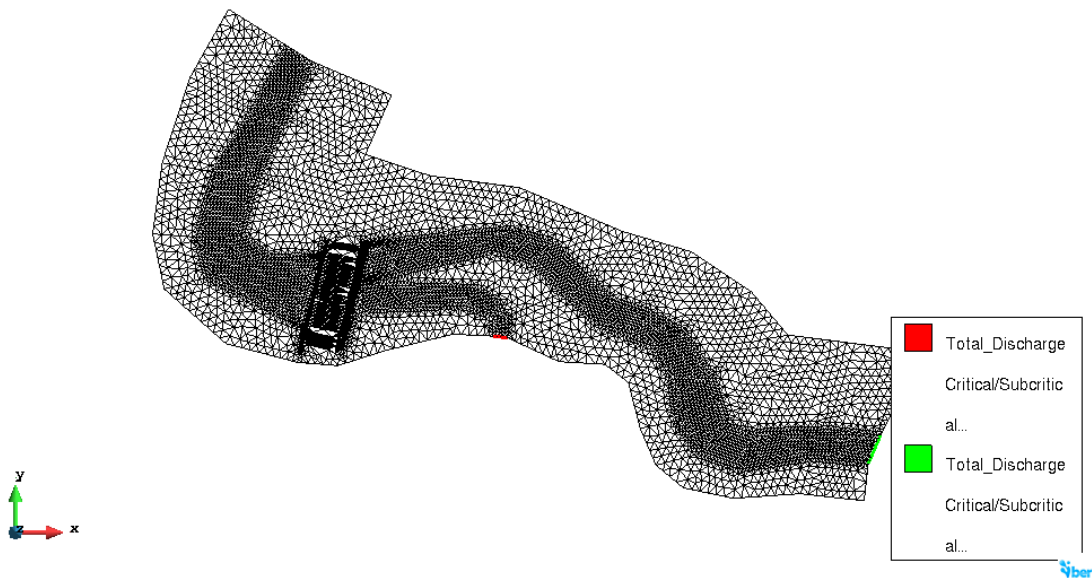


Figura 78

Condiciones de contorno de salida para el puente Oscar Burga, $T=100$

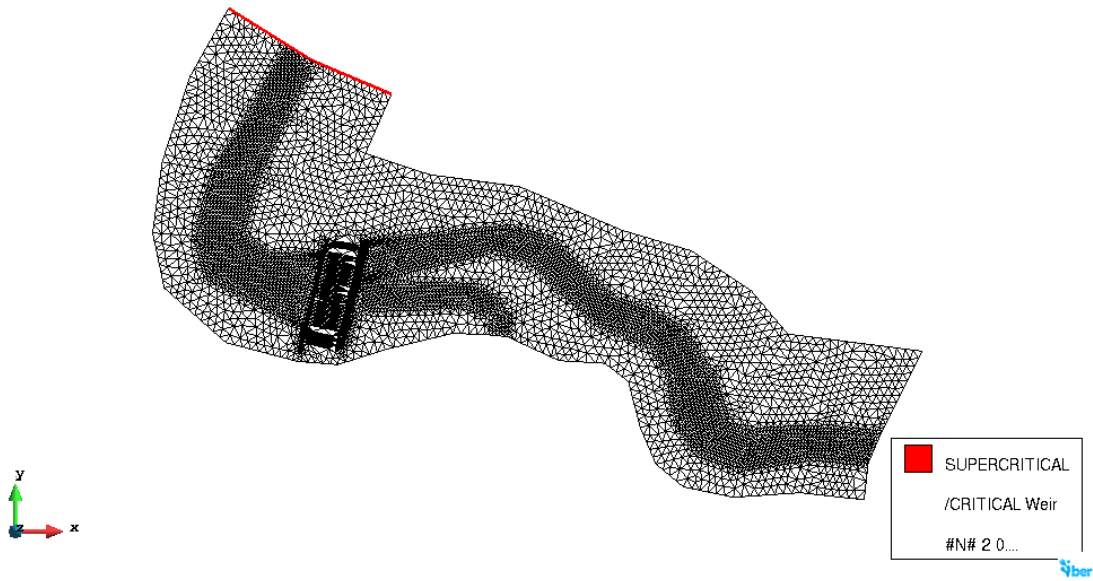


Figura 79

Tramo del río Chotano simulado en Iber para el puente Oscar Burga, $T=100$ años

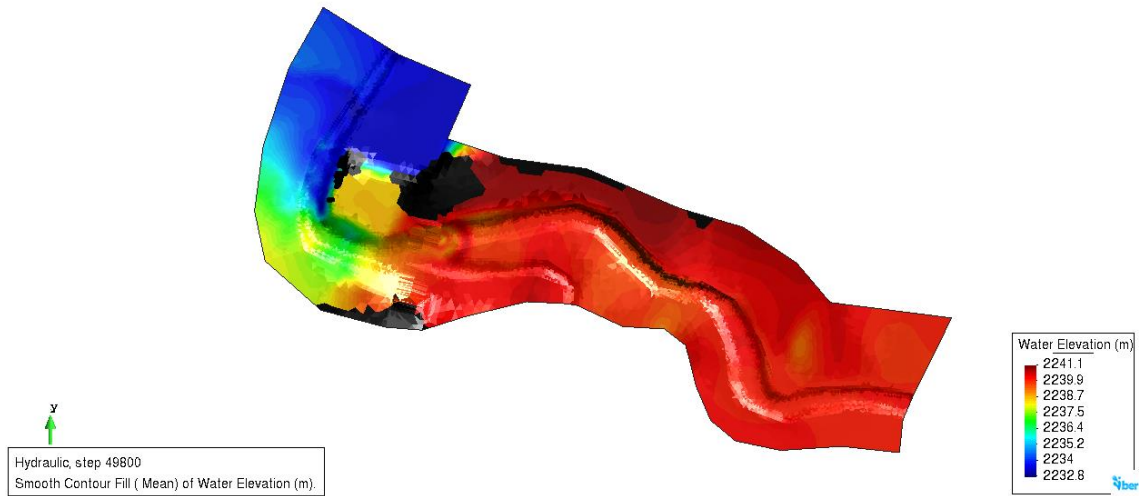
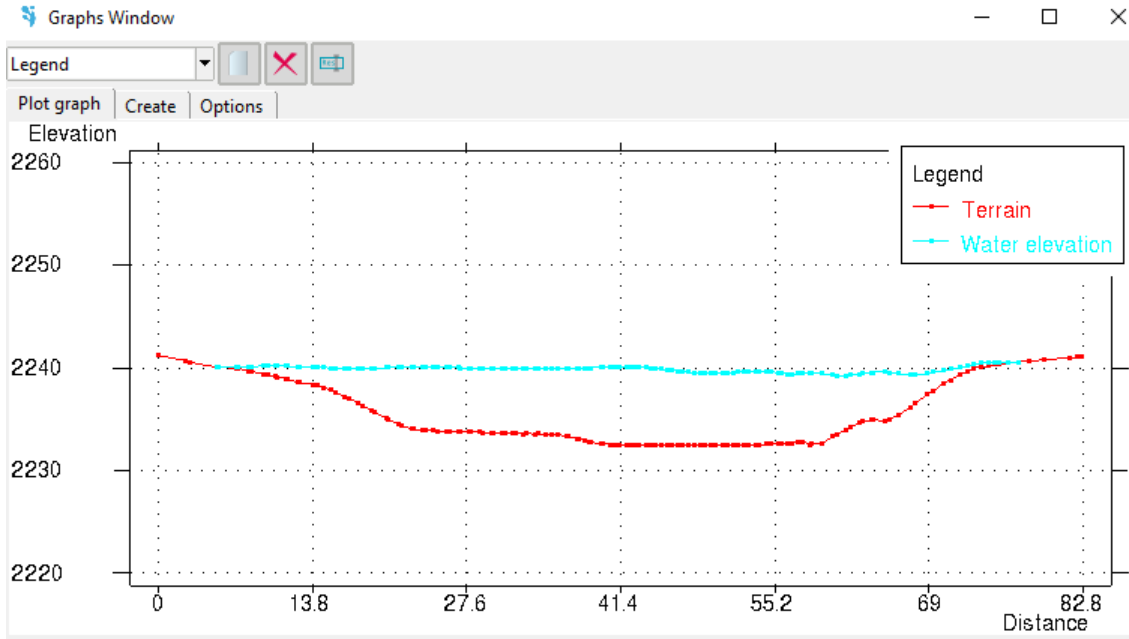


Figura 80

Sección 0 +216.13 inmediatamente aguas arriba del puente Oscar Burga, T=100 años



Cálculo de la socavación para T= 100 en Iber v.3.3.1. La socavación general por contracción se calculó usando el método de Lischtvan y Lebediev (Tabla 62), la socavación local en estribos se obtuvo mediante el método de Artamonov (Tabla 63), finalmente se obtuvo la socavación total (Tabla 64).

Tabla 62

Socavación general por contracción del puente Oscar Burga en Iber, T=100 años

Símbolo	Valor	Unidad
Dm =	30.61	mm
γ_m =	1.72	t/m ³
T =	100	años
Qd =	773.4	m ³ /s
S =	0.015	m/m
n =	0.045	

V =	2.93	m/s
B =	30.00	m
A =	221.95	m ²
R =	1.00	m
h =	5.60	m
μ =	0.98	
β =	0.99	
z =	0.31	
ϕ =	2.06	
α =	2.34	
Hs =	6.77	m
Ds =	1.17	m

Tabla 63

Socavación local en estribos del puente Oscar Burga en Iber, T=100 años

Símbolo	Estribo derecho	Estribo izquierdo	Unidad
T =	100	100	años
Qd =	773.4	773.4	m ³ /s
Q1 =	105.06	104.73	m ³ /s
Θ =	120°	120°	
K θ =	1.07	1.07	
K Q =	2.21	2.18	
Km =	1.00	1.00	
h =	2.10	2.10	m
H T =	4.38	4.27	m
ds =	2.28	2.17	m

Tabla 64

Socavación total en estribos del Puente Oscar Burga en Iber, T=100 años

Ubicación del estribo	Valor	Unidad
Estribo derecho	3.45	m
Estribo izquierdo	3.34	m

Simulación hidráulica para T= 500 años en Iber v.3.3.1. Se definió las condiciones de contorno de entrada asignando el hidrograma correspondiente al periodo de retorno de 500 años (Figura 82), luego se asignó las condiciones de contorno de salida (Figura 83) y finalmente se determinó la duración y el paso de tiempo para el cálculo que se ejecutó seguidamente. En la Figura 84 se visualiza el mapa de elevación de la superficie del agua y en la Figura 85 se muestra la sección 0+216.13 inmediatamente aguas arriba del puente, donde se visualiza la superficie de agua en color cian.

Figura 81

Condiciones de contorno de entrada para el puente Oscar Burga, T=500 años

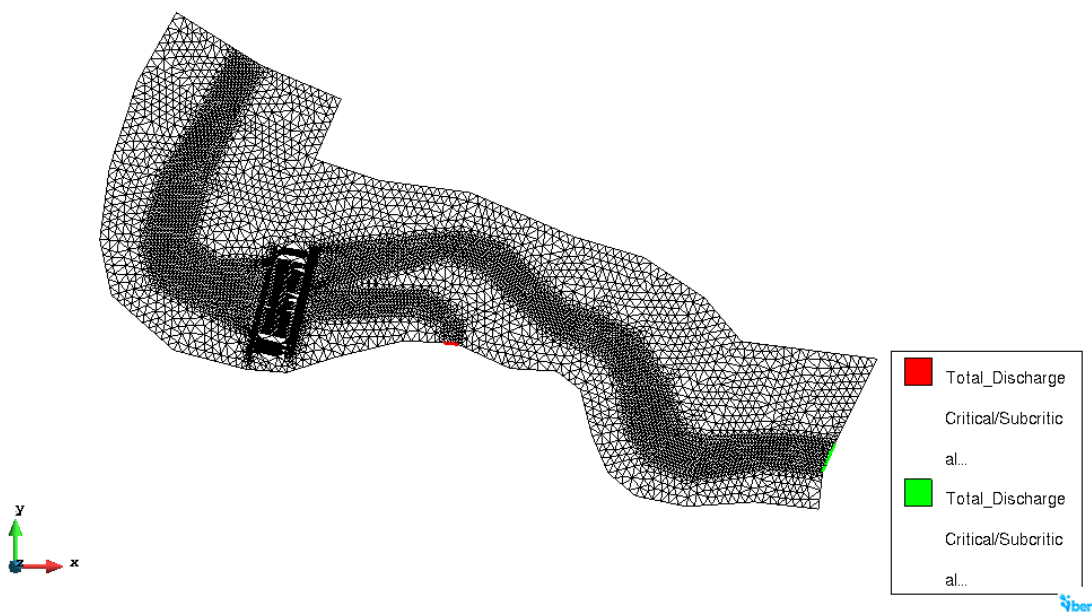


Figura 82

Condiciones de contorno de salida para el puente Oscar Burga, $T=500$ años

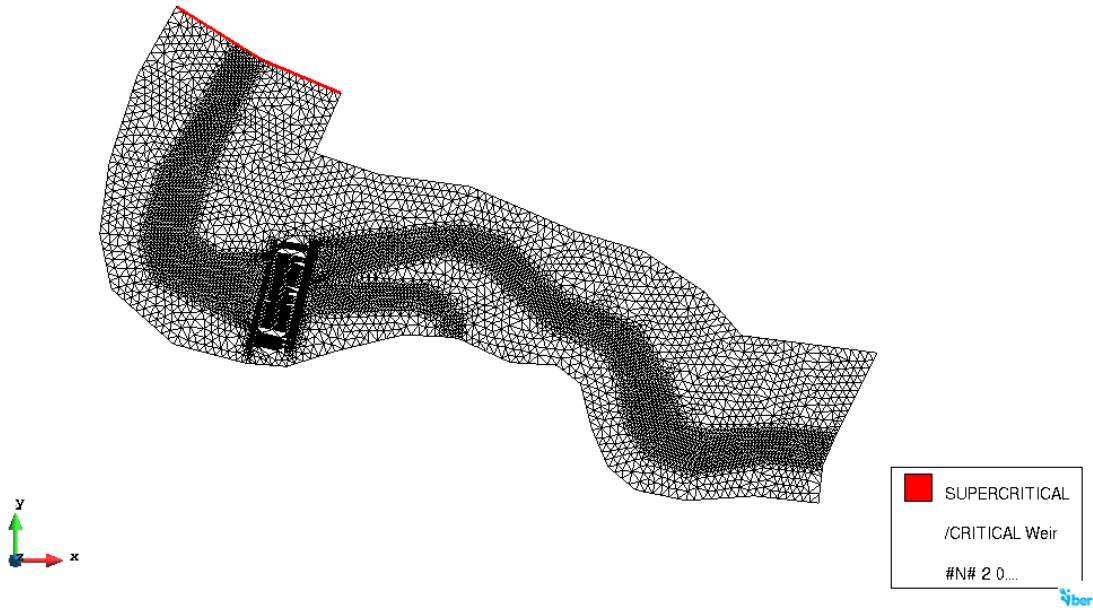


Figura 83

Tramo del río Chotano simulado en Iber para el puente Oscar Burga, $T=500$ años

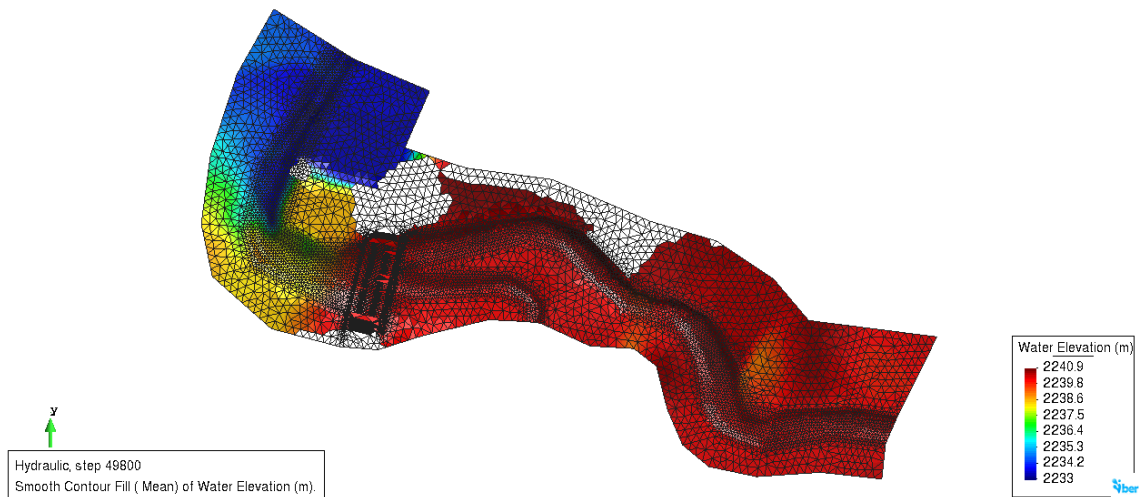
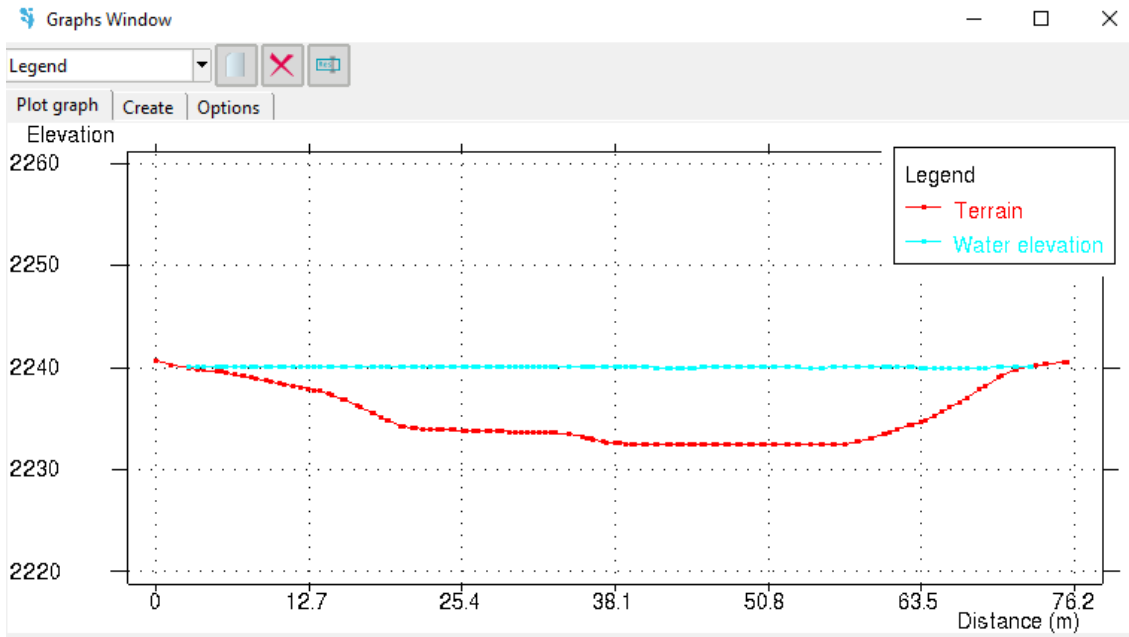


Figura 84

Sección 0 +216.13 inmediatamente aguas arriba del puente Oscar Burga, T=500 años



Cálculo de la socavación para T= 500 en Iber v.3.3.1. La socavación general por contracción se calculó usando el método de Lischtvan y Lebediev (Tabla 65), la socavación local en estribos se obtuvo mediante el método de Artamonov (Tabla 66), finalmente se obtuvo la socavación total (Tabla 67).

Tabla 65

Socavación general por contracción del puente Oscar Burga en Iber, T=500 años

Símbolo	Valor	Unidad
Dm =	30.61	mm
ym =	1.72	t/m3
T =	500	años
Qd =	1052.1	m3/s
S =	0.015	m/m
n =	0.045	
V =	3.99	m/s
B =	60.00	m
A =	221.48	m2

R =	1.17	m
h =	5.60	m
μ =	0.98	
β =	1.06	
z =	0.31	
ϕ =	2.06	
α =	2.73	
Hs =	7.23	m
Ds =	1.63	m

Tabla 66

Socavación local en estribos del puente Oscar Burga en Iber, T=500 años

Símbolo	Estribo derecho	Estribo izquierdo	Unidad
T =	500	500	años
Qd =	1052.1	1052.1	m ³ /s
Q1 =	173.54	162.17	m ³ /s
Θ =	120°	120°	
K Θ =	1.07	1.07	
K _Q =	2.53	2.51	
K _m =	1.00	1.00	
h =	2.10	2.10	m
H _T =	4.80	4.71	m
ds =	2.70	2.61	m

Tabla 67

Socavación total en estribos del puente Oscar Burga en Iber, T=500 años

Ubicación del estribo	Valor	Unidad
Estribo derecho	4.33	m
Estribo izquierdo	4.24	m

En la Tabla 68 se muestra un resumen de los valores de socavación calculados en la sección hidráulica del puente Oscar Burga, para los caudales de avenida de 100 y 500 años de periodo de retorno.

Tabla 68*Resumen de socavación total en el puente Oscar Burga*

Socavación total	T= 100 años		T= 500 años	
	HEC-RAS	Iber	HEC-RAS	Iber
Socavación general por contracción (m)	1.68	1.17	2.24	1.63
Socavación total en estribo izquierdo (m)	3.86	3.34	4.90	4.24
Socavación total en estribo derecho (m)	3.98	3.45	5.02	4.33

4.2. Contrastación de hipótesis

Para la contrastación de hipótesis se utilizó la Prueba de t de Student para una muestra empleando el programa Minitab 19. En base al criterio técnico de los tesisas evaluadores, para verificar si los niveles de socavación son altos o bajos se estableció como valores objetivos de comparación las profundidades medidas desde el lecho del río hasta la mitad de la altura de cimentación de los elementos subestructurales de los puente, que son los siguientes: en el puente Cementerio, de 0.00 m para el estribo izquierdo, 0.47 m para el pilar y de 1.67 m para el estribo derecho; asimismo en el puente Oscar Burga, de 2.73 m para el estribo izquierdo y de 2.24 m para el estribo derecho. Estos valores sirvieron como objetivo de comparación para aceptar la hipótesis nula (H_0) o rechazarla y aceptar la hipótesis alternativa (H_1). Las hipótesis son las siguientes.

- **H₀**. Los niveles de socavación local en el puente Cementerio y puente Oscar Burga son altos.
- **H₁**. Los niveles de socavación local en el puente Cementerio y puente Oscar Burga son bajos.

Es importante mencionar que los valores de socavación local para la contrastación de hipótesis se obtuvieron promediando los niveles de socavación obtenidos mediante el programa HEC-RAS y el programa Iber para lograr una mayor certidumbre en los datos y resultados. Se

asumió un nivel de significación del 5% para la prueba de hipótesis en todos los casos, si el valor-p es menor que el valor de significancia se acepta la hipótesis nula, de lo contrario, se la rechaza y se acepta la hipótesis alternativa.

En la figura 85 se verifica que el valor-p calculado es 0.001, por lo que se acepta la hipótesis nula (H_0) y se concluye que la socavación alrededor del estribo izquierdo del puente Cementerio es alta.

En la figura 86 se verifica que el valor-p calculado es 0.014, por lo que se acepta la hipótesis nula (H_0) y se concluye que la socavación alrededor del estribo derecho del puente Cementerio es alta.

En la figura 87 se verifica que el valor-p calculado es 0,001 por lo que se acepta la hipótesis nula (H_0) y se concluye que la socavación alrededor de la pila central del puente Cementerio es alta.

En la figura 88 se verifica que el valor-p calculado es 0.013, por lo que se acepta la hipótesis nula (H_0) y se concluye que la socavación alrededor del estribo izquierdo del puente Oscar Burga es alta.

En la figura 89 se verifica que el valor-p calculado es 0.005, por lo que se acepta la hipótesis nula (H_0) y se concluye que la socavación alrededor del estribo derecho del puente Oscar Burga es alta.

Figura 85

Prueba de hipótesis para la socavación local en el estribo izquierdo del puente Cementerio

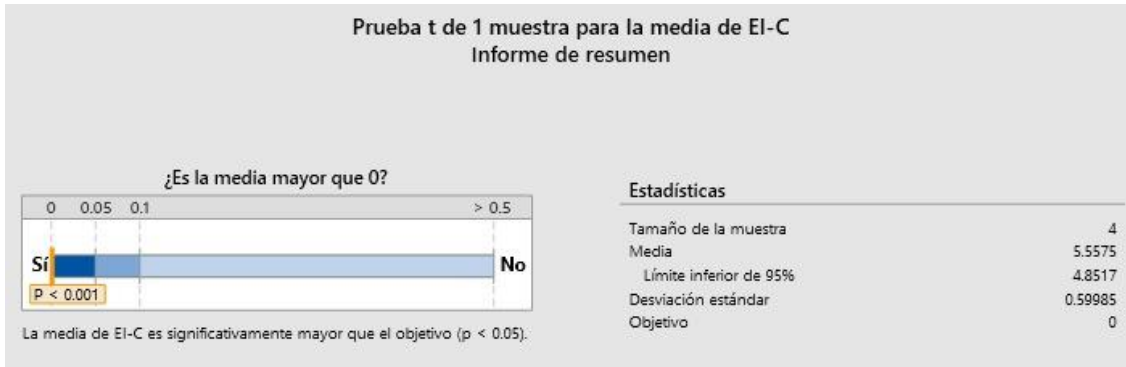


Figura 86

Prueba de hipótesis para la socavación local en el estribo derecho del puente Cementerio

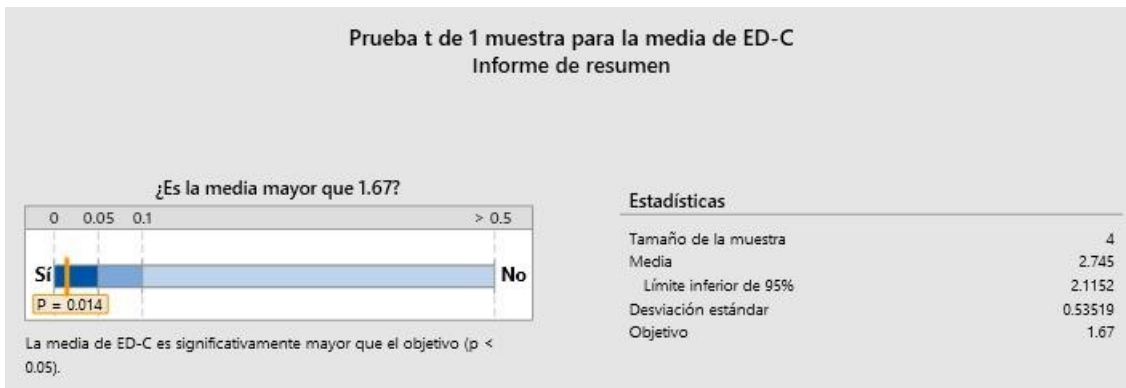


Figura 87

Prueba de hipótesis para la socavación local en la pila central del puente Cementerio

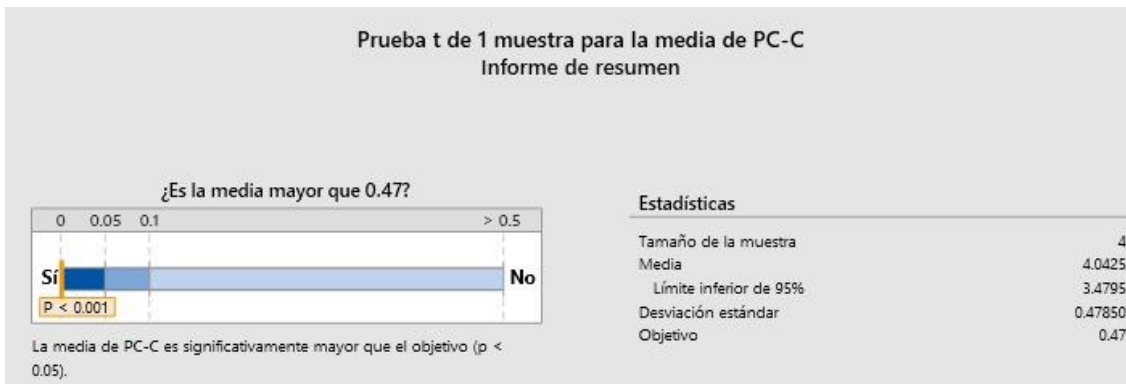


Figura 88

Prueba de hipótesis para la socavación local en el estribo izquierdo del puente Oscar Burga

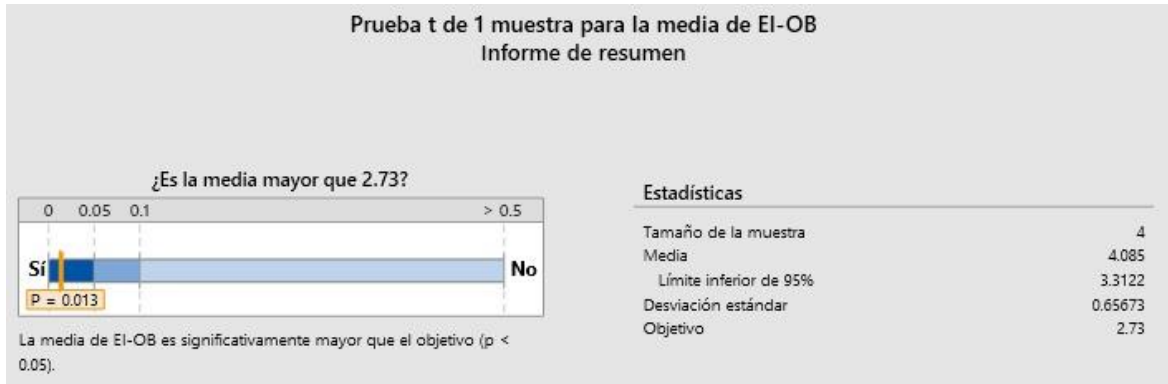
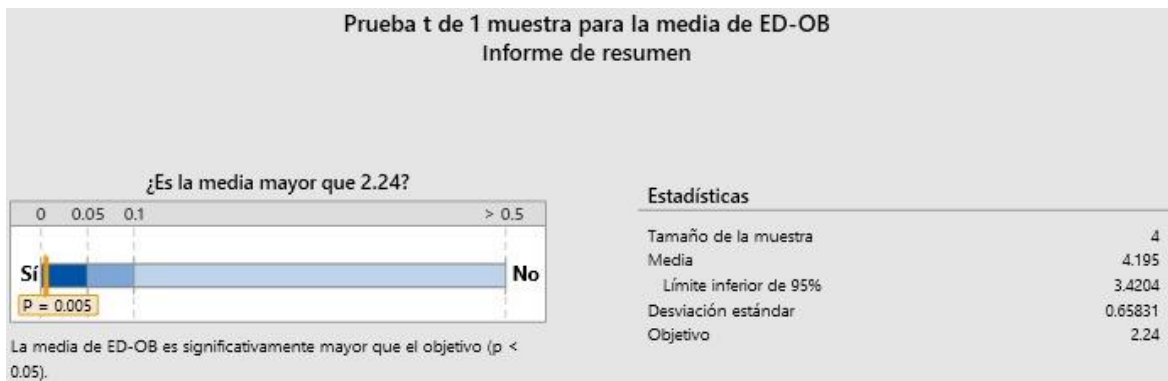


Figura 89

Prueba de hipótesis para la socavación local en el estribo derecho del puente Oscar Burga.



4.3. Discusión de resultados

Los caudales máximos obtenidos mediante modelamiento hidrológico que atravesarían los puentes Cementerio y Oscar Burga para un tiempo de retorno de 100 años, son: 613.5 y 773.4 m³/s respectivamente, con estos caudales, la elevación del agua en dichos puentes llegaría a las siguientes cotas: 2302.53 y 2239.06 m.s.n.m., superando las cotas actuales de la parte inferior del tablero, que son: 2301.10 y 2238.20 msnm, respectivamente.

Lo anterior significa que, de presentarse un evento extraordinario, el riesgo de daños en la estabilidad de las estructuras sería alto, resultados similares al estudio realizado sobre el río Zarumilla por Talledo & Noriega (2019), quienes concluyeron que la vulnerabilidad del puente Bolsicos es alta para un período de retorno de 100 años y para una avenida extraordinaria de $1430.60 \text{ m}^3/\text{s}$, ya que con este caudal se superarían los niveles del tablero inferior del puente. De igual manera, Chura (2022) al estimar un caudal extraordinario de $292.43 \text{ m}^3/\text{s}$ para el mismo tiempo de retorno, concluyó que la estructura del puente Sewencari sobre el río Huallatiri en Bolivia, no presenta ningún riesgo.

Para un periodo de retorno de 500 años, la profundidad de socavación promedio en el puente Cementerio es de 4.26 m en el pilar central, 5.78 m en el estribo izquierdo y 2.97 m en el estribo derecho. En el puente Oscar burga, los niveles de socavación están alrededor de 4.57 m para el estribo izquierdo y 4.67 m para el estribo derecho. Estos valores de socavación local son altos, lo que podría afectar la estabilidad de los susodichos puentes, similar a los resultados encontrados por Bardales y Concepción (2014) referentes a los puentes Potrero y Maygasbamba en la provincia de Bambamarca, estimando que el puente Potrero tendría una socavación local de 3.74 m en el estribo izquierdo y 7.89 m en el estribo derecho y, para el puente Maygasbamba la socavación local sería de 4.07 m en el estribo izquierdo y 1.39 m en el estribo derecho, representando serio peligro para su estabilidad; además, nuestro estudio difiere con el realizado por Avalos y Zegarra (2018), quienes se propusieron demostrar que la derivación del caudal de la quebrada San Idelfonso hacia el cauce del río Moche influiría en aumento de la socavación local del puente Moche, obteniendo como resultados 0.1 m de socavación general, 1.24 m de socavación local en pilas y 1.6 m de socavación local alrededor de los estribos, concluyendo que no se presentarían niveles de riesgo importantes de socavación en el puente Moche.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se han empleado tres métodos empíricos: Lischtván-Lebediev (socavación general por contracción), Froehlich (socavación local en pilas), y el de Artamonov (socavación local en estribos); estos han sido aplicados en base los resultados del modelamiento hidráulico ejecutado en HEC-RAS v.6.5 y en Iber v.3.3.1. Los resultados de los niveles de socavación para el puente Cementerio empleado los modelos HEC-RAS v.6.5 e Iber v.3.3 respectivamente, fueron : de 2.56 m y 1.65 m de socavación por contracción, de 4.70 m y 3.82 m de socavación local en la pila central, de 6.29 m y 5.27 m de socavación local en el estribo izquierdo y, de 3.47 m y 2.47 m de socavación local en el estribo derecho. Asimismo, para el puente Oscar Burga los niveles de socavación empleado los modelos HEC-RAS v.6.5 e Iber v.3.3 respectivamente, fueron: de 2.40 m y 1.63 m de socavación por contracción, de 4.90 m y 4.24 m de socavación local en el estribo izquierdo y, de 5.02 m y 4.33 m de socavación local en el estribo. Del análisis de estos resultados se puede concluir que, los niveles de socavación son altos y que el riesgo a que los puentes, especialmente el puente Cementerio, sufran inestabilidad estructural e incluso lleguen al colapso, también es alto.
- Los caudales máximos estimados a través del HEC-HMS v.4.11 en el puente Cementerio son de 613.5 m³/s para T= 100 años y de 828.4 m³/s para T= 500 años; de la misma manera, en el puente Oscar Burga, son de 773.4 m³/s para T= 100 años y de 1052.1 m³/s para T= 500 años. Con estos caudales, el NAME estaría superando la cota inferior del tablero de cada puente, lo que desde ya significa un peligro para la estabilidad de dichos puentes.
- Tanto el modelo unidimensional HEC-RAS v.6.5 como el modelo bidimensional Iber

v.3.3.1 son apropiados para el cálculo de la socavación, ya que muestran resultados que no presentan diferencias significativas, pero se diferencian notablemente en el tiempo que tardan en la simulación de flujo, llevando la ventaja en este caso, HEC-RAS v.6.5.

- El enrocado como medida de protección contra la socavación local en pilas y estribos, especialmente en el puente Cementerio, ayudaría a reducir el nivel de riesgo de la estructura cuando ocurra una avenida extraordinaria, ya que funciona como una estructura rígida que estabiliza el lecho fluvial ante el influjo erosivo de la corriente.

5.2. Recomendaciones

- Recomendar al Instituto Vial Provincial (I.V.P.) de la Municipalidad Provincial de Chota, prever la manera de invertir en la propuesta del enrocado de protección del Puente Cementerio.
- Si se requiere un modelamiento de flujo rápido y a la vez obtener las profundidades de socavación, se recomienda emplear el programa HEC-RAS v.6.5, ya que en hidrodinámica unidimensional sus resultados no difieren mucho de la realidad y cuenta con un módulo de cálculo de socavación que evita realizar cálculos laboriosos manualmente.
- Se recomienda que los equipos de laboratorio para los ensayos de suelos se encuentren en óptimas condiciones de uso para obtener datos verídicos.

VI. REFERENCIAS

- Alarcón, T., & Ramirez, G. (2016). *Investigación de la Falla Hidráulica del Puente Bella Unión para el Análisis Comparativo de Costo de Falla y Costos de Prevención, Brindando Lineamientos Para el Análisis del Fenómeno de Socavación en otros Puentes [Tesis de Titulación, UPC]*. Repositorio Institucional de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Perú. Recuperado el 13 de julio de 2022, de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/620548>
- Apaclla, R. (2014). *Hidráulica Fluvial*. Lima. Obtenido de <https://acortar.link/50If4>
- Avalos, C., & Zegarra, J. (2018). *Evaluación de la socavación que producirá en pilares y estribos del puente moche, la derivación del caudal de la quebrada San Idelfonso [Tesis de Titulación, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio Institucional de la Universidad Privada del Norte, Perú. Recuperado el 20 de julio de 2022, de <https://acortar.link/JSUMa3>
- Bardales, Y., & Concepción, L. (2014). *Modelamiento hidrológico e hidráulico aplicado al cálculo de socavación en Puentes Potrero (km 165+527.00) y Maygasbamba (km 197+688.15), ubicados en carretera Chota – Bambamarca – Hualgayoc [Tesis de Titulación, Universidad Privada Antenor Orrego]*. Repositorio Institucional de la Universidad Privada Antenor Orrego, Perú. Recuperado el 24 de julio de 2022, de <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/691>
- Castillo, G., & Ramírez, S. (2017). *Estudio hidrológico e hidráulico para el diseño del puente Pucayacu, localizado en el tramo: Mayocc-Huanta en la progresiva 3+200, aplicando los softwares HEC-HMS e Iber v2.0 [Tesis de Titulación, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]*. Repositorio Institucional de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú. Recuperado el 26 de marzo de 2023, de <https://n9.cl/jnzwt>

- Chow, V. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Bogotá. Recuperado el 18 de Febrero de 2023, de <https://acortar.link/LmZCq8>
- Chura, I. (2022). *Diseño hidrológico inicial de verificación para la altura de emplazamiento de la superestructura del puente Sewencani sobre el río Huallatiri [Trabajo de Grado de Licenciatura, Universidad Mayor de San Andrés]*. Repositorio Institucional de la Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. Recuperado el 26 de marzo de 2023, de <https://n9.cl/b71c9>
- Encalada, J., & Jara, R. (2010). *Implementación del modelo hidráulico HECGeoRAS en la modelación hidráulica del sistema para el control de inundaciones de los ríos Cañar y Bulubulu [Tesis para optar el título de ingeniero Civil, Universidad de Cuenca]*. Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. Recuperado el 17 de Noviembre de 2022, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/730>
- Felipe, E. (2016). *Socavación Producida por el río Huallaga al Puente Colpa Alta en la Provincia de Húanuco, Utilizando los Métodos de Artamanov, Straub y Maza, en el HEC-RAS [Tesis de Maestría, Universidad de Piura]*. Repositorio Institucional de la Universidad de Piura. Recuperado el 15 de Octubre de 2022, de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2627>
- French, R. (1988). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Recuperado el 22 de Noviembre de 2022
- Gálvez, N., & Velásquez, A. (2018). *Diseño hidráulico y estructural del botador el aluvión para el control de las aguas en tiempos de lluvia en el distrito de Ascope La Libertad - Perú [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil]*. Repositorio institucional de la Universidad Privada Antenor Orrego - UPAO, Trujillo, La Libertad, Perú. Recuperado el 14 de Abril de 2023, de <https://hdl.handle.net/20.500.12759/4448>

- Giménez, E. (2015). *Ética de la Ingeniería Civil Reflexiones sobre el Estado Actual*. España. Recuperado el 23 de Octubre de 2022, de <https://lc.cx/Oq4H39>
- Guevara, M. (2016). *Socavación en puentes*. Popayán, Colombia. Recuperado el 18 de Noviembre de 2022, de www.hidrojing.com/wp-content/uploads/Bibliografia/19_SOCAVACION_PUENTES_3_CALCULO.pdf
- Guevara, M. (2021). *Socavación en Puentes; Evaluación, Instrumentación y Cálculo*. Popayán, Colombia. Recuperado el Octubre de julio de 2022, de https://lc.cx/07_hq8
- Hernández, R., Fernández , C., & Bautista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México. Recuperado el 23 de Noviembre de 2022, de www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf
- López, G. (2013). *Erosión local en pilas de puentes : evolución temporal y enfoque probabilístico [Tesis de Doctorado, Universidad de la República]*. Repositorio Institucional de la Universidad de la República, Montevideo. Recuperado el 2 de Noviembre de 2022, de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/20639>
- Mejía, J. (2017). *Transporte de Sedimentos en Ríos Aluviales*. Lima. Recuperado el 22 de Noviembre de 2022, de <https://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/TRANSPORTE-DE-SEDIMENTOS.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones . (2012). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje* . Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Puentes* . Lima.
- Mulino Ramos, E. (2020). *Aspectos Éticos en la Formación del Ingeniero Civil. Una Visión Fenomenológica Hermenéutica*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2022, de

[https://www.grupocieg.org/archivos_revista/Ed.48\(100-114\)-
Mulino%20Esther_articulo_id749.pdf](https://www.grupocieg.org/archivos_revista/Ed.48(100-114)-Mulino%20Esther_articulo_id749.pdf)

Ochoa, T. (2017). *Hidrología Hidráulica y Socavación en puentes*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 3 de Noviembre de 2022, de <https://onx.la/6acce>

Paz, O. (2017). Puente cayó pese a que Rímac no llegó al caudal máximo histórico. *El Comercio*. Obtenido de <https://acortar.link/I2fino>

Reyes, C., & Reyes, J. (2020). *Determinación de la Socavación para las Pilas del Puente Localizado en el Municipio de Rioscuso Caldas [Tesis para optar el título de Especialista en Recursos Hídricos, Universidad Católica de Colombia]*. Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia. Recuperado el 21 de Octubre de 2022, de <https://hdl.handle.net/10983/24573>

Rincón, M., Vargas, W., & González, C. (2017). *Topografía: conceptos y aplicaciones*. Bogotá. Recuperado el 15 de Abril de 2023, de <https://books.google.com.pe/books?id=3K5JDwAAQBAJ&printsec=frontcover&#v=onepage&q&f=false>

Rocha, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica Fluvial*. Lima, Perú. Recuperado el 12 de Noviembre de 2022, de <https://onx.la/76cb5>

Rocha, A. (2013). *Introducción a la Hidráulica de Obras Viales*. Lima. Recuperado el 20 de Noviembre de 2022, de <https://n9.cl/cowll9>

Rodriguez, R., & Yataco, G. (2021). *Comparación de modelos numéricos 1D y 2D en el análisis de socavación total en el puente Huallaga.[Tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]*. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú. Recuperado el 18 de Marzo de 2023, de

<http://hdl.handle.net/10757/654632>

Taco, M. (2022). *Análisis hidrológico e hidráulico para el diseño del puente Chanchara en el departamento de Ayacucho [Monografía Técnica de Titulación, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]*. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Recuperado el 26 de marzo de 2023, de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/discover>

Talledo, C., & Noriega, A. (2019). *Vulnerabilidad de la sección hidráulica del puente Bolsico para soportar caudales de crecidas extraordinarias del río Zarumilla - 2019 [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Tumbes]*. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Tumbes. Recuperado el 13 de Octubre de 2022, de <http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/444>

Tenorio, J., & Valdera, C. (2021). *Niveles de Socavación Mediante Modelamiento Hidráulico en los Puentes "el Callejón, la Rinconada y Chonta" Ubicados en el río Chonta - Cajamarca [Tesis de Titulación, Universidad Privada del Norte]*. Repositorio Institucional de Universidad Privada del Norte. Recuperado el 15 de Octubre de 2022, de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25366>

Vásquez, A., Mejía, A., Faustino, J., Terán, R., Vásquez, I., Diaz, J., . . . Alcántara , J. (2016). *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas*. Lima. Recuperado el 19 de Noviembre de 2022, de https://www.academia.edu/45664011/MANEJO_Y_GESTI%C3%93N_DE_CUENCAS_HIDROGR%C3%81FICAS_Universidad_Nacional_Agraria_La_Molina

Villa, J., Álvarez, C., Silva, H., Herrera , J., & Campa, A. (2019). Medidas de Protección contra la Socavación en Columnas y Columnas de Puentes. *Revista De Investigación Científica*

De La Facultad De Ingeniería De La Universidad Autónoma De Chihuahua, 10-11.

Villóm, M. (2002). *Hidrología*. Cartago. Recuperado el 17 de Noviembre de 2022, de <https://www.hidrosm.com/2021/01/libro-hidrologia-maximo-villon-bejar.html>

VII.ANEXOS

Anexo 1. Propuesta de solución

1.1. Formulación de propuesta para la solución del problema

Guevara (2016) describe que:

Las medidas de protección se emplean para controlar, demorar, minimizar o monitorear problemas de estabilidad de cauces y puentes. Además, la solución al problema de socavación de un puente debe empezarse con el estudio de las causas que lo generan, incluyendo aspectos desestabilizantes desde el punto de vista topográfico, hidrológico, hidráulico, estructural y de suelos.

La protección del puente frente a la socavación requiere tomar las medidas más adecuadas a cada situación concreta de la realidad con la finalidad de reducir la vulnerabilidad a daños durante las crecidas. De acuerdo con Guevara (2016), las dos formas más comunes para la protección local contra la socavación de un puente ya construido son:

- Mejorar las condiciones del material existente para resistir la socavación, lo cual se logra generalmente con el uso de enrocados en la base de pilas y estribos
- Reducir el potencial erosivo de la corriente al pie de pilas y estribos. Esto, para el caso de estribos, se logra mediante la construcción de diques de encauzamiento que se proyectan tanto aguas arriba como aguas abajo de la estructura.

La profundidad del enrocado será la profundidad que alcanza la socavación general por contracción, según las recomendaciones del MTC.

1.2. Enrocado al pie de pilas.

El enrocado a emplearse es de mayor tamaño que el que se requiere para proteger cauces con flujo sin obstrucciones. El enrocado debe tener como mínimo tres capas de roca en

contacto con la estructura para evitar que la arena entre las rocas sea removida por los vórtices y las turbulencias. Además, para o reducir el área hidráulica del flujo hídrico es conveniente desplantar el enrocado hasta la profundidad que alcanza la socavación a largo plazo y por contracción. Sabiendo que esto no siempre es posible, se debe rellenar al menos con enrocado el hueco dejado por el socavamiento. (Guevara, 2016)

Método de Maza Álvarez. Para encontrar el tamaño del enrocado se usa la siguiente expresión matemática:

Ecuación 01: método de Maza Álvarez

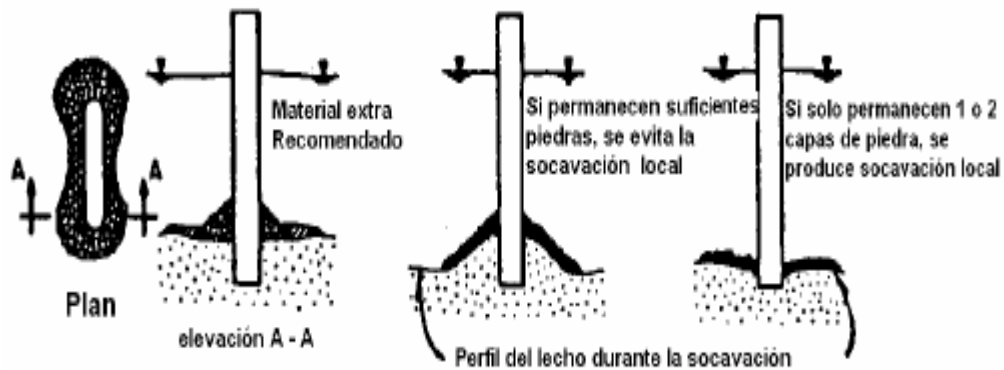
$$D_m = \frac{135 \cdot V}{\gamma_s^{1.03} \left(h^{1/(2+h)} - 0.15 \cdot V \right)}$$

Donde:

- D_m : diámetro medio de la roca [m]
- V : velocidad media del flujo [m/s]
- h : profundidad del flujo [m]
- γ_s : peso específico del material de protección [kg/m³]

La roca debe rodear las pilas excepto cuando se tenga la certeza de que van a estar alineadas con flujo de la corriente durante toda la vida útil de la obra, caso en el cual, el enrocado puede colocarse solo en el externo aguas arriba de las pilas (ver Imagen A).

Imagen A. Comportamiento del enrocado en las pilas antes y durante la socavación



Nota: Adoptado de Socavación en Puentes, por M.E. Guevara, 2016, Lemoine Editores S. en C.

Método propuesto en HEC-18 (1993). El tamaño de la roca de protección se calcula mediante la siguiente expresión:

Ecuación 02: método HEC-18 (1993) para pilas

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

Donde:

- D_{50} : diámetro medio de la roca.
- K : coeficiente de forma de la pila, (1.5 para pilas con nariz redonda, 1.7 para pilas con nariz rectangular).
- V : velocidad del flujo sobre la pila.
- g : aceleración de la gravedad.
- G_s : densidad relativa de la roca, usualmente 2.65.

HEC – 18 (1993) recomienda los siguientes criterios para la construcción del enrocado:

- Extender el ancho del enrocado al menos dos veces el ancho de la pila, medido desde la cara de la pila. La protección debe ser más larga que ancha y las rocas deben reponerse si

se presenta socavación. Si el río es angosto se puede colocar el enrocado a través de toda la sección transversal.

- La parte superior del enrocado debe coincidir con la superficie del lecho del cauce y entre más profundo se coloque menos probabilidad existe de que sea movido, pero más difícil será su colocación e inspección
- El espesor mínimo del enrocado debe ser tres veces el diámetro D50 de la roca.
- El tamaño máximo de la roca no debe exceder a dos veces el tamaño medio D_{50} del material.

- **Cálculo del diámetro de enrocado en la pila para puente Cementerio**

Aplicando el método de Maza Álvarez para el cálculo del tamaño del enrocado alrededor de la pila central del puente Cementerio, resultó un valor de $D_m = 0.60$ m, tal y como se muestra en la Tabla A.

Tabla A. *Dimensión del enrocado según Maza Álvarez*

T (años)	V (m/s)	γ_s (kg/m³)	h (m)	D_m (m)
500	5.91	2650	4.1	0.60

El enrocado tendrá una profundidad de 2.00 m medido desde la superficie del cauce, se extenderá 5.00 m aguas arriba y aguas abajo, en los costados se unirá conjuntamente con el enrocado de los estribos adyacentes, tal como se muestra en el anexo 11 (lámina PP-C-01).

1.3. Enrocado al pie de estribos.

Método propuesto en HEC – 18 (1993). Se consideran dos casos para el diseño de enrocado como medida de protección de estribos.

- Para $F_r \leq 0.8$

Ecuación 03: método HEC-18 (1993) para estribos ($F_r \leq 0.8$)

$$D_{50} = \frac{Kh}{(G_s - 1)} \left(\frac{V^2}{g \cdot h} \right)$$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}}$$

Donde:

- D_{50} : diámetro de la roca
 - K : coeficiente de forma del estribo que tiene en cuenta la aceleración del flujo en la proximidad del enrocado (0.89 para estribos con pared inclinada hacia el cauce, 1.02 para estribos con pared vertical)
 - h : profundidad media del flujo en la sección contraída del puente
 - V : velocidad media del flujo en la sección contraída del puente
 - g : aceleración de la gravedad.
 - G_s : densidad relativa de la roca (usualmente 2.65).
 - Fr : número de Froude
- Para $F_r > 0.8$

Ecuación 04: método HEC-18 (1993) para estribos ($F_r > 0.8$)

$$D_{50} = \frac{Kh}{(G_s - 1)} \left(\frac{V^2}{g \cdot h} \right)^{0.14}$$

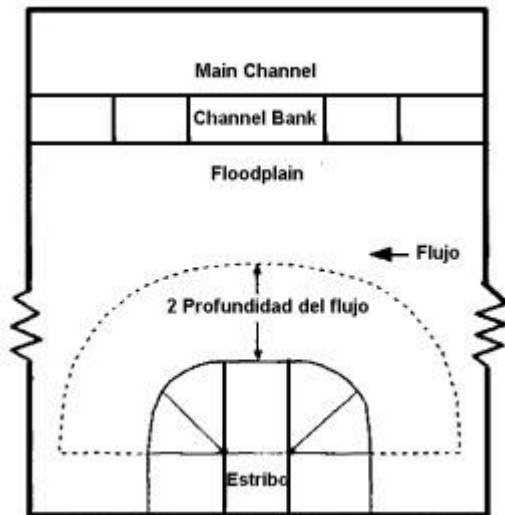
Donde:

- $K = 0.61$ para estribos con pared inclinada y 0.69 para estribos con pared vertical.

La Imagen B ilustra la extensión del enrocado alrededor del estribo. El espesor del enrocado no debe ser inferior al tamaño dado por $1.5(D_{50})$ o D_{100} . Este espesor debe ser

incrementado en un 50% cuando el enrocado es colocado bajo agua para considerar la incertidumbre generada por las condiciones de colocación.

Imagen B. Enrocado de protección al pie de estribos



- **Cálculo del diámetro de enrocado de estribos para el puente Cementerio**

Aplicando el método de HEC-18 (1993) para el cálculo de tamaño de enrocado en estribos del puente Cementerio, se obtuvo un resultado de $D_{50} = 1.14$ m, el cual es valor alto y no es razonable emplearlo para solucionar el problema de socavación. Como alternativa se recomienda emplear un tamaño de roca de 60 cm., que se asemeja al tamaño de roca de enrocado para pilas. El enrocado tendrá un espesor de 2.00 m y debe extenderse en un radio de 5.00 m alrededor de cada estribo, ver anexo 11 (lámina PP-C-01).

- **Cálculo del diámetro de enrocado de estribos para el puente Oscar Burga**

Aplicando el método de HEC-18 (1993) para el cálculo de tamaño de enrocado en los estribos del puente Oscar Burga, resultando un valor de $D_{50} = 0.55$ m. El enrocado tendrá un espesor de 2.00 m. y debe extenderse en un radio de 7.00 m alrededor de cada estribo, ver anexo 11 (lámina PP-C-02).

1.4. Presupuesto de enrocado

Esta propuesta tiene un presupuesto aproximado de S/. 269,680.34 (doscientos sesenta y nueve mil seiscientos ochenta y 34/100 nuevos soles)

La tabla B muestra un resumen del metrado de enrocado que se empleará para proteger las subestructuras del puente Cementerio y el puente Oscar Burga.

Tabla B. Metrado de enrocado en puente Cementerio y puente Oscar Burga

ZONA	DESCRIPCION	PROFUNDIDAD(m)	ÁREA DE ENROCADO(m ²)	VOLUMEN(m ³)
PUENTE CEMENTERIO	pila y estribos	2	469.93	939.86
PUENTE OSCAR BUURGA	estribos	2	549.24	1098.48

Se tuvo en consideración las principales partidas en la construcción de enrocado como medida de protección, en la Tabla C se puede observar el presupuesto estimado en cada uno de los trabajos que involucra la alternativa de protección de enrocado, los precios fueron tomados en base a cotizaciones hechas por los propios tesisistas, así como de la MPCH (2024), tal como se puede observar en el Anexo 2.

Tabla C. Presupuesto de enrocado en puente Cementerio y puente Oscar Burga

Ítem	Descripción	UND	Cantidad	P.U.	SUB-total
01	ENROCADO PUENTE CEMENTERIO Y OSCAR BURGA				182,834.13
01.01	ENROCADO EN PUENTE CEMENTERIO				88,194.54
01.01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	est	1	300.00	300.00
01.01.02	TRAZO Y REPLANTEO	m2	500	80.28	40,140.00
01.01.03	TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES	m3	939.86	10.77	10,122.29
01.01.04	EXCAVACION PARA ENROCADO	m3	1215.3	3.16	3,840.35
01.01.05	COLOCACION DE ENROCADO	m3	939.86	17.51	16,456.95
01.01.06	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO	m3	87.95	197.10	17,334.95
01.02	ENROCADO EN PUENTE CEMENTERIO				94,639.59
01.02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	est	1	300	300.00
01.02.02	TRAZO Y REPLANTEO	m2	555.68	80.28	44,609.99
01.02.03	TRANSPORTE DE MATERIALES GRANULARES	m3	1098.48	10.77	11,830.63
01.02.04	EXCAVACION PARA ENROCADO	m3	1198.57	3.16	3,787.48
01.02.05	COLOCACION DE ENROCADO	m3	1098.48	17.51	19,234.38
01.02.06	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO	m3	75.48	197.1	14,877.11
	COSTO DIRECTO				182,834.13
	GASTOS GENERALES				27,425.12
	UTILIDAD				18,283.41
	SUB TOTAL				228,542.66
	IGV				41,137.68
	TOTAL DE PRESUPUESTO				269,680.34

1.5. Beneficios de la propuesta de solución

- Al ejecutar las propuestas de solución como el enrocado alrededor de estribos del puentee Oscar Burga y alrededor de la pila central del puente Cementerio, y el dique de encauzamiento en el estribo derecho de este último, se logrará reducir considerablemente las profundidades de socavación en los mencionados elementos subestructurales.
- Al reducir los niveles de socavación se mitigará el riesgo de que los puentes fallen debido a la formación de cuencos en el terreno de fundación de pilas y estribos. En consecuencia, se evitaría gastos mayores en reparación o reconstrucción de las estructuras.

Anexo 2. Cotizaciones y Análisis de precios unitarios



TRANSPORTES **CONQUISTADOR**

SERVICIO DE TRANSPORTE DE MAQUINARIA PESADA EN CAMA BAJA Y PLATAFORMA
ALQUILER DE EXCAVADORA, RODILLO, MOTONIVELADORA Y TRACTOR

Dirección: Jr. Diego Villacorta N° 369 – Chota.
Área de asistencia y ventas: Cel: 976166162
Gerente General: Sánchez Tafur, Hernán
RUC: 10274235301

SEÑOR(ES): Tenorio Chilcon Luis Geise & Vidarte Romero Cristhian Omar

ASUNTO: Alquiler de maquinaria Pesada

FECHA :27/07/2024

De nuestra consideración le presentamos nuestra cotización de maquinaria pesada.

ITEM	EQUIPO	UM	CANTIDAD	P. U.	SUB TOTAL (S./.)
1	EXCAVADORA CAT 320 DL	HM	1	224.20	224.20
2	RODILLO CAT CS 56	HM	1	165.20	165.20
3	MOTONIVELADORA CAT 140 K	HM	1	236.00	236.00
TOTAL (S./.)					625.4

- * Maquinarias propias y operativas.
- * La Cotización tiene una validez de 30 días.
- * La Cotización incluye IGV (18%).

Chota, 27 / 07 /2024

Atentamente:

Transportes Conquistador

Hernán Sánchez Tafur
Gerente General

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	1302001	ENROCADO PUENTE CEMENTERIO Y OSCAR BURGA						
Subpresupuesto	001	ENROCADO EN PUENTE CEMENTERIO Y OSCAR BURGA				Fecha presupuesto	05/08/2024	
Partida	01.01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS						
Rendimiento	est/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000			Costo unitario directo por : est		300.00
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Equipos							
0306010001	MOVILIZACION	glb		1.0000	300.00	300.00		300.00
<hr/>								
Partida	01.01.02	TRAZO Y REPLANTEO						
Rendimiento	m2/DIA	MO. 600.0000	EQ. 600.0000			Costo unitario directo por : m2		80.28
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Mano de Obra							
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0133	21.68	0.29		
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0533	19.62	1.05		
0101030000	TOPOGRAFO	hh	1.0000	0.0133	26.06	0.35		
01010300030003	AYUDANTE DE TOPOGRAFIA	hh	1.0000	0.0133	21.60	0.29		
						1.98		
	Materiales							
0204030001	ACERO CORRUGADO fy = 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg		0.1500	4.00	0.60		
0204120007	CLAVOS PARA MADERA C/C 3"	kg		9.0000	6.56	59.04		
0213030001	YESO	kg		1.0000	8.20	8.20		
0231000005	MADERA	p2		2.0000	4.50	9.00		
0240020001	PINTURA ESMALTE	gal		0.0300	40.59	1.22		
0290100003	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.98	0.10		
						78.16		
	Equipos							
0301000022	ESTACION TOTAL INCLUYE ACCESORIOS (PRISMA PORTAPRISMA Y BASTONES)	hm	1.0000	0.0133	10.58	0.14		
						0.14		
<hr/>								
Partida	01.01.03	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 338.0000	EQ. 338.0000			Costo unitario directo por : m3		10.77
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Mano de Obra							
0101010004	OFICIAL	hh	0.2000	0.0047	21.68	0.10		
						0.10		
	Equipos							
03011600010003	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP 3 yd3	hm	1.0000	0.0237	300.00	7.11		
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.0237	150.00	3.56		
						10.67		
<hr/>								
Partida	01.01.04	EXCAVACION PARA ENROCADO						
Rendimiento	m3/DIA	MO. 450.0000	EQ. 450.0000			Costo unitario directo por : m3		3.16
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.		
	Mano de Obra							
0101010002	CAPATAZ	hh	0.2000	0.0036	31.38	0.11		
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0356	19.62	0.70		
						0.81		
	Materiales							
0290100003	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.81	0.04		
						0.04		
	Equipos							
0301170003	RETROEXCAVADORA 90 H.P.	hm	1.0000	0.0178	130.00	2.31		
						2.31		

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	1302001	ENROCADO PUENTE CEMENTERIO Y OSCAR BURGA				Fecha presupuesto	05/08/2024
Subpresupuesto	001	ENROCADO EN PUENTE CEMENTERIO Y OSCAR BURGA					
Partida	01.01.05	COLOCACION DE ENROCADO					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 120.0000	EQ. 120.0000	Costo unitario directo por : m3			17.51
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0667	31.38	2.09	
0101010005	PEON	hh	8.0000	0.5333	19.62	10.46	
						12.55	
	Materiales						
0290100003	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	12.55	0.63	
						0.63	
	Equipos						
0301170003	RETROEXCAVADORA 90 H.P.	hm	0.5000	0.0333	130.00	4.33	
						4.33	
Partida	01.01.06	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO					
Rendimiento	m3/DIA	MO. 20.0000	EQ. 20.0000	Costo unitario directo por : m3			197.10
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.4000	31.38	12.55	
0101010005	PEON	hh	8.0000	3.2000	19.62	62.78	
						75.33	
	Materiales						
0290100003	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	75.33	3.77	
						3.77	
	Equipos						
0301170003	RETROEXCAVADORA 90 H.P.	hm	1.0000	0.4000	130.00	52.00	
0301190001	RODILLO	hm	1.0000	0.4000	165.00	66.00	
						118.00	
Partida	01.02.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS					
Rendimiento	est/DIA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : est			300.00
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Equipos						
0306010001	MOVILIZACION	glb		1.0000	300.00	300.00	
						300.00	
Partida	01.02.02	TRAZO Y REPLANTEO					
Rendimiento	m2/DIA	MO. 600.0000	EQ. 600.0000	Costo unitario directo por : m2			80.28
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
	Mano de Obra						
0101010004	OFICIAL	hh	1.0000	0.0133	21.68	0.29	
0101010005	PEON	hh	4.0000	0.0533	19.62	1.05	
0101030000	TOPOGRAFO	hh	1.0000	0.0133	26.06	0.35	
01010300030003	AYUDANTE DE TOPOGRAFIA	hh	1.0000	0.0133	21.60	0.29	
						1.98	
	Materiales						
0204030001	ACERO CORRUGADO fy = 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg		0.1500	4.00	0.60	
0204120007	CLAVOS PARA MADERA C/C 3"	kg		9.0000	6.56	59.04	
0213030001	YESO	kg		1.0000	8.20	8.20	
0231000005	MADERA	p2		2.0000	4.50	9.00	
0240020001	PINTURA ESMALTE	gal		0.0300	40.59	1.22	
0290100003	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	1.98	0.10	
						78.16	
	Equipos						
0301000022	ESTACION TOTAL INCLUYE ACCESORIOS (PRISMA PORTAPRISMA Y BASTONES)	hm	1.0000	0.0133	10.58	0.14	
						0.14	

Análisis de precios unitarios

Presupuesto	1302001	ENROCADO PUENTE CEMENTERIO Y OSCAR BURGA						Fecha presupuesto	05/08/2024
Subpresupuesto	001	ENROCADO EN PUENTE CEMENTERIO Y OSCAR BURGA							
Partida	01.02.03	TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR							
Rendimiento	m3/DIA	MO. 338.0000	EQ. 338.0000	Costo unitario directo por : m3				10.77	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.			
	Mano de Obra								
0101010004	OFICIAL	hh	0.2000	0.0047	21.68	0.10			
						0.10			
	Equipos								
03011600010003	CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP 3 yd3	hm	1.0000	0.0237	300.00	7.11			
03012200040001	CAMION VOLQUETE DE 15 m3	hm	1.0000	0.0237	150.00	3.56			
						10.67			
Partida	01.02.04	EXCAVACION PARA ENROCADO							
Rendimiento	m3/DIA	MO. 450.0000	EQ. 450.0000	Costo unitario directo por : m3				3.16	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.			
	Mano de Obra								
0101010002	CAPATAZ	hh	0.2000	0.0036	31.38	0.11			
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0356	19.62	0.70			
						0.81			
	Materiales								
0290100003	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	0.81	0.04			
						0.04			
	Equipos								
0301170003	RETROEXCAVADORA 90 H.P.	hm	1.0000	0.0178	130.00	2.31			
						2.31			
Partida	01.02.05	COLOCACION DE ENROCADO							
Rendimiento	m3/DIA	MO. 120.0000	EQ. 120.0000	Costo unitario directo por : m3				17.51	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.			
	Mano de Obra								
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0667	31.38	2.09			
0101010005	PEON	hh	8.0000	0.5333	19.62	10.46			
						12.55			
	Materiales								
0290100003	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	12.55	0.63			
						0.63			
	Equipos								
0301170003	RETROEXCAVADORA 90 H.P.	hm	0.5000	0.0333	130.00	4.33			
						4.33			
Partida	01.02.06	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO							
Rendimiento	m3/DIA	MO. 20.0000	EQ. 20.0000	Costo unitario directo por : m3				197.10	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.			
	Mano de Obra								
0101010002	CAPATAZ	hh	1.0000	0.4000	31.38	12.55			
0101010005	PEON	hh	8.0000	3.2000	19.62	62.78			
						75.33			
	Materiales								
0290100003	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	75.33	3.77			
						3.77			
	Equipos								
0301170003	RETROEXCAVADORA 90 H.P.	hm	1.0000	0.4000	130.00	52.00			
0301190001	RODILLO	hm	1.0000	0.4000	165.00	66.00			
						118.00			

Anexo 3. Panel fotográfico

Fotografía 1. Sección hidráulica del puente Cementerio



Fotografía 2: Presencia de socavación en el estribo izquierdo del puente Cementerio



Fotografía 3: Presencia de socavación en el pilar del puente Cementerio



Fotografía 4: Sección hidráulica del puente Oscar Burga



Fotografía 5: Estribo izquierdo del puente Oscar Burga



Fotografía 6: Estribo derecho del puente Oscar Burga



Fotografía 7: Equipo de trabajo para la realización de levantamiento topográfico



Fotografía 8: Calicata 1 ubicada en estribo izquierdo del puente Oscar Burga



Fotografía 9: Calicata 2 ubicada en estribo derecho del puente Oscar Burga



Fotografía 10: Calicata 3 ubicada a 25 m. aguas arriba del puente Oscar Burga



Fotografía 11: Calicata 4 ubicada a 50 m. aguas arriba del puente Oscar Burga



Fotografía 12: Calicata 5 ubicada en el pilar central del puente Cementerio



Fotografía 13: Calicata 6 ubicada en el estribo derecho del puente Cementerio



Fotografía 14: Calicata 7 ubicada 25 m. aguas arriba del puente Cementerio



Fotografía 15: Calicata 7 ubicada 50 m. aguas arriba del puente Cementerio



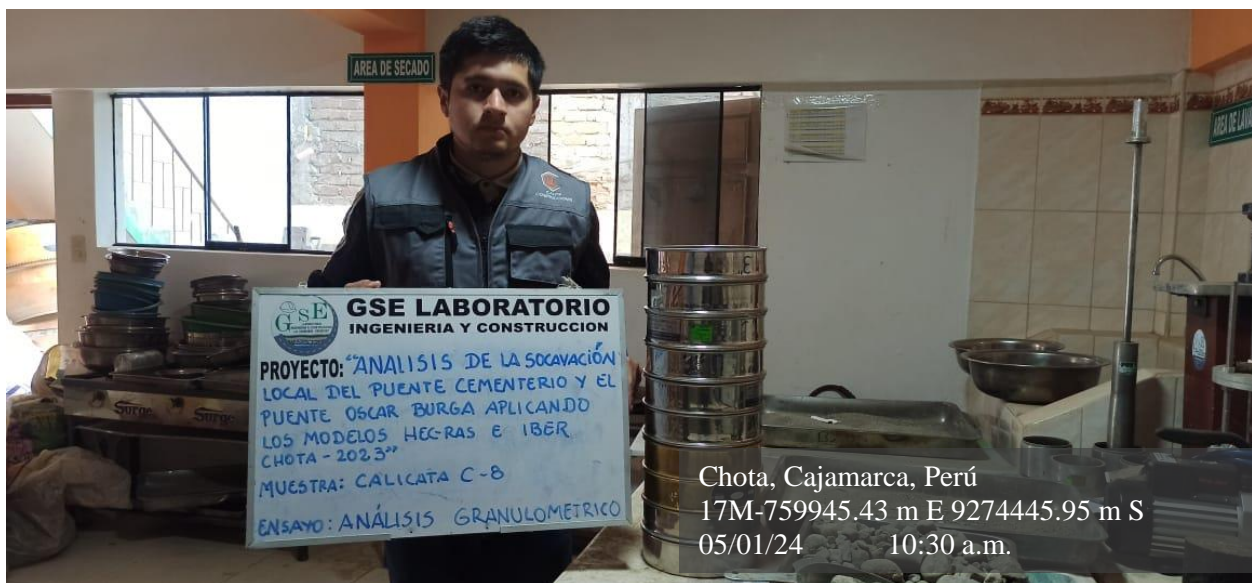
Fotografía 16: Toma de muestras para ensayo de peso específico de cada calicata



Fotografía 17: Secado de muestras para el ensayo de análisis granulométrico



Fotografía 17: Tamizaje para el ensayo de análisis granulométrico



Fotografía 18: Ensayo de peso específico



Fotografía 19: Toma de resultados para posterior análisis en gabinete



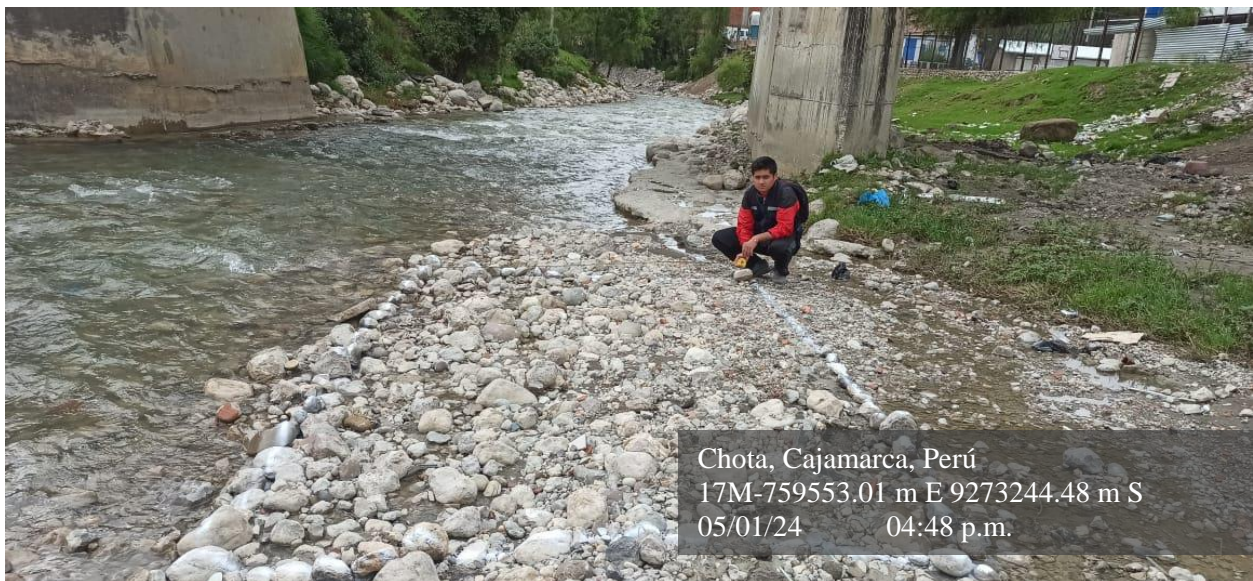
Fotografía 20: Trazado de área para el análisis de partículas superiores a 3” aguas arriba del puente

Oscar Burga



Fotografía 21: Trazado de área para el análisis de partículas superiores a 3” aguas arriba del puente

Cementerio



Anexo 4. Valores para el cálculo del coeficiente de rugosidad

Condiciones del canal		Valores
Material involucrado	Tierra	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	0.010
	Severo	0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	0.000
	Ocasionalmente alternante	0.005
	Gradualmente alternante	0.010 – 0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	0.000
	Menor	0.010 – 0.015
	Apreciable	0.020 – 0.30
	Severo	0.040 – 0.060
Vegetación	Baja	0.005 – 0.010
	Media	0.010 – 0.025
	Alta	0.025 – 0.050
	Muy alta	0.050 – 0.100
Grado de los efectos de los meandros	Menor	1.000
	Apreciable	1.150
	Severo	1.300

Anexo 5. Matriz de consistencia

Tesis: Análisis de la socavación local del puente cementerio y el puente Oscar Burga aplicando los modelos HEC-RAS e Iber, Chota. 2023.

Tesistas: Tenorio Chilcón Luis y Vidarte Romero Crithian

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿Cuáles serían los resultados del análisis de socavación local de los Puentes Cementerio y Oscar Burga mediante la aplicación de los modelos HEC-RAS e Iber?	<p>Objetivo General</p> <p>Determinar y analizar los niveles de socavación local del puente Cementerio y el puente Oscar Burga aplicando los modelos HEC-RAS e Iber.</p>		Variable independiente	Factor hidrológico	Caudal de diseño	
				Factor topográfico	Pendiente	
			Factores hidrológicos, topográficos, geométricos y geotécnicos	Factor geométrico	Ancho – profundidad – luz libre	
				Factor geotécnico	Granulometría	
	<p>Objetivos específicos</p> <p>-. Determinar los caudales máximos de avenidas y el NAME en la sección hidráulica del puente Cementerio y el puente Oscar Burga para periodos de retorno de 100 y 500 años.</p>	<p>Hipótesis de investigación</p> <p>Los niveles de socavación local en el puente Cementerio y el puente Oscar Burga son altos.</p>		Socavación general por contracción	Socavación por el método Lischtván – Lebediev	La investigación es de enfoque cuantitativo, de tipo aplicado, de alcance descriptivo y correlacional, en el que se determinara el NAME y los niveles de socavación
	<p>-. Calcular los niveles de socavación general por contracción, socavación local y socavación total en el puente Cementerio y el puente Oscar Burga empleando métodos empíricos.</p>		Variable dependiente		Socavación por el Método de Laursen y Toch	
	<p>-. Comparar los resultados obtenidos aplicando los modelos hidráulicos HEC-RAS e Iber.</p>			Socavación local en pilas	Método de Froehlich	
	<p>-. Proponer alternativa de medida de protección contra la socavación local</p>		Socavación		Socavación por el método de Artamonov	
				Socavación local en estribos	Método de Froehlich	

Anexo 6. Autorización de estudio de mecánica de suelos en laboratorio externo



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD
COORDINACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

"Año del bicentenario, de la consolidación de nuestra independencia, y de la
conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"



Chota, 04 de enero del 2024

CARTA N°001- 2024-UNACH-CFCI-ENCHV

Luis Geise Tenorio Chilcon / Cristhian Omar Vidarte Romero
Tesisistas

ASUNTO : Autorización concedida.

Referencia : FUT N° 002-2024.

Me dirijo a usted para expresarle mi saludo cordial y manifestarle que cuenta con mi autorización para llevar a cabo sus ensayos en el laboratorio GSE- laboratorio, ingeniería y construcción, de la ciudad de Chota, quedando bajo su responsabilidad presentar los documentos que expresan los resultados encontrados, en papel membretado con el logo de la empresa, debidamente firmados por el responsable técnico del laboratorio y visado por el dueño y/o representante legal de la empresa.

Sin otro particular, expreso las muestras de mi especial consideración y estima personal
Atentamente,

DR. INC. ELMER NAT'VIDAD CHÁVEZ VÁSQUEZ
COORDINADOR DE LA FCI
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Anexo 7. Documento de veracidad de resultados del estudio de mecánica de suelos



"GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION" EJECUCION DE OBRAS DE INGENIERIA, ELABORACION DE PERFILES Y EXPEDIENTES TECNICOS, ESTUDIO DE ANALISIS DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

CONSTANCIA DE VERACIDAD

Chota, 30 de julio del 2024

A quien corresponda

Por medio de la presente hago constar que, el mes de enero del 2024, los tesisistas Luis Geise Tenorio Chilcón y Cristhian Omar Vidarte Romero, realizaron sus ensayos Físicos- mecánicos (Análisis granulométrico por Tamizado y Ensayo de Peso Específico de sólidos), los mismos que fueron realizados en las instalaciones de nuestra representada **"GSE LABORATORIO, INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN"**, requeridos para su proyecto de investigación denominado "Análisis de la socavación local del puente Cementerio y el puente Oscar Burga aplicando los modelos HEC-RAS e Iber, Chota – 2023.

Se expide la presente constancia, a solicitud del interesado para los fines que pertinentes.

Atentamente,

 LABORATORIO
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
Geremias Rimarachin Rimarachin
INGENIERO CIVIL
REG. C.I.P. N° 267870

Anexo 8. Estudio de mecánica de suelos

CALICATA 1

		LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS						
		PROYECTO: "ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC- RAS E IBER CHOTA 2023"						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (NORMA MTC E 107, ASTM D422, AASTHO T88)								
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS								
ESTRUCTURA	:	ESTRIBO IZQUIERDO DEL PUENTE OSCAR BURGA				HECHO POR	:	I.C.D
SOLICITANTES	:	Tenorio Chilcon Luis Geise & Vidarte Romero Cristhian Omar				ING. RESP.	:	G.R.R.
ESTRATO	:	TERRENO NATURAL				FECHA DE ENSAYO	:	8/01/2024
DATOS DE LA MUESTRA								
MATERIAL	:	EXTRAÍDO Y MUESTREADO DE CALICATA				COORDENADAS	:	-
CALICATA	:	C-01				MASA INICIAL	:	11304.0 g.
MUESTRA	:	M - 01				FRACCIÓN SECA	:	520.0 g.
UBICACIÓN	:	PUENTE OSCAR BURGA						
TAMIZ	AASHTO T-27	MASA	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	A		
3 1/2"	80.89							
3"	76.200							
2 1/2"	63.500				100.00		% Masa Material >4: 47.6%	
2"	50.800	730.0	12.38	12.38	87.62		% Masa Material <4 52.4%	
1 1/2"	38.100	870.0	14.76	27.14	72.86		Límite Líquido (LL) : 32.8	
1"	25.400	968.0	16.42	43.55	56.45		Límite Plástico (LP) : 21.6	
3/4"	19.000	486.0	8.24	51.80	48.20		Índice Plástico (IP) : 11.2	
1/2"	12.700	540.0	9.16	60.96	39.04		Clasificación(SUCS) : GC	
3/8"	9.500	432.0	7.33	68.28	31.72		Clasific.(AASHTO) : A-2-6 (0)	
Nº 4	4.750	1350.0	22.90	91.18	8.82			
Nº 8	2.360		0.00	91.18	8.82			
Nº 10	2.000	10.9	0.18	91.37	8.63		Contenido de Humedad (%) 53.61	
Nº 16	1.190		0.00	91.37	8.63		Materia Orgánica :	
Nº 20	0.840	12.00	0.20	91.57	8.43		Índice de Consistencia :	
Nº 30	0.600		0.00	91.57	8.43		Índice de Liquidez :	
Nº 40	0.425	25.70	0.44	92.00	8.00		Descripción del (IC) :	
Nº 50	0.300		0.00	92.00	8.00			
Nº 60	0.250	43.10	0.73	92.74	7.26			
Nº 100	0.150		0.00	92.74	7.26			
Nº 140	0.106	116.30	1.97	94.71	5.29		OBSERVACIONES :	
Nº 200	0.075	29.70	0.50	95.21	4.79			
< Nº 200	FONDO	282.30	4.79	100.00	0.00			
		5896.00	100.00					


LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Iván Cieza Díaz
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO


LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremías Rimarachin
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. Nº 287870

CALICATA 2



LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC- RAS E IBER CHOTA 2023"

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

(NORMA MTC E 107, ASTM D422, AASTHO T88)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

ESTRUCTURA : ESTRIBO DERECHO DEL PUENTE OSCAR BURGA **HECHO POR** : I.C.D
SOLICITANTES : Tenorio Chilcon Luis Geise & Vidarte Romero Cristhian Omar **ING. RESP.** : G.R.R.
ESTRATO : TERRENO NATURAL **FECHA DE ENSAYO** : 8/01/2024

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL : EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA **COORDENADAS** : -
CALICATA : C-02 **MASA INICIAL** : 520.0 g.
MUESTRA : M - 01 **FRACCION SECA** : 520.0 g.
UBICACIÓN : PUENTE OSCAR BURGA

TAMIZ	AASHTO T-27	MASA	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	A	
3 1/2"	80.89						
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						% Masa Material >4: 0.0%
2"	50.800						% Masa Material <4 100.0%
1 1/2"	38.100						Límite Líquido (LL) :
1"	25.400						Límite Plástico (LP) :
3/4"	19.000						Índice Plástico (IP) :
1/2"	12.700						Clasificación(SUCS) : CL
3/8"	9.500						Clasific.(AASHTO) : A-6 (8)
Nº 4	4.750						
Nº 8	2.360				100.0		
Nº 10	2.000	0.1	0.02	0.02	100.0		Contenido de Humedad (%) : 53.61
Nº 16	1.190			0.02	100.0		Materia Orgánica :
Nº 20	0.840	2.30	0.44	0.46	99.5		Índice de Consistencia :
Nº 30	0.600			0.46	99.5		Índice de Liquidez :
Nº 40	0.425	4.10	0.79	1.25	98.8		Descripción del (IC) :
Nº 50	0.300			1.25	98.8		
Nº 60	0.250	58.70	11.29	12.54	87.5		
Nº 100	0.150			12.54	87.5		
Nº 140	0.106	61.70	11.87	24.40	75.6		OBSERVACIONES :
Nº 200	0.075	42.90	8.25	32.65	67.3		
< Nº 200	FONDO	350.20	67.35	100.00			
		520.00	100.0				

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Iván Cieza Díaz
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachin
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. Nº 287870

CALICATA 3



LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC- RAS E IBER CHOTA 2023"

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(NORMA MTC E 107, ASTM D422, AASTHO T88)

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

ESTRUCTURA : 25M AGUAS ARRIBA DEL PUENTE OSCAR BURGA **HECHO POR** : I.C.D
SOLICITANTES : Tenorio Chilcon Luis Geise & Vidarte Romero Cristhian Omar **ING. RESP.** : G.R.R.
ESTRATO : TERRENO NATURAL **FECHA DE ENSAYO** : 8/01/2024

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL : EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA **COORDENADAS** : -
CALICATA : C-03 **MASA INICIAL** : 28900.0 g.
MUESTRA : M - 01 **FRACCION SECA** : 520.0 g.
UBICACIÓN : PUENTE OSCAR BURGA

TAMIZ	AASHTO T-27	MASA	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	A	
3 1/2"	80.89						
3"	76.200				100.0		
2 1/2"	63.500	1653.0	7.2	7.2	92.8		% Masa Material >4: 77.7%
2"	50.800	2818.0	12.3	19.5	80.5		% Masa Material <4 22.3%
1 1/2"	38.100	3489.0	15.2	34.7	65.3		Límite Líquido (LL) : 32.8
1"	25.400	4483.0	19.5	54.2	45.8		Límite Plástico (LP) : 21.6
3/4"	19.000	3425.0	14.9	69.1	30.9		Indice Plástico (IP) : 11.2
1/2"	12.700	3049.0	13.3	82.3	17.7		Clasificación(SUCS) : GP-GC
3/8"	9.500	1400.0	6.1	88.4	11.6		Clasific.(AASHTO) : A-2-6 (0)
Nº 4	4.750	2135.0	9.3	97.7	2.3		
Nº 8	2.360			97.7	2.3		
Nº 10	2.000	86.0	0.4	98.1	1.9		Contenido de Humedad (%) : 53.61
Nº 16	1.190			98.1	1.9		Materia Orgánica :
Nº 20	0.840	89.80	0.4	98.5	1.5		Indice de Consistencia :
Nº 30	0.600			98.5	1.5		Indice de Liquidez :
Nº 40	0.425	160.10	0.7	99.2	0.8		Descripción del (IC) :
Nº 50	0.300			99.2	0.8		
Nº 60	0.250	45.70	0.2	99.4	0.6		
Nº 100	0.150			99.4	0.6		
Nº 140	0.106	40.80	0.2	99.6	0.4		OBSERVACIONES :
Nº 200	0.075	6.20	0.0	99.6	0.4		
< Nº 200	FONDO	91.40	0.4	100.0			
		22972.00		100.0			

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Iván Cieza Díaz
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremías Rimarachin
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. Nº 287870

CALICATA 4



LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC- RAS E IBER CHOTA 2023"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NORMA MTC E 107, ASTM D422, AASTHO T88)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

ESTRUCTURA : 50 m AGUAS ARRIBA DEL PUENTE OSCAR BURGA **HECHO POR** : I.C.D
SOLICITANTES : Tenorio Chilcon Luis Geise & Vidarte Romero Cristhian Omar **ING. RESP.** : G.R.R.
ESTRATO : TERRENO NATURAL **FECHA DE ENSAYO** : 8/01/2024

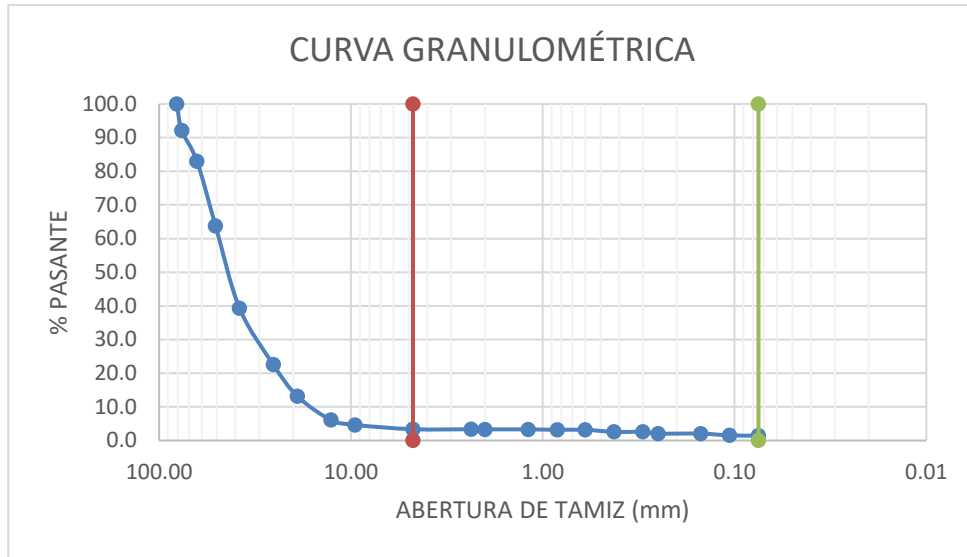
DATOS DE LA MUESTRA


MATERIAL : EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA **COORDENADAS** : -
CALICATA : C-04 **MASA INICIAL** : 23230.0 g.
MUESTRA : M - 01 **FRACCION SECA** : 610.0 g.
UBICACIÓN : PUENTE OSCAR BURGA

TAMIZ	AASHTO T-27	MASA	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	A		
3 1/2"	80.89				100.0			
3"	76.200	1434.0	7.9	7.9	92.1			
2 1/2"	63.500	1655.0	9.1	17.0	83.0		% Masa Material >4: 75.6%	
2"	50.800	3499.0	19.2	36.2	63.8		% Masa Material <4 24.4%	
1 1/2"	38.100	4444.0	24.4	60.7	39.3		Límite Líquido (LL) : 32.8	
1"	25.400	3044.0	16.7	77.4	22.6		Límite Plástico (LP) : 21.6	
3/4"	19.000	1717.0	9.4	86.9	13.1		Índice Plástico (IP) : 11.2	
1/2"	12.700	1281.0	7.0	93.9	6.1		Clasificación(SUCS) : GC	
3/8"	9.500	263.0	1.4	95.4	4.6		Clasific.(AASHTO) : A-2-6 (0)	
Nº 4	4.750	233.0	1.3	96.6	3.4			
Nº 8	2.360			96.6	3.4			
Nº 10	2.000	8.2	0.0	96.7	3.3		Contenido de Humedad (%) : 53.61	
Nº 16	1.190			96.7	3.3		Materia Orgánica :	
Nº 20	0.840	23.00	0.1	96.8	3.2		Índice de Consistencia :	
Nº 30	0.600			96.8	3.2		Índice de Liquidez :	
Nº 40	0.425	112.40	0.6	97.4	2.6		Descripción del (IC) :	
Nº 50	0.300			97.4	2.6			
Nº 60	0.250	92.70	0.5	97.9	2.1			
Nº 100	0.150			97.9	2.1			
Nº 140	0.106	97.00	0.5	98.5	1.5		OBSERVACIONES :	
Nº 200	0.075	13.60	0.1	98.6	1.4			
< Nº 200	FONDO	263.10	1.4	100.0				
		18180.00	100.0					

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Iván Cieza Díaz
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. Nº 287870



	LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS	
	PROYECTO: “ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC- RAS E IBER CHOTA 2023”	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS		
ESTRUCTURA : 50 m AGUAS ARRIBA DEL PUENTE OSCAR BURGA	HECHO POR : I.C.D	
SOLICITANTE : Tenorio Chilcon Luis Geise & Vidarte Romero Cristhian Omar	ING. RESP. : G.R.R.	
ESTRATO : TERRENO NATURAL	FECHA : 8-ene.-24	
DATOS DE LA MUESTRA		
MATERIAL : EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA	MUESTRA: 1	
CALICATA : C-	4	
UBICACIÓN : PUENTE OSCAR BURGA		
ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS ASTM D854		
MÉTODO DE ENSAYO		"B"
Gravedad específica de sólidos	(g)	2.75
Temperatura del agua destilada durante el ensayo	°C	22.7
Coeficiente de Temperatura (K)	---	1.0
Gravedad específica de sólidos corregida por T°	(g)	2.75
Peso específico o densidad específica	(g/cm ³)	1.75

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON MUESTREADAS POR EL SOLICITANTE


Iván Cieza Díaz
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO


Geremias Rimarachin
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. N° 287870

CALICATA 5



LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC- RAS E IBER CHOTA 2023"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NORMA MTC E 107, ASTM D422, AASTHO T88)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

ESTRUCTURA : PILAR DEL PUENTE CEMENTERIO **HECHO POR** : I.C.D
SOLICITANTES : Tenorio Chilcon Luis Geise & Vidarte Romero Cristhian Omar **ING. RESP.** : G.R.R.
ESTRATO : TERRENO NATURAL **FECHA DE ENSAYO** : 8/01/2024

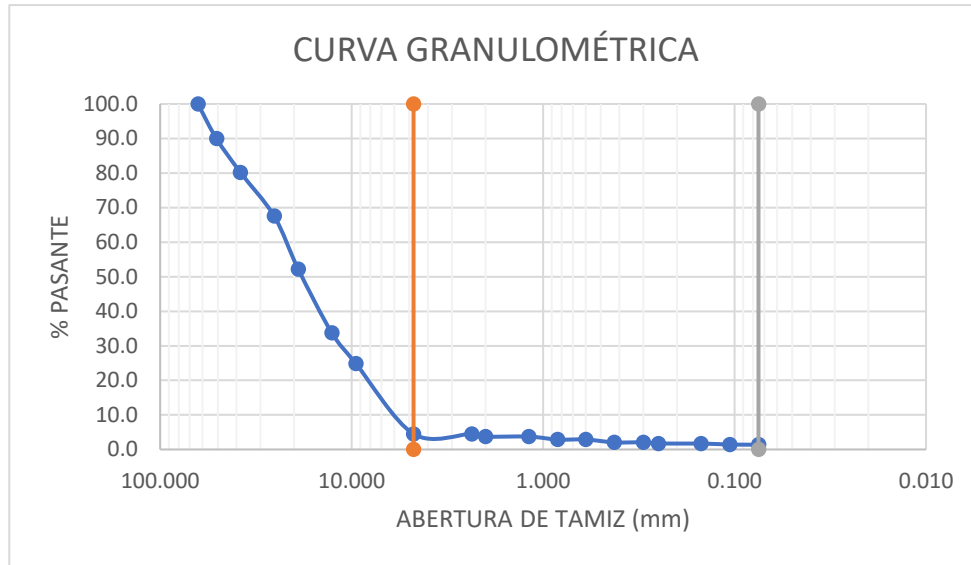
DATOS DE LA MUESTRA


MATERIAL : EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA **COORDENADAS** : -
CALICATA : C-05 **MASA INICIAL** : 23205.0 g.
MUESTRA : M - 01 **FRACCIÓN SECA** : 620.0 g.
UBICACIÓN : PUENTE CEMENTERIO

TAMIZ	AASHTO T-27	MASA	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	A		
3 1/2"	80.89							
3"	76.200							
2 1/2"	63.500				100.0		% Masa Material >4: 56.6%	
2"	50.800	1380.0	10.03	10.03	89.97		% Masa Material <4 43.4%	
1 1/2"	38.100	1345.0	9.77	19.80	80.20		Límite Líquido (LL) : 32.8	
1"	25.400	1737.0	12.62	32.42	67.58		Límite Plástico (LP) : 21.6	
3/4"	19.000	2120.0	15.40	47.82	52.18		Índice Plástico (IP) : 11.2	
1/2"	12.700	2532.0	18.40	66.22	33.78		Clasificación(SUCS) : GC	
3/8"	9.500	1227.0	8.92	75.14	24.86		Clasific.(AASHTO) : A-2-6 (0)	
Nº 4	4.750	2802.0	20.36	95.50	4.50			
Nº 8	2.360			95.50	4.50			
Nº 10	2.000	107.9	0.78	96.28	3.72		Contenido de Humedad (%) : 53.61	
Nº 16	1.190			96.28	3.72		Materia Orgánica :	
Nº 20	0.840	116.20	0.84	97.12	2.88		Índice de Consistencia :	
Nº 30	0.600			97.12	2.88		Índice de Liquidez :	
Nº 40	0.425	112.40	0.82	97.94	2.06		Descripción del (IC) :	
Nº 50	0.300			97.94	2.06			
Nº 60	0.250	48.40	0.35	98.29	1.71			
Nº 100	0.150			98.29	1.71			
Nº 140	0.106	39.30	0.29	98.58	1.42		OBSERVACIONES :	
Nº 200	0.075	5.60	0.04	98.62	1.38			
< Nº 200	FONDO	190.20	1.38	100.00				
		13763.00	100.0					

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Iván Cieza Díaz
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. Nº 287870



	LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS	
	PROYECTO: “ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC- RAS E IBER CHOTA 2023”	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS		
ESTRUCTURA : PILAR DEL PUENTE CEMENTERIO	HECHO POR : I.C.D	
SOLICITANTE : Tenorio Chilcon Luis Geise & Vidarte Romero Cristhian Omar	ING. RESP. : G.R.R.	
ESTRATO : TERRENO NATURAL	FECHA : 8-ene.-24	
DATOS DE LA MUESTRA		
MATERIAL : EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA		
CALICATA : C- 5	MUESTRA: 1	
UBICACIÓN : PUENTE CEMENTERIO		
ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS ASTM D854		
MÉTODO DE ENSAYO	"B"	
Gravedad específica de sólidos	(g)	2.80
Temperatura del agua destilada durante el ensayo	°C	23.1
Coeficiente de Temperatura (K)	---	0.99931
Gravedad específica de sólidos corregida por T°	(g)	2.80
Peso específico o densidad de masa	(g/cm ³)	1.80

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON MUESTREADAS POR EL SOLICITANTE


LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
Iván Cieza Díaz
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO


LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. N° 287870

CALICATA 6



LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC-RAS E IBER CHOTA 2023"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NORMA MTC E 107, ASTM D422, AASTHO T88)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

ESTRUCTURA : ESTRIBO DERECHO DEL PUENTE CEMENTERIO **HECHO POR** : I.C.D
SOLICITANTES : Tenorio Chilcon Luis Geise & Vidarte Romero Cristhian Omar **ING. RESP.** : G.R.R.
ESTRATO : TERRENO NATURAL **FECHA DE ENSAYO** : 8/01/2024

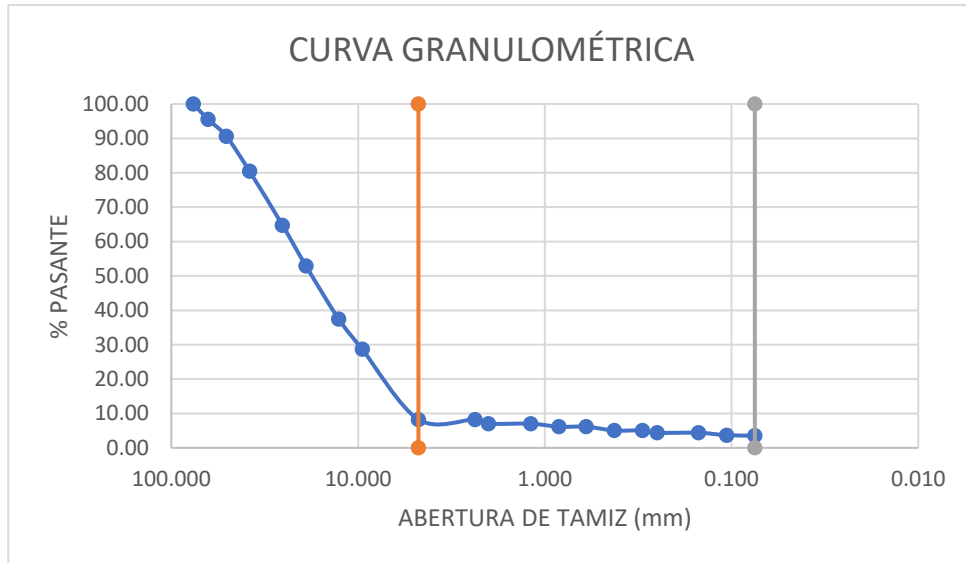
DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL : EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA **COORDENADAS** : -
CALICATA : C-06 **MASA INICIAL** : 13856.0 g.
MUESTRA : M - 01 **FRACCION SECA** : 580.0 g.
UBICACIÓN : PUENTE CEMENTERIO

TAMIZ	AASHTO T-27	MASA	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	A		
3 1/2"	80.89							
3"	76.200				100.00			
2 1/2"	63.500	315.0	4.49	4.49	95.51		% Masa Material >4: 46.5%	
2"	50.800	343.0	4.89	9.37	90.63		% Masa Material <4 53.5%	
1 1/2"	38.100	716.0	10.20	19.57	80.43		Límite Líquido (LL) :	
1"	25.400	1099.0	15.66	35.23	64.77		Límite Plástico (LP) :	
3/4"	19.000	835.0	11.89	47.12	52.88		Índice Plástico (IP) :	
1/2"	12.700	1081.0	15.40	62.52	37.48		Clasificación(SUCS) : GC	
3/8"	9.500	619.0	8.82	71.34	28.66		Clasific.(AASHTO) : A-2-6 (0)	
Nº 4	4.750	1432.0	20.40	91.74	8.26			
Nº 8	2.360			91.74	8.26			
Nº 10	2.000	87.0	1.24	92.98	7.02		Contenido de Humedad (%) : 53.61	
Nº 16	1.190			92.98	7.02		Materia Orgánica :	
Nº 20	0.840	61.60	0.88	93.85	6.15		Índice de Consistencia :	
Nº 30	0.600			93.85	6.15		Índice de Liquidez :	
Nº 40	0.425	76.10	1.08	94.94	5.06		Descripción del (IC) :	
Nº 50	0.300			94.94	5.06			
Nº 60	0.250	47.90	0.68	95.62	4.38			
Nº 100	0.150			95.62	4.38			
Nº 140	0.106	48.50	0.69	96.31	3.69		OBSERVACIONES :	
Nº 200	0.075	8.10	0.12	96.43	3.57			
< Nº 200	FONDO	250.80	3.57	100.00				
		7020.00	100.0					

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Iván Cieza Díaz
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremías Rimarachin Rimarachin
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. N° 287870



	LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS	
	PROYECTO: “ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC- RAS E IBER CHOTA 2023”	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS		
ESTRUCTURA :	ESTRIBO DERECHO DEL PUENTE CEMENTERIO	HECHO POR : I.C.D
SOLICITANTE :	Tenorio Chilcon Luis Geise & Vidarte Romero Cristhian Omar	ING. RESP. : G.R.R.
ESTRATO :	TERRENO NATURAL	FECHA : 8-ene.-24
DATOS DE LA MUESTRA		
MATERIAL :	EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA	
CALICATA :	C- 6	MUESTRA: 1
UBICACIÓN :	PUENTE CEMENTERIO	
ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS ASTM D854		
MÉTODO DE ENSAYO		"B"
Gravedad específica de sólidos	(g)	2.80
Temperatura del agua destilada durante el ensayo	°C	22.8
Coeficiente de Temperatura (K)	---	1.0
Gravedad específica de sólidos corregida por T°	(g)	2.79
Peso específico o densidad específica	(g/cm ³)	1.79

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON MUESTREADAS POR EL SOLICITANTE



CALICATA 7



LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC- RAS E IBER CHOTA 2023"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NORMA MTC E 107, ASTM D422, AASTHO T88)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

ESTRUCTURA : 20 m AGUAS ARRIBA DEL PUENTE CEMENTERIO **HECHO POR** : I.C.D
SOLICITANTES : Tenorio Chilcon Luis Geise & Vidarte Romero Cristhian Omar **ING. RESP.** : G.R.R.
ESTRATO : TERRENO NATURAL **FECHA DE ENSAYO** : 8/01/2024

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL : EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA **COORDENADAS** : -
CALICATA : C-07 **MASA INICIAL** : 13856.0 g.
MUESTRA : M - 01 **FRACCION SECA** : 600.0 g.
UBICACIÓN : PUENTE CEMENTERIO

TAMIZ	AASHTO T-27	MASA	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	A		
3 1/2"	80.89							
3"	76.200				100.0			
2 1/2"	63.500	315.0	4.5	4.5	95.5		% Masa Material >4: 46.5%	
2"	50.800	343.0	4.9	9.3	90.7		% Masa Material <4 53.5%	
1 1/2"	38.100	716.0	10.2	19.5	80.5		Límite Líquido (LL) :	
1"	25.400	1099.0	15.6	35.1	64.9		Límite Plástico (LP) :	
3/4"	19.000	835.0	11.9	47.0	53.0		Índice Plástico (IP) :	
1/2"	12.700	1081.0	15.4	62.3	37.7		Clasificación(SUCS) : GC	
3/8"	9.500	619.0	8.8	71.1	28.9		Clasific.(AASHTO) : A-2-6 (0)	
Nº 4	4.750	1432.0	20.3	91.5	8.5			
Nº 8	2.360		0.0	91.5	8.5			
Nº 10	2.000	87.0	1.2	92.7	7.3		Contenido de Humedad (%) : 53.61	
Nº 16	1.190		0.0	92.7	7.3		Materia Orgánica :	
Nº 20	0.840	61.60	0.9	93.6	6.4		Índice de Consistencia :	
Nº 30	0.600		0.0	93.6	6.4		Índice de Liquidez :	
Nº 40	0.425	76.10	1.1	94.7	5.3		Descripción del (IC) :	
Nº 50	0.300		0.0	94.7	5.3			
Nº 60	0.250	47.90	0.7	95.3	4.7			
Nº 100	0.150		0.0	95.3	4.7			
Nº 140	0.106	48.50	0.7	96.0	4.0		OBSERVACIONES :	
Nº 200	0.075	8.10	0.1	96.2	3.8			
< Nº 200	FONDO	270.80	3.8	100.0				
		7040.00	100.0					

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Iván Cieza Díaz
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremias Rimarachin
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. Nº 287870

CALICATA 8



LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: "ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC- RAS E IBER CHOTA 2023"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(NORMA MTC E 107, ASTM D422, AASTHO T88)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

ESTRUCTURA : 40 m AGUAS ARRIBA DEL PUENTE CEMENTERIO **HECHO POR** : I.C.D
SOLICITANTES : Tenorio Chilcon Luis Geise & Vidarte Romero Cristhian Omar **ING. RESP.** : G.R.R.
ESTRATO : TERRENO NATURAL **FECHA DE ENSAYO** : 8/01/2024

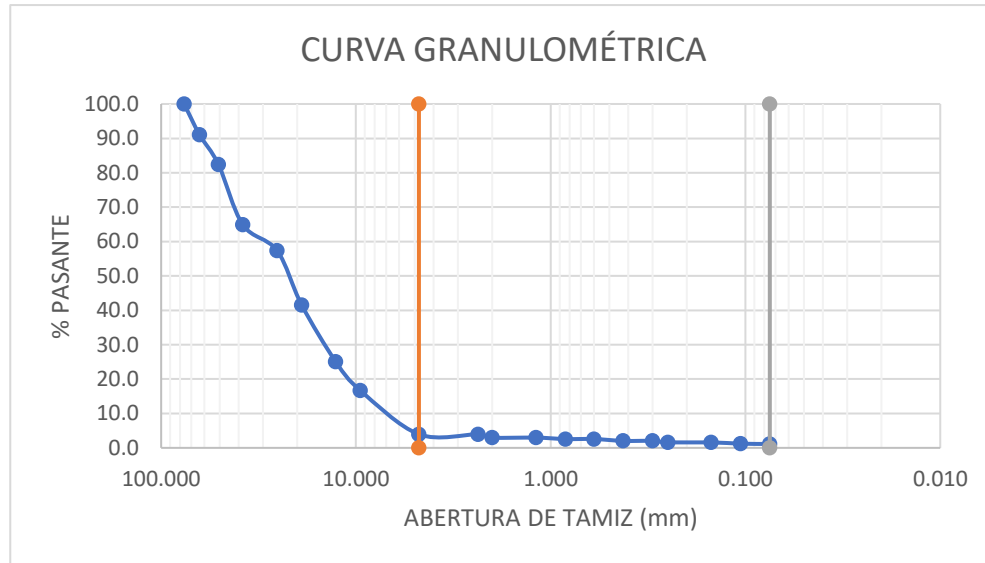
DATOS DE LA MUESTRA


MATERIAL : EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA **COORDENADAS** : -
CALICATA : C-08 **MASA INICIAL** : 16804.0 g.
MUESTRA : M - 01 **FRACCIÓN SECA** : 514.0 g.
UBICACIÓN : PUENTE CEMENTERIO

TAMIZ	AASHTO T-27	MASA	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	QUE PASA	A		
3 1/2"	80.89							
3"	76.200				100.0			
2 1/2"	63.500	1168.0	9.0	9.0	91.05		% Masa Material >4: 74.6%	
2"	50.800	1126.0	8.6	17.6	82.42		% Masa Material <4: 25.4%	
1 1/2"	38.100	2285.0	17.5	35.1	64.90		Límite Líquido (LL) :	
1"	25.400	983.0	7.5	42.6	57.37		Límite Plástico (LP) :	
3/4"	19.000	2061.0	15.8	58.4	41.57		Índice Plástico (IP) :	
1/2"	12.700	2153.0	16.5	74.9	25.07		Clasificación(SUCS) : GP-GC	
3/8"	9.500	1090.0	8.4	83.3	16.72		Clasific.(AASHTO) : A-2-6 (0)	
Nº 4	4.750	1667.0	12.8	96.1	3.94			
Nº 8	2.360		0.0	96.1	3.94			
Nº 10	2.000	126.3	1.0	97.0	2.97		Contenido de Humedad (%) : 53.61	
Nº 16	1.190		0.0	97.0	2.97		Materia Orgánica :	
Nº 20	0.840	52.90	0.4	97.4	2.57		Índice de Consistencia :	
Nº 30	0.600		0.0	97.4	2.57		Índice de Liquidez :	
Nº 40	0.425	69.80	0.5	98.0	2.03		Descripción del (IC) :	
Nº 50	0.300		0.0	98.0	2.03			
Nº 60	0.250	57.60	0.4	98.4	1.59			
Nº 100	0.150		0.0	98.4	1.59			
Nº 140	0.106	49.20	0.4	98.8	1.21		OBSERVACIONES :	
Nº 200	0.075	11.00	0.1	98.9	1.13			
< Nº 200	FONDO	147.20	1.1	100.0				
		13047.00	100.0					

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Iván Cieza Díaz
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

LABORATORIO INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC
Geremías Rimarachin Rimarachin
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. N° 287870



	LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS	
	PROYECTO: “ANÁLISIS DE SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC- RAS E IBER CHOTA 2023”	
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS		
ESTRUCTURA : 40 m AGUAS ARRIBA DEL PUENTE CEMENTERIO	HECHO POR : I.C.D	
SOLICITANTE : Tenorio Chilcon Luis Geise & Vidarte Romero Cristhian Omar	ING. RESP. : G.R.R.	
ESTRATO : TERRENO NATURAL	FECHA : 8-ene.-24	
DATOS DE LA MUESTRA		
MATERIAL : EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA		
CALICATA : C- 8	MUESTRA: 1	
UBICACIÓN : PUENTE CEMENTERIO		
ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS ASTM D854		
MÉTODO DE ENSAYO	"B"	
Gravedad específica de sólidos	(g)	2.57
Temperatura del agua destilada durante el ensayo	°C	23.0
Coefficiente de Temperatura (K)	---	1.0
Gravedad específica de sólidos corregida por T°	(g)	2.57
Peso específico o densidad relativa	(g/cm ³)	1.57

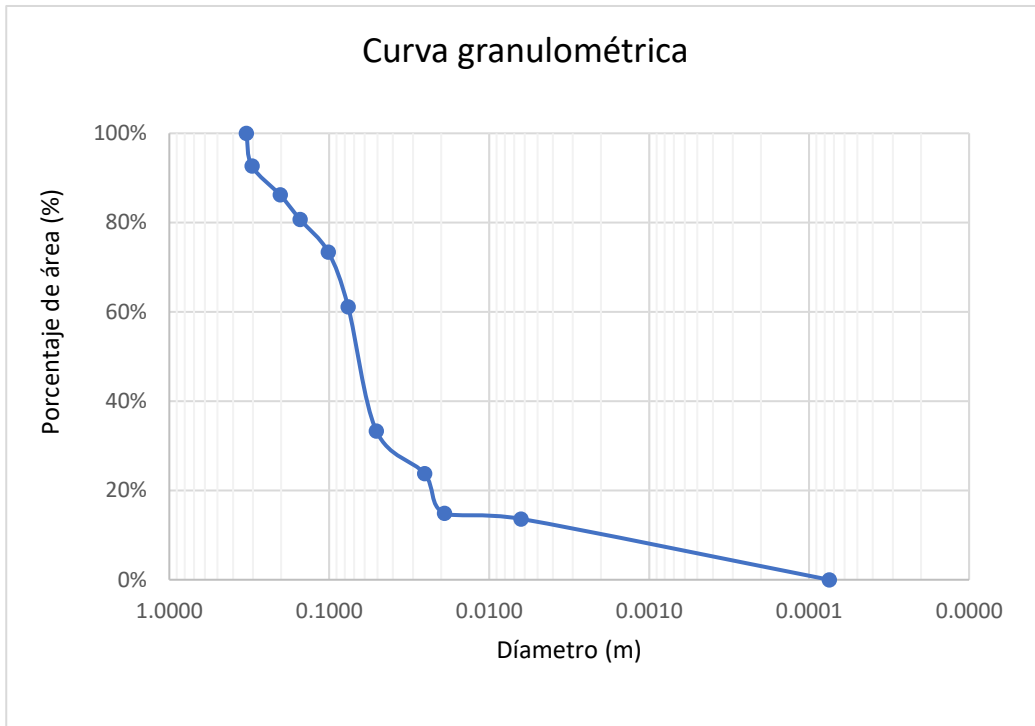
OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON MUESTREADAS POR EL SOLICITANTE


LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
Iván Cieza Díaz
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

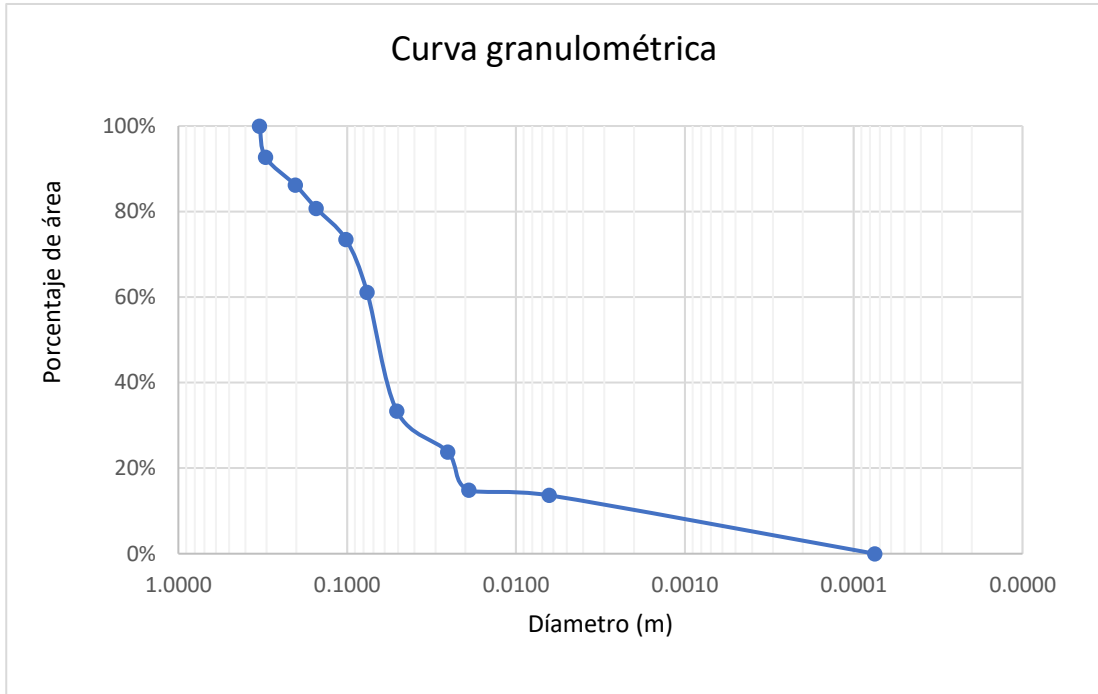

LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC
Geremias Rimarachin Rimarachin
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. N° 287870

Anexo 9. Muestreo superficial de piedras mayores

UBICACIÓN		Próximo al puente Oscar Burga					
ÁREA DE MUESTREO (m ²)		10	m ²	ÁREA DE REFERENCIA (m ²)		1	m ²
TAMAÑO		ÁREA	CANTIDAD	ÁREA PARCIAL (m ²)	ÁREA PARCIAL (%)	ÁREA ACUM (%)	ÁREA SOBRANTE (%)
in	m	m ²					
13"	0.3302	0.0856	0	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
12"	0.3048	0.0730	1	0.07	7.30%	7.30%	92.70%
8"	0.2032	0.0324	2	0.06	6.49%	13.78%	86.22%
6"	0.1524	0.0182	3	0.05	5.47%	19.25%	80.75%
4"	0.1016	0.0081	9	0.07	7.30%	26.55%	73.45%
3"	0.0762	0.0046	27	0.12	12.31%	38.86%	61.14%
2"	0.0508	0.0020	137	0.28	27.77%	66.63%	33.37%
1"	0.0254	0.0005	189	0.10	9.58%	76.21%	23.79%
3/4"	0.0191	0.0003	312	0.09	8.89%	85.10%	14.90%
1/2"	0.0064	0.0000	397	0.01	1.26%	86.36%	13.64%
< 1/2"	0.000075			0.14	13.64%	100.00%	0.00%
Total				1.00	100.00%		



UBICACIÓN		Próximo al puente Cementerio					
ÁREA DE MUESTREO (m ²)		10	m ²	ÁREA DE REFERENCIA (m ²)		1	m ²
TAMAÑO		ÁREA	CANTIDAD	ÁREA PARCIAL (m ²)	ÁREA PARCIAL (%)	ÁREA ACUM (%)	ÁREA SOBRANTE (%)
in	m	m ²					
13"	0.3302	0.0856	0	0.00	0.00%	0.00%	100.00%
12"	0.3048	0.0730	1	0.07	7.30%	7.30%	92.70%
8"	0.2032	0.0324	2	0.06	6.49%	13.78%	86.22%
6"	0.1524	0.0182	3	0.05	5.47%	19.25%	80.75%
4"	0.1016	0.0081	9	0.07	7.30%	26.55%	73.45%
3"	0.0762	0.0046	29	0.13	13.23%	39.78%	60.22%
2"	0.0508	0.0020	144	0.29	29.19%	68.96%	31.04%
1"	0.0254	0.0005	187	0.09	9.48%	78.44%	21.56%
3/4"	0.0191	0.0003	315	0.09	8.98%	87.42%	12.58%
1/2"	0.0064	0.0000	378	0.01	1.20%	88.61%	11.39%
< 1/2"	0.000075			0.11	11.39%	100.00%	0.00%
Total				1.00	100.00%		



Anexo 10. Mapas de delimitación de cuencas y modelamiento hidrológico

Imagen 1. Delimitación del DEM en ArcMap de la cuenca del puente Cementerio

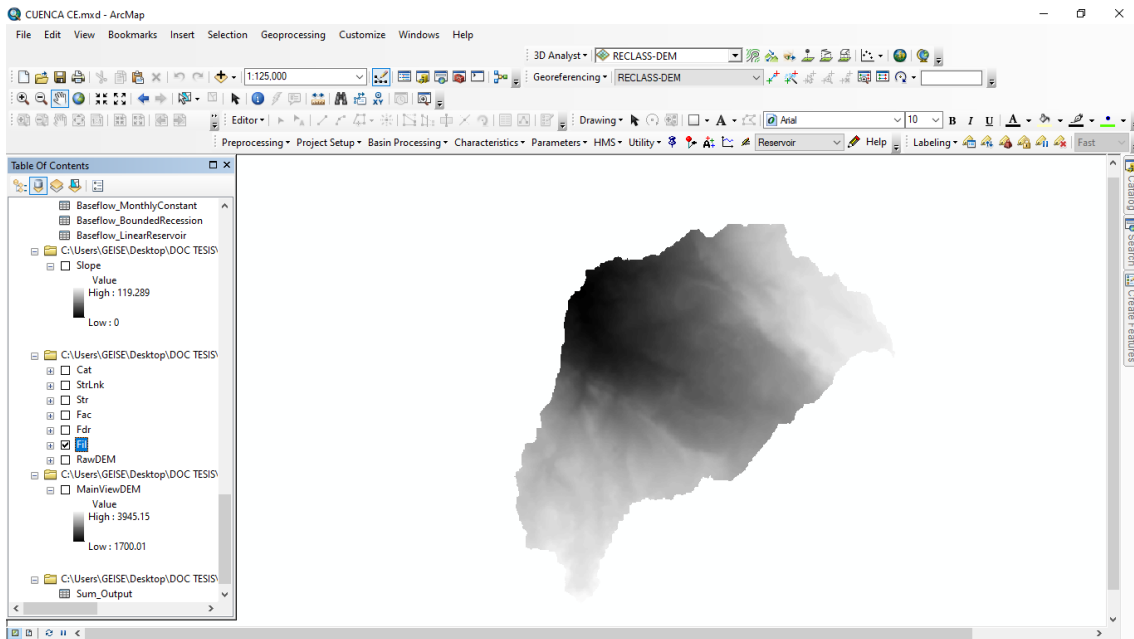


Imagen 2. Dirección de flujo en ArcMap de la cuenca del puente Cementerio

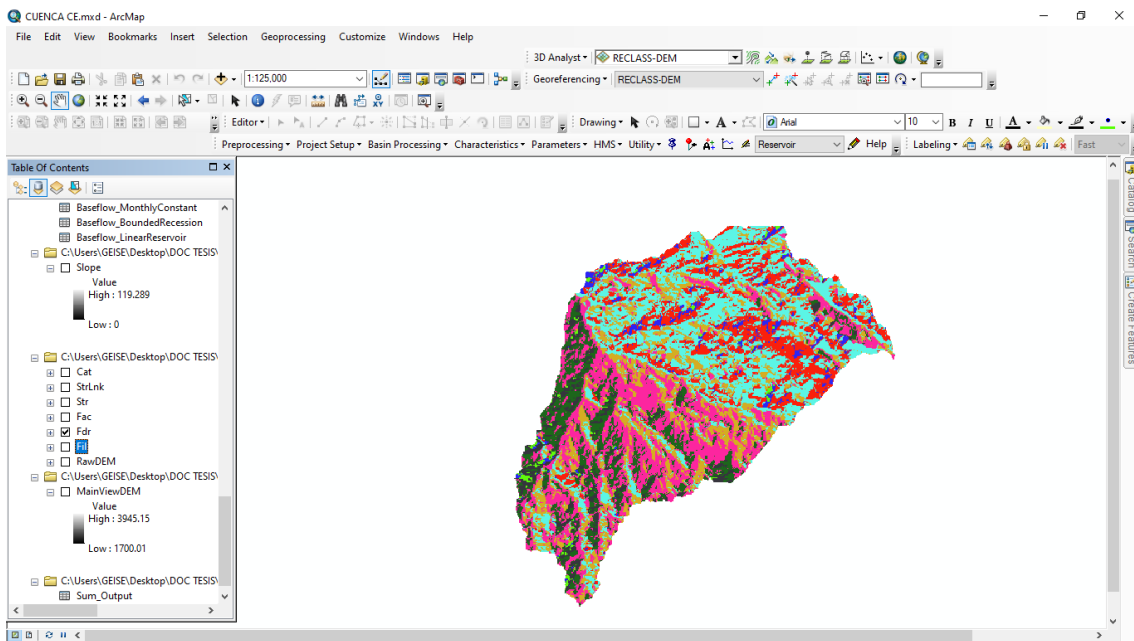


Imagen 3. Acumulación de flujo en ArcMap de la cuenca del puente Cementerio

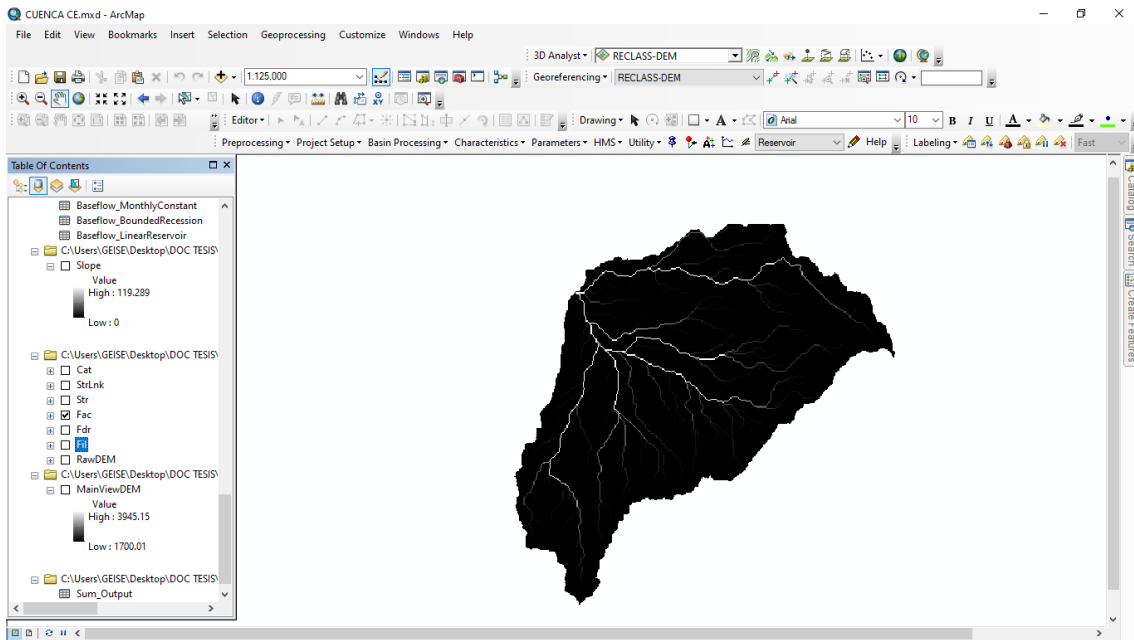


Imagen 4. Definición de quebradas y ríos en ArcMap de la cuenca del puente Cementerio

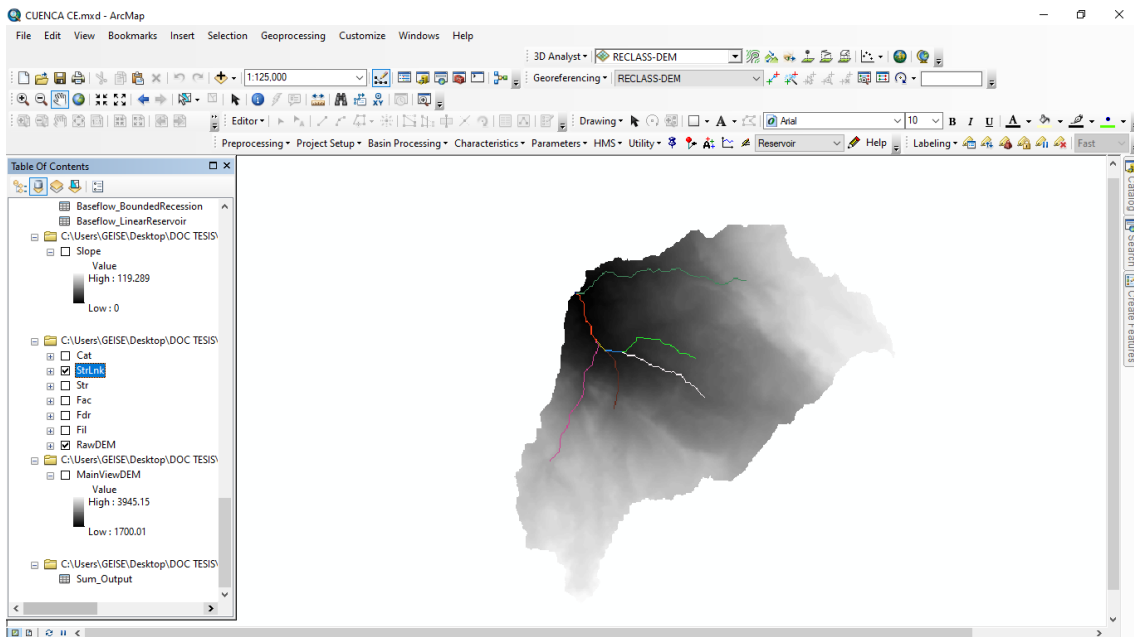


Imagen 5. Reproceso en ArcMap de la cuenca del puente Cementerio para ser exportado a HEC-HMS

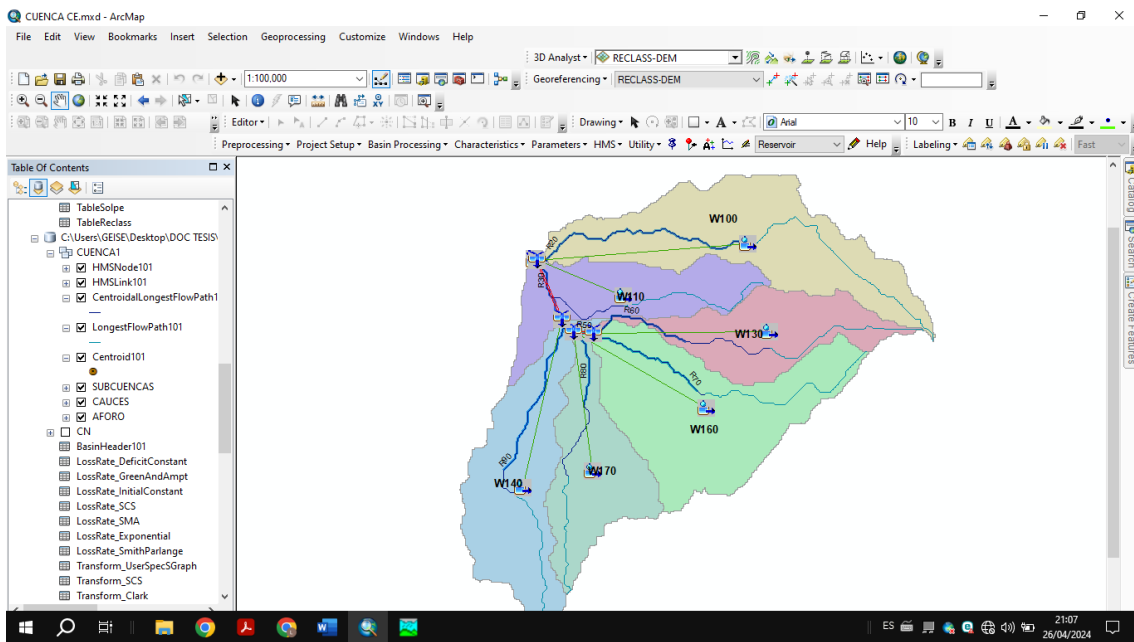


Imagen 6. Vista esquemática del modelamiento hidrológico en HEC-HMS de cuenca del puente Cementerio

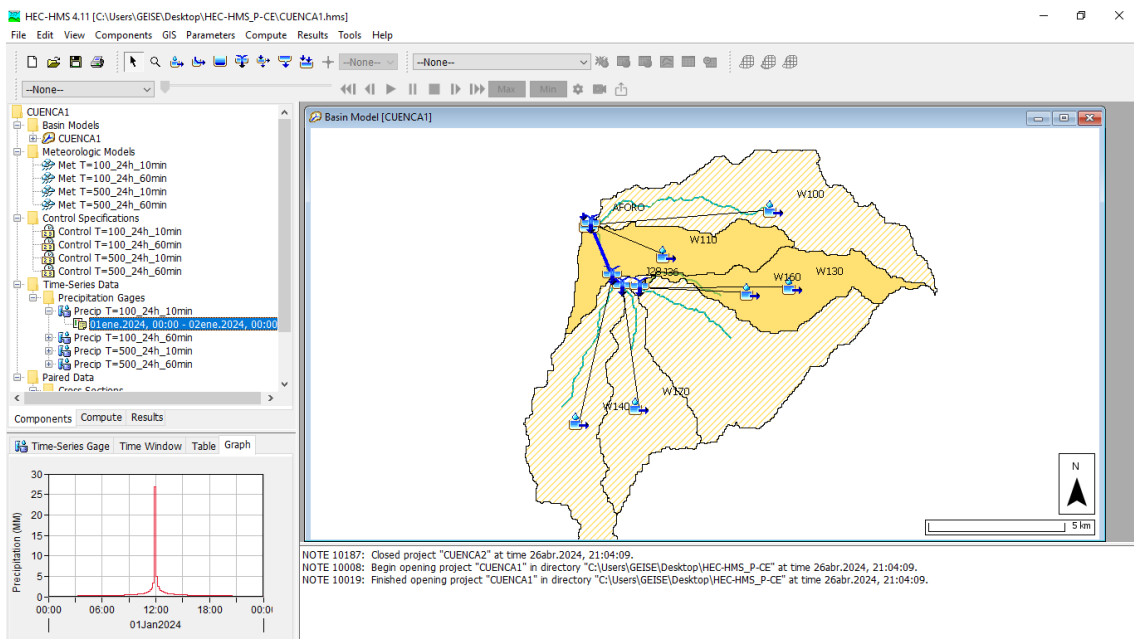


Imagen 7. Delimitación del DEM en ArcMap de la cuenca del puente Oscar Burga

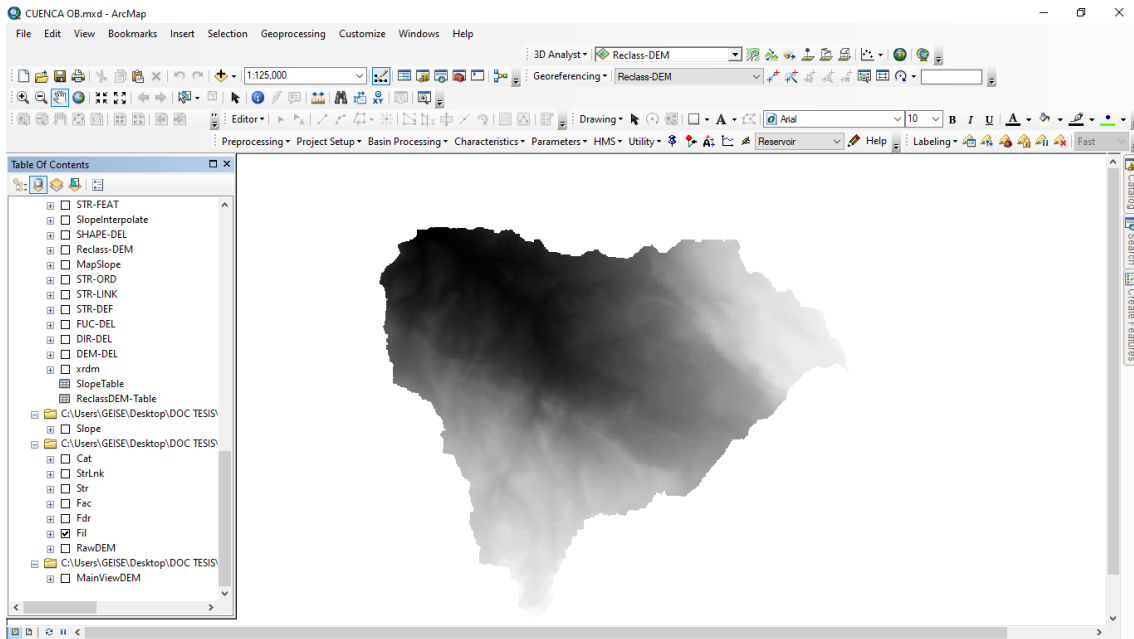


Imagen 8. Dirección de flujo en ArcMap de la cuenca del puente Oscar Burga

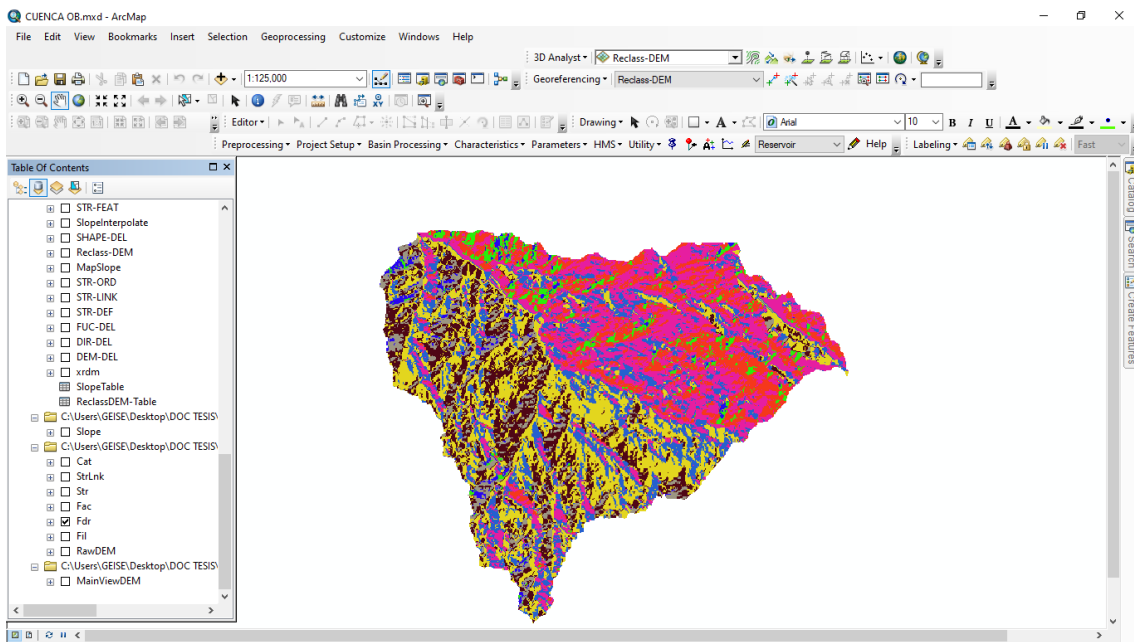


Imagen 9. Acumulación de flujo en ArcMap de la cuenca del puente Oscar Burga

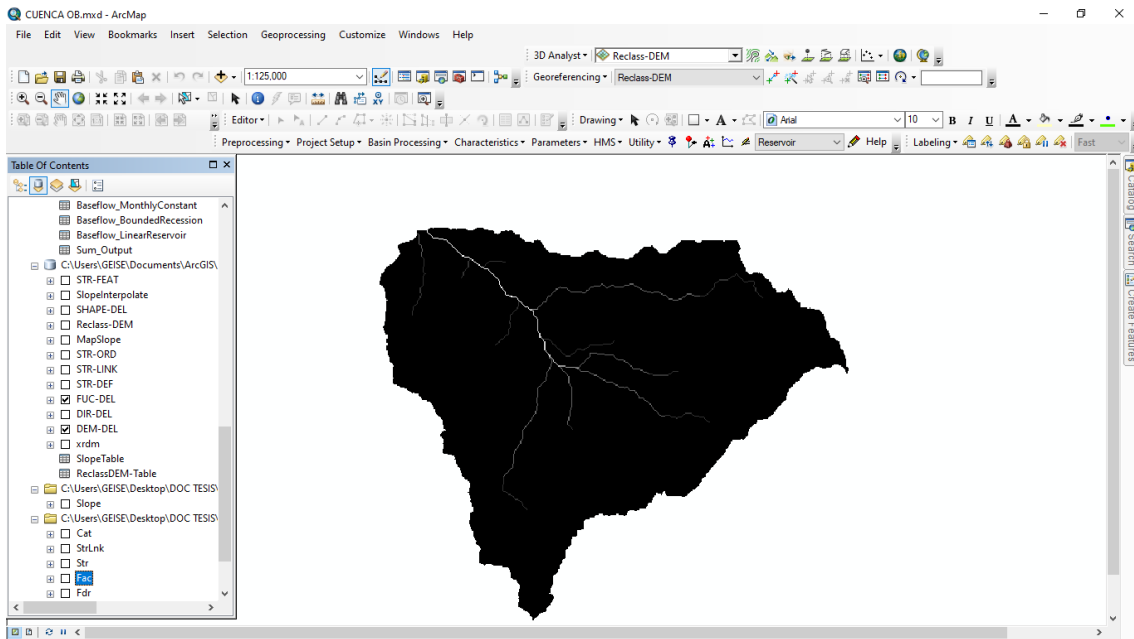


Imagen 10. Definición de quebradas y ríos en ArcMap de la cuenca del puente Oscar Burga

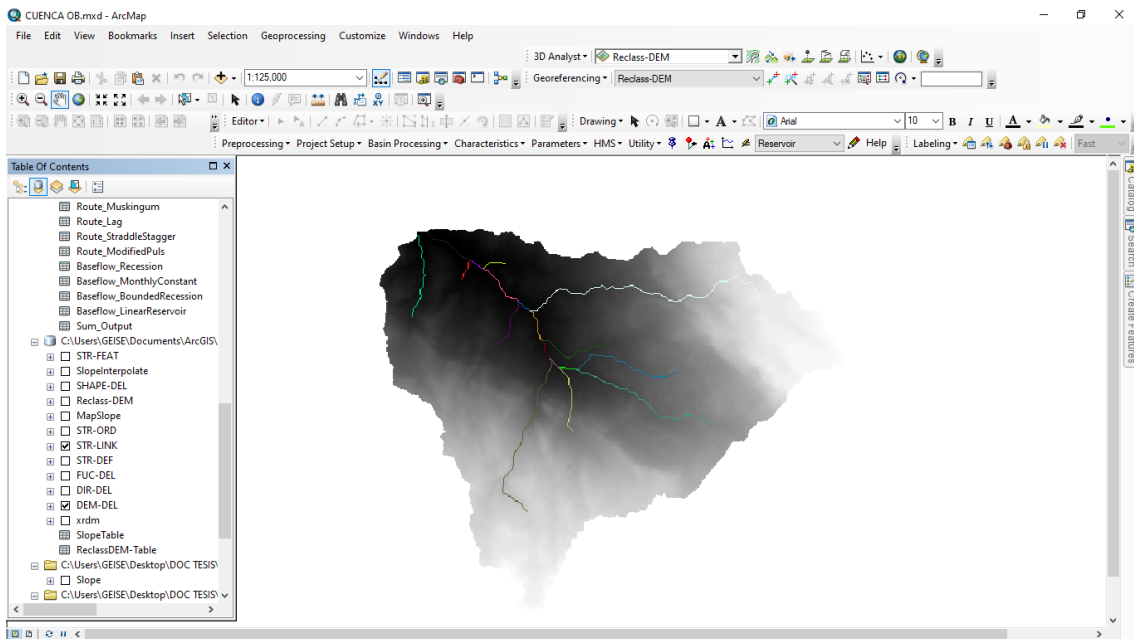


Imagen 11. Preproceso en ArcMap de la cuenca del puente Oscar Burga para ser exportado a HEC-HMS

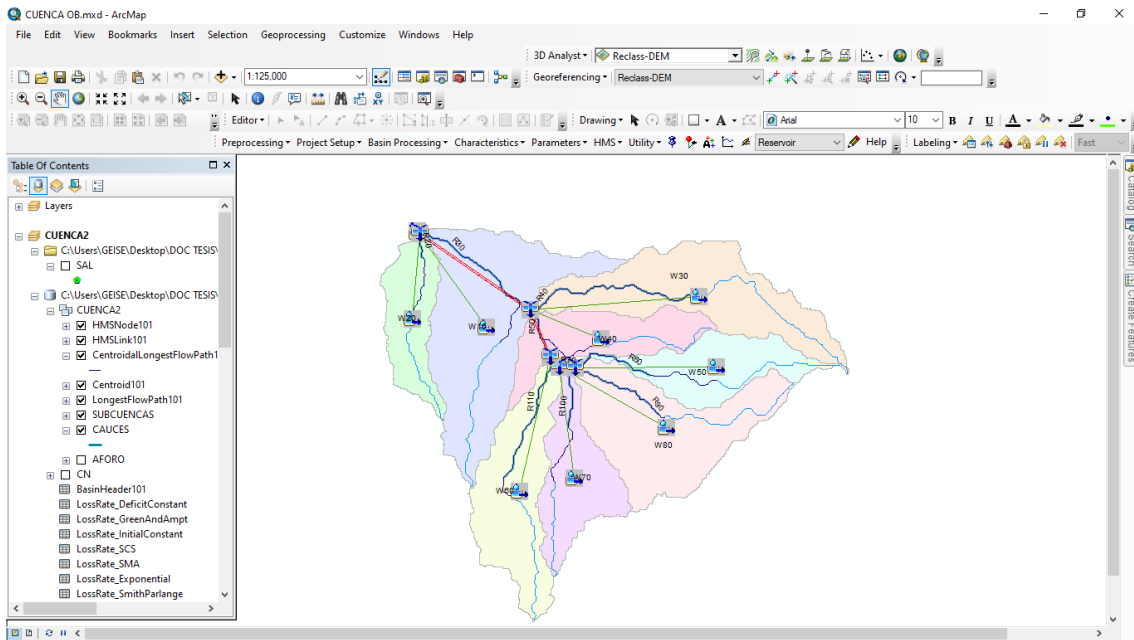
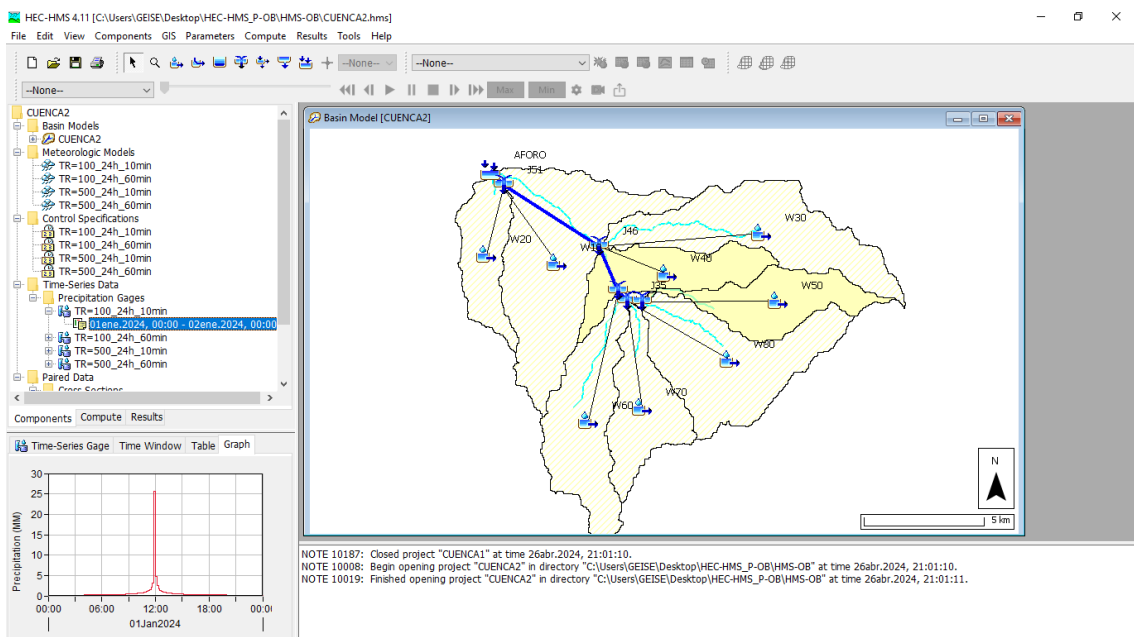


Imagen 12. Vista esquemática del modelamiento hidrológico en HEC-HMS de cuenca del puente Oscar Burga



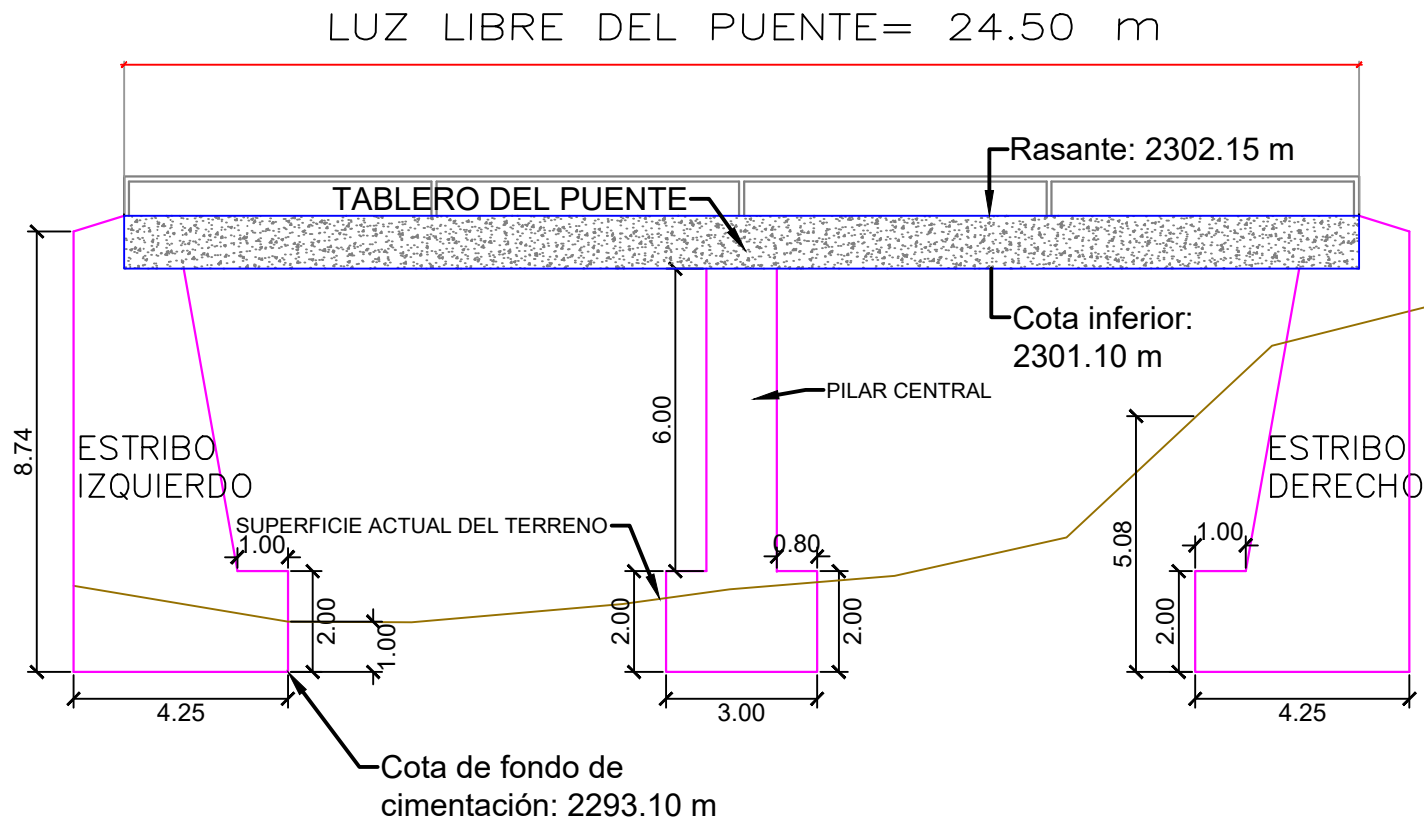
Anexo 11. Recolección de datos mediante entrevista personal

Yo, PEPRO RUIZ CAMPOS, identificado con DNI 2742 0659
residente en el Jr. Micaela Bastidas 220-Chota; declaro haber participado en la construcción del
puente Cementerio, durante el último año de gobierno del alcalde Segundo Tiella Rafael; donde
la medida de la subestructura se encuentra a 8 m desde la cota inferior del tablero; con una base
de 2 m de alto. Para mayor validez firmo el presente documento.



2742 0659

Anexo 12. Relación de planos



PROYECTO:

ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y EL PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC-RAS E IBER, CHOTA - 2023

UBICACIÓN

DEPARTAMENTO:

CAJAMARCA

PROVINCIA:

CHOTA

DISTRITO:

CHOTA

PROPIETARIOS:

Tesista: Geise Tenorio Chilcón
Tesista: Cristhian Vidarte Romero

ESPECIALISTA:

Tesistas

FIRMA Y SELLO:

PLANO:

PERFIL LONGITUDINAL DEL PUENTE CEMENTERIO

OBSERVACIONES:

LÁMINA:

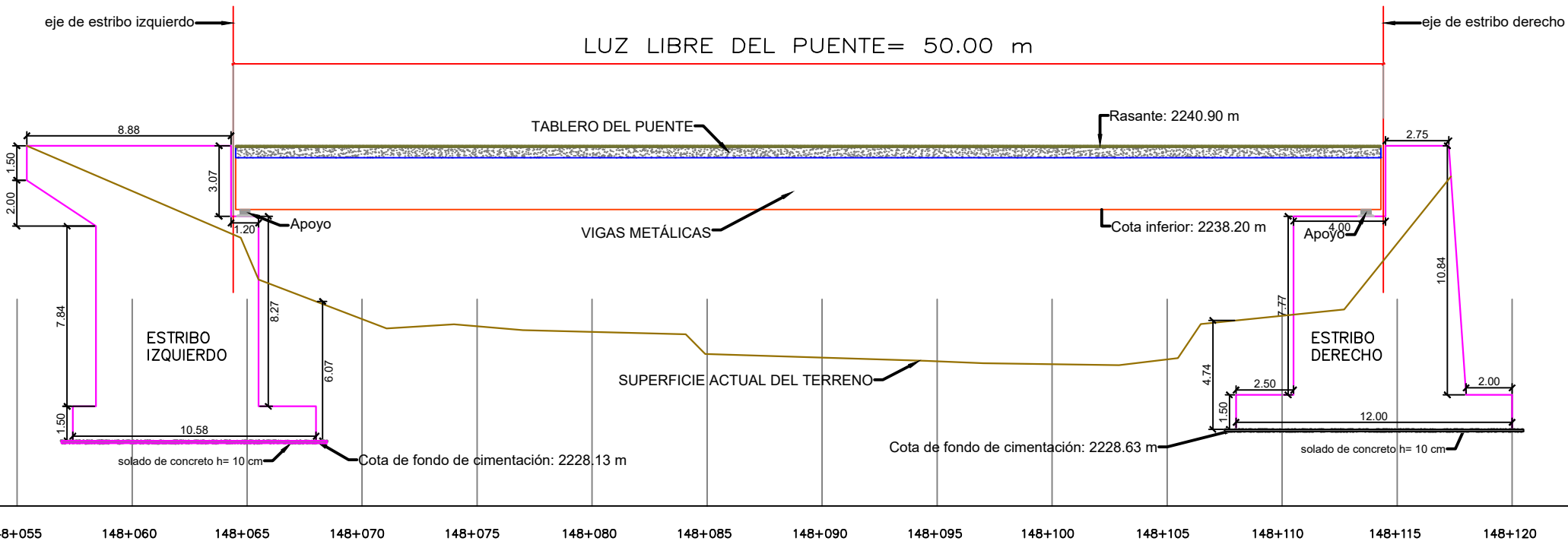
PL-01

ESCALA:

1 / 150

FECHA:

03/ 08 / 2024



PROYECTO:
ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y EL PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC-RAS E IBER, CHOTA - 2023

UBICACIÓN

DEPARTAMENTO:
CAJAMARCA

PROVINCIA:
CHOTA

DISTRITO:
CHOTA

PROPIETARIOS:

Tesista: Geise Tenorio Chilcón
 Tesista: Cristhian Vidarte Romero

ESPECIALISTA:

Tesistas

FIRMA Y SELLO:

PLANO:

PERFIL LONGITUDINAL DEL PUENTE OSCAR BURGA

OBSERVACIONES:

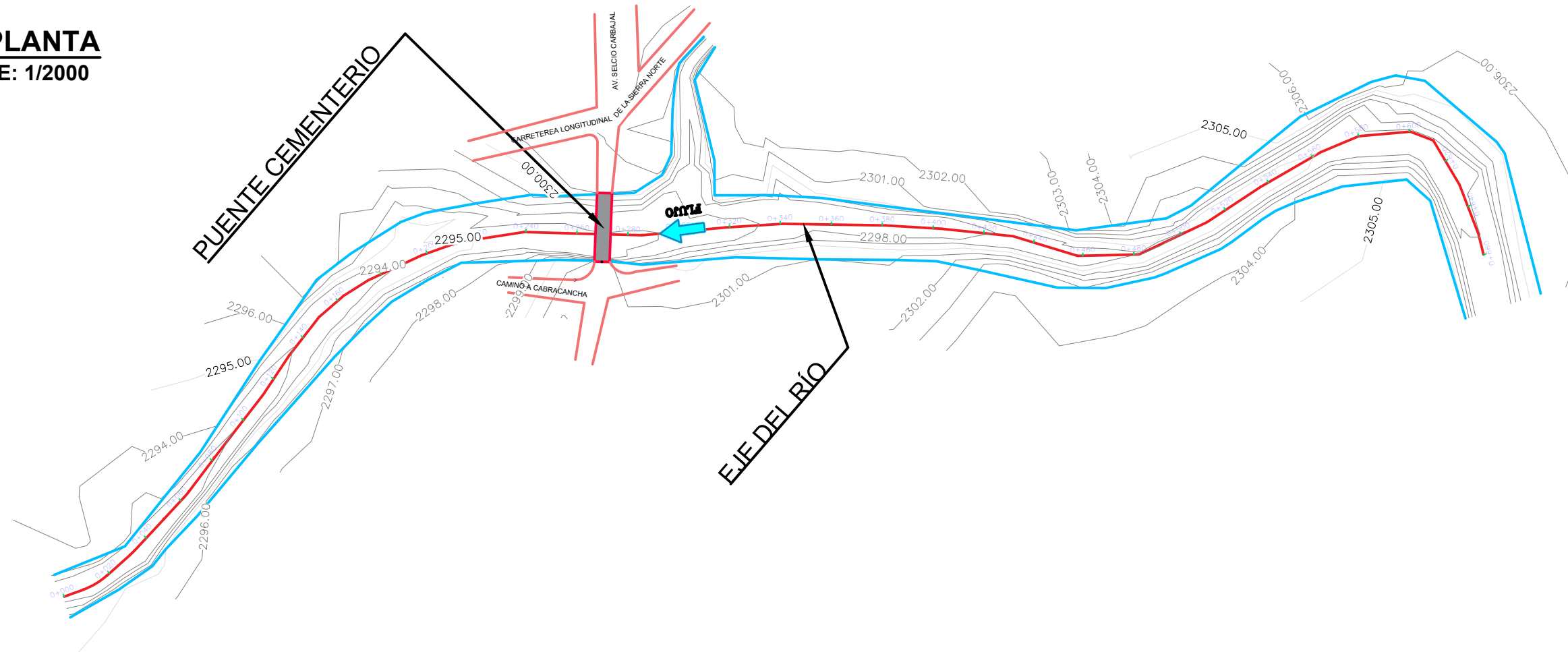
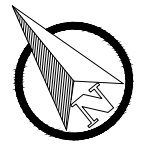
LÁMINA:

PL-02

ESCALA:
1 / 250

FECHA:
25 / 07 / 2024

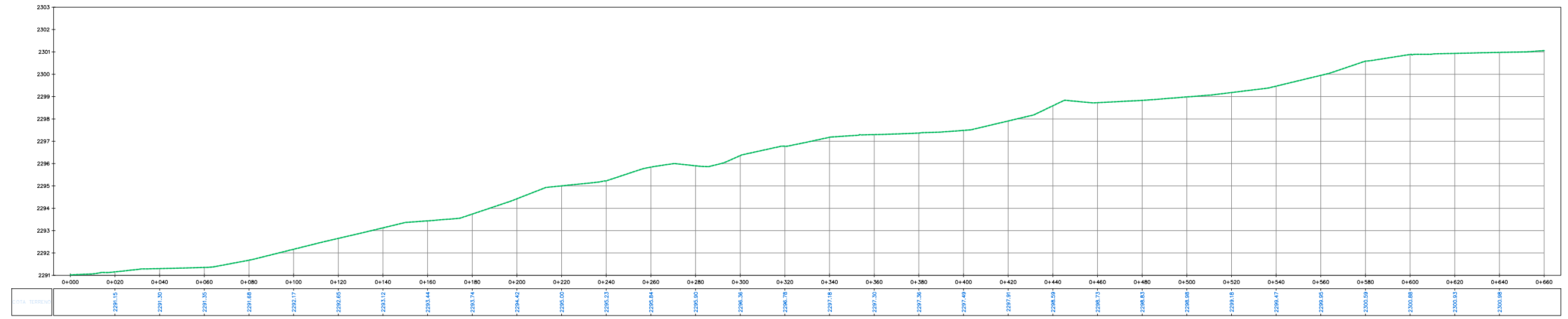
PLANTA
E: 1/2000



LEYENDA	
	Curvas de nivel
	Margenes del río
	Borde de carretera
	Eje del río
	Puente

PERFIL
E: 1/2000

PERFIL LONGITUDINAL – TRAMO I DEL RÍO



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

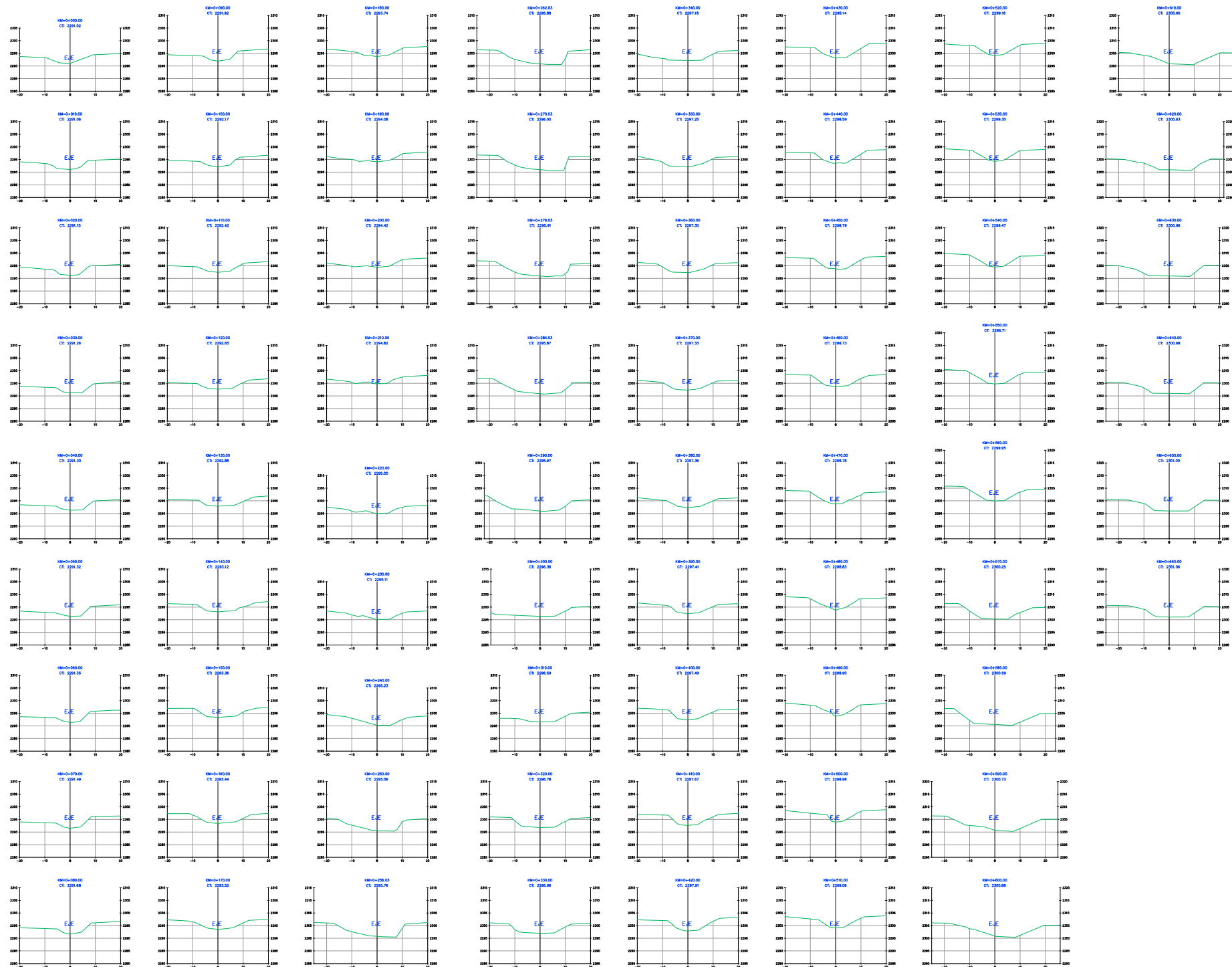
PROYECTO:
**ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL
DEL PUENTE CEMENTERIO Y EL
PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO
LOS MODELOS HEC-RAS E IBER,
CHOTA - 2023**

UBICACIÓN
DEPARTAMENTO:
CAJAMARCA
PROVINCIA:
CHOTA
DISTRITO:
CHOTA

PROPIETARIOS:
Tesista: Geise Tenorio Chilcón
Tesista: Cristhian Vidarte Romero
ESPECIALISTA:
Tesistas
FIRMA Y SELLO:

PLANO:
**PLANTA Y PERFIL DEL
TRAMO I DEL RÍO
CHOTANO**
OBSERVACIONES:

LÁMINA:
PP-01
ESCALA:
INDICADA
FECHA:
25 / 07 / 2024



PROYECTO:

ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y EL PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC-RAS E IBER, CHOTA - 2023

UBICACIÓN

DEPARTAMENTO:
CAJAMARCA

PROVINCIA:
CHOTA

DISTRITO:
CHOTA

PROPIETARIOS:

Tesista: Geise Tenorio Chilcón
Tesista: Cristhian Vidarte Romero

ESPECIALISTA:

Tesistas

FIRMA Y SELLO:

PLANO:

**SECCIONES
TRANVERSALES DEL
TRAMO I DEL RÍO
CHOTANO**

OBSERVACIONES:

LÁMINA:

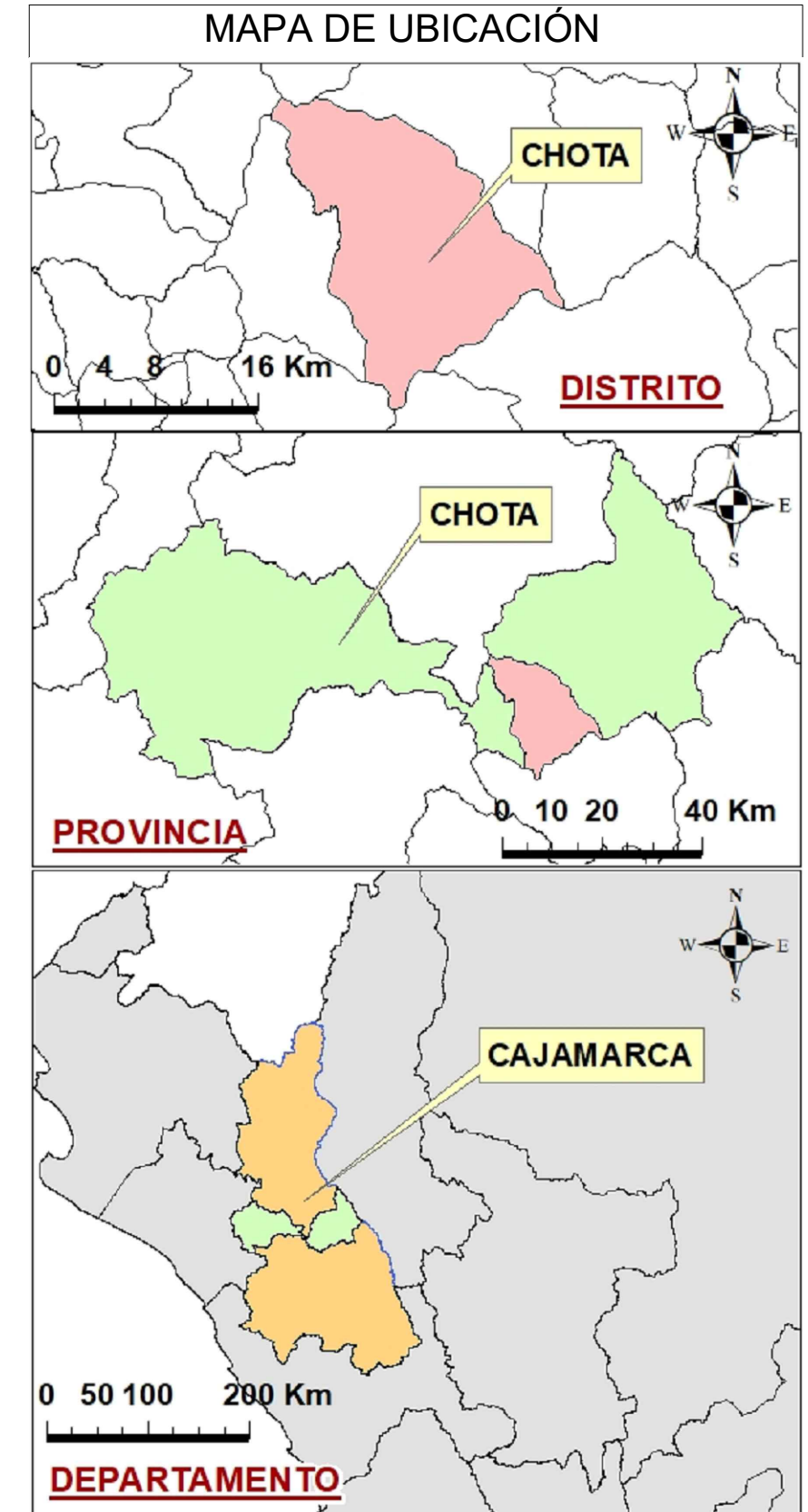
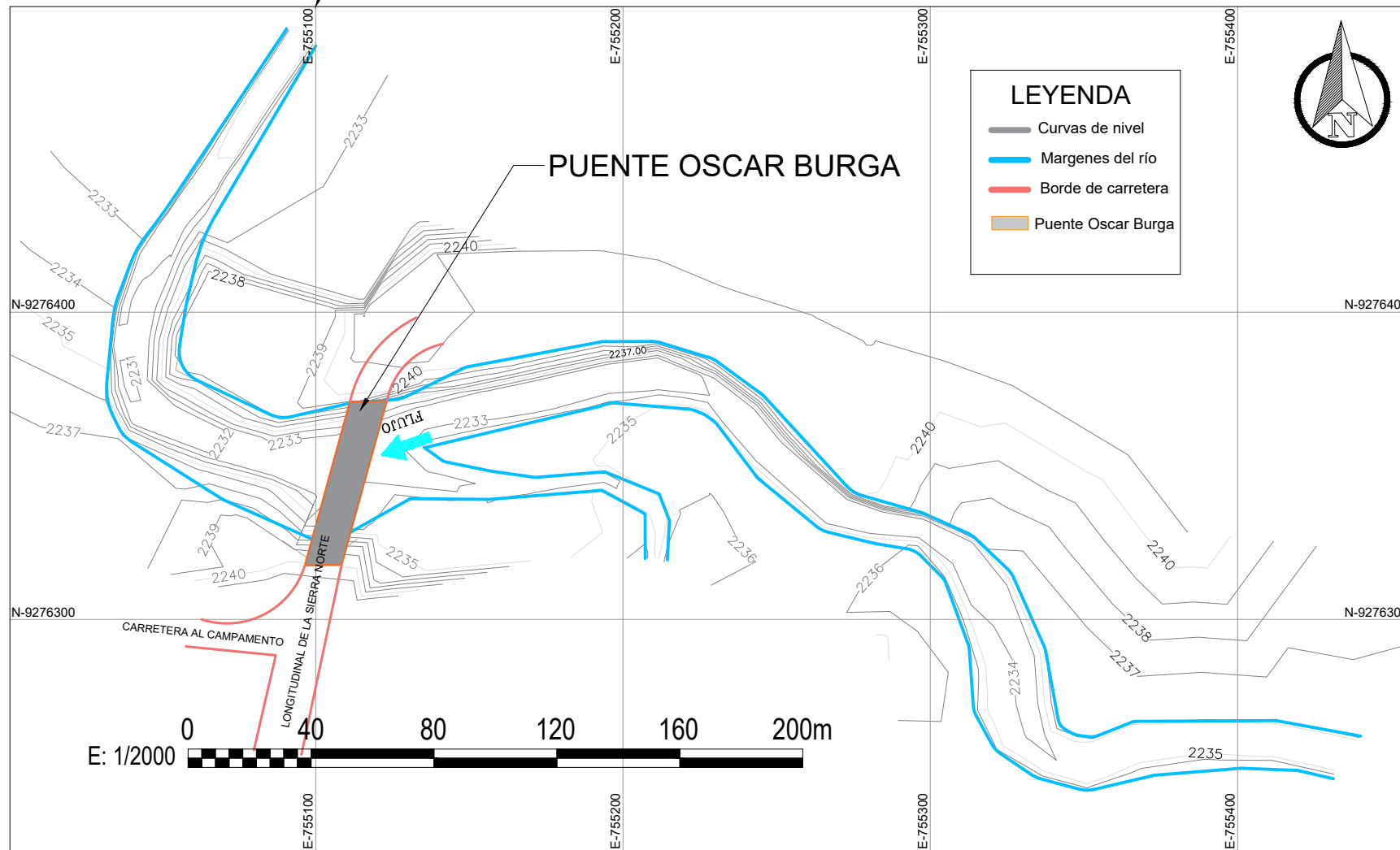
ST-01

ESCALA:
1/2000

FECHA:
25 / 07 / 2024

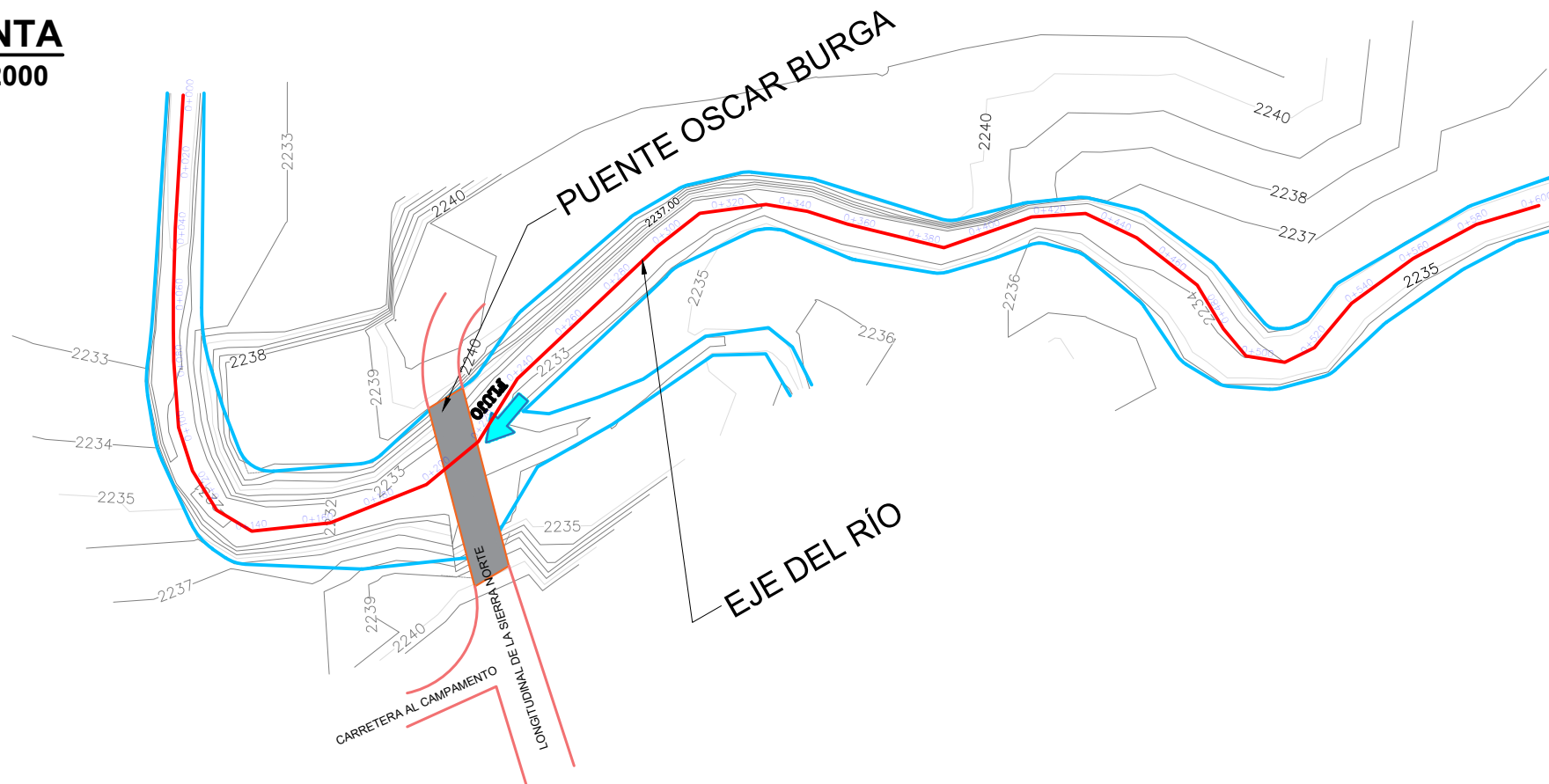


**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA ¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !</p>	PROYECTO:	UBICACIÓN	PROPIETARIOS:	PLANO:	LÁMINA:
	<p>ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y EL PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC-RAS E IBER, CHOTA - 2023</p>	DEPARTAMENTO:	Tesista: Geise Tenorio Chilcón Tesista: Cristhian Vidarte Romero	<p>PLANO TOPOGRÁFICO DEL TRAMO II DEL RÍO CHOTANO</p>	<p>PT-02</p>
		CAJAMARCA	ESPECIALISTA:		
		PROVINCIA:	Tesistas	OBSERVACIONES:	ESCALA:
CHOTA	FIRMA Y SELLO:		1 / 2000		
DISTRITO:			FECHA:		
CHOTA			25 / 07 / 2024		

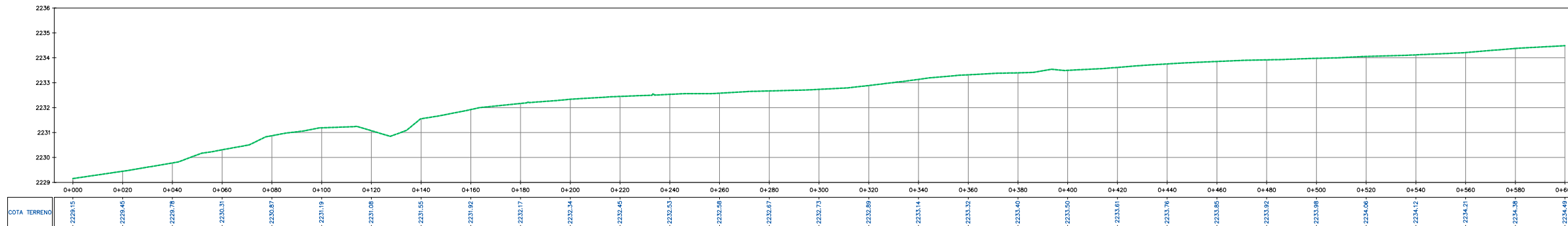
PLANTA
E: 1/2000



LEYENDA	
	Curvas de nivel
	Margenes del río
	Borde de carretera
	Eje del río
	Puente

PERFIL
E: 1/2000

PERFIL LONGITUDINAL-TRAMO II DEL RÍO CHOTANO




**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

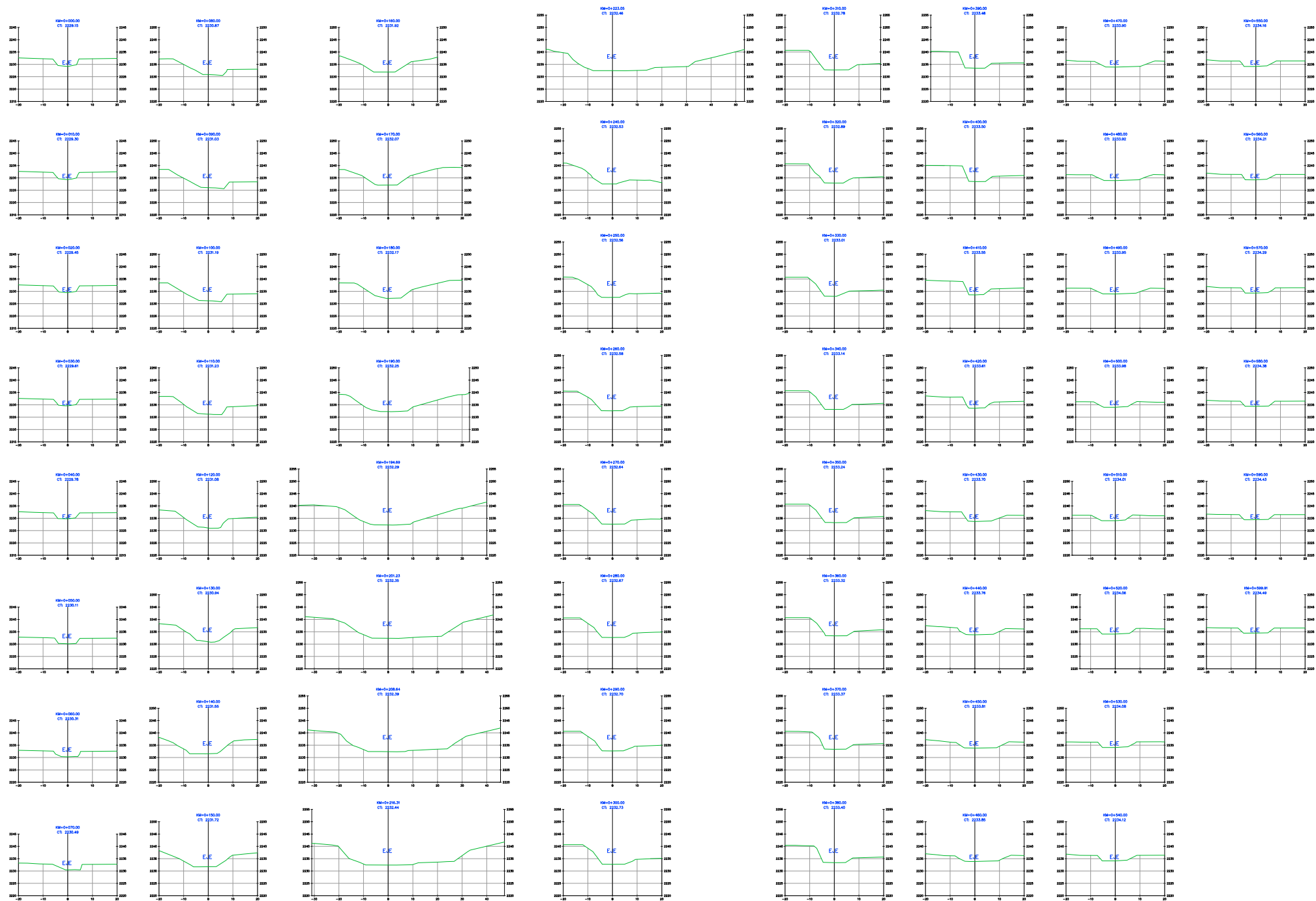
PROYECTO:
**ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL
DEL PUENTE CEMENTERIO Y EL
PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO
LOS MODELOS HEC-RAS E IBER,
CHOTA - 2023**

UBICACIÓN
DEPARTAMENTO:
CAJAMARCA
PROVINCIA:
CHOTA
DISTRITO:
CHOTA

PROPIETARIOS:
Tesisista: Geise Tenorio Chilcón
Tesisista: Cristhian Vidarte Romero
ESPECIALISTA:
Tesisistas
FIRMA Y SELLO:

PLANO:
**PLANTA Y PERFIL DEL
TRAMO II DEL RÍO
CHOTANO**
OBSERVACIONES:

LÁMINA:
PP-02
ESCALA:
INDICADA
FECHA:
25 / 07 / 2024



PROYECTO:
ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE CEMENTERIO Y EL PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO LOS MODELOS HEC-RAS E IBER, CHOTA - 2023

UBICACIÓN
 DEPARTAMENTO:
CAJAMARCA
 PROVINCIA:
CHOTA
 DISTRITO:
CHOTA

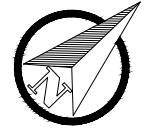
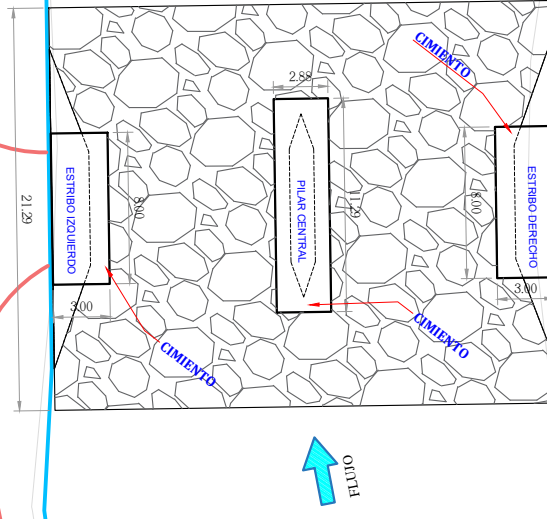
PROPIETARIOS:
 Tesista: Geise Tenorio Chilcón
 Tesista: Cristhian Vidarte Romero
 ESPECIALISTA:
Tesistas
 FIRMA Y SELLO:

PLANO:
SECCIONES TRANSVERSALES DEL TRAMO II DEL RÍO CHOTANO
 OBSERVACIONES:

LÁMINA:
ST-02
 ESCALA:
 1 / 2000
 FECHA:
 25 / 07 / 2024

PLANTA
E: 1/400

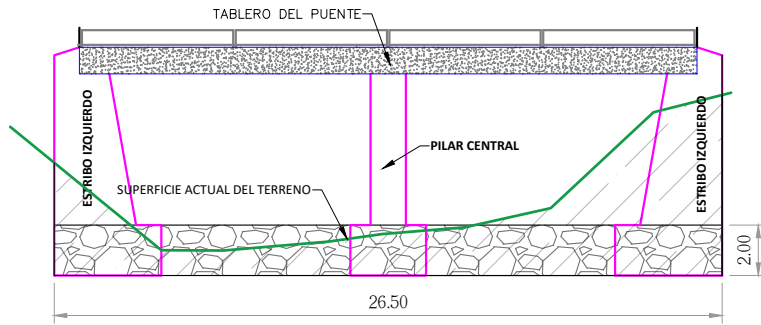
AMINO A CABRACANCHA



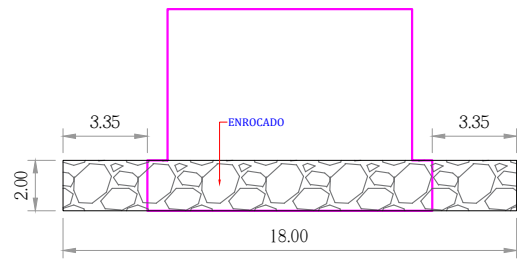
LEYENDA

- Curvas de nivel
- Margenes del río
- Borde de carretera

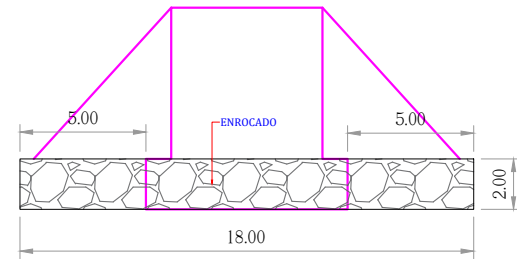
PERFIL Y SECCIONES
E: 1/300



PERFIL DE ENROCADO-SECCIÓN HIDRÁULICA
ESC: 1/300



SECCIÓN DE ENROCADO EN PILAR
ESC: 1/300



SECCIÓN DE ENROCADO EN ESTRIBOS
ESC: 1/300



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

PROYECTO:
**ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL
DEL PUENTE CEMENTERIO Y EL
PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO
LOS MODELOS HEC-RAS E IBER,
CHOTA - 2023**

UBICACIÓN
DEPARTAMENTO:
CAJAMARCA
PROVINCIA:
CHOTA
DISTRITO:
CHOTA

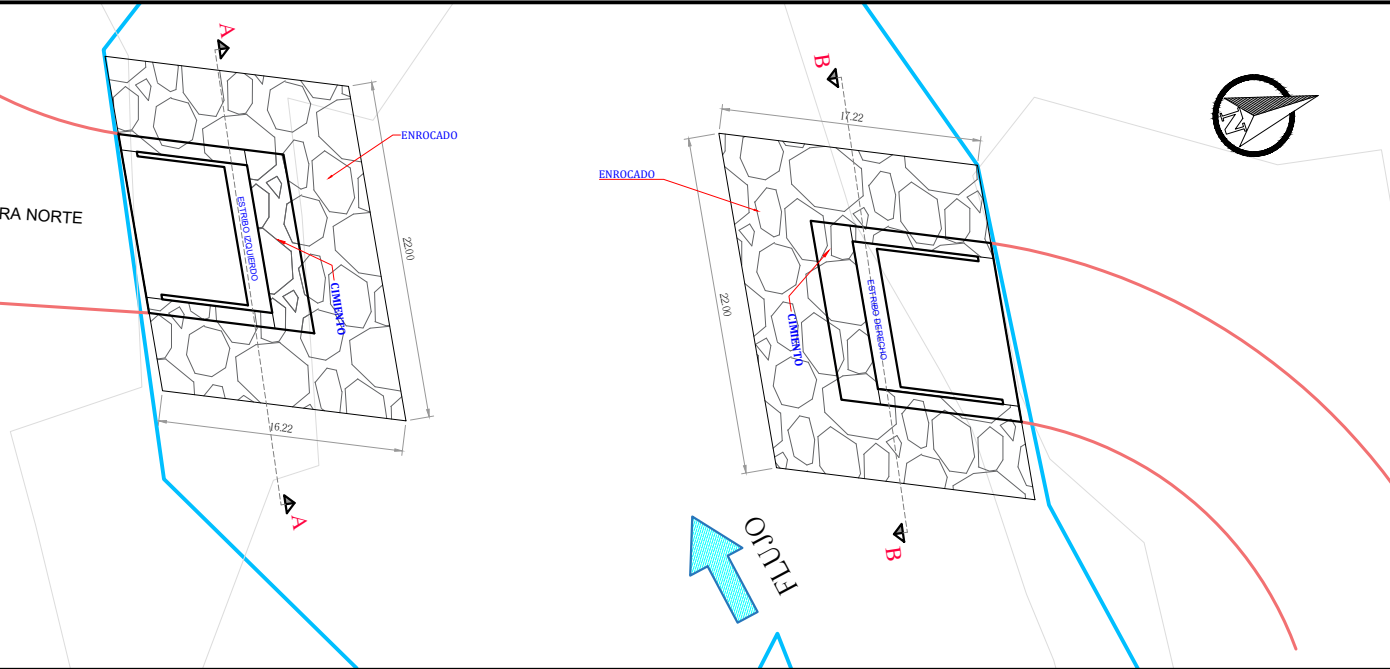
PROPIETARIOS:
Tesisista: Geise Tenorio Chilcón
Tesisista: Cristhian Vidarte Romero
ESPECIALISTA:
Tesisistas
FIRMA Y SELLO:

PLANO:
**ENROCADO EN
PILA Y ESTRIBOS DEL
PUENTE CEMENTERIO**
OBSERVACIONES:

LÁMINA:
PP-C-01
ESCALA:
INDICADA
FECHA:
25 / 07 / 2024

PLANTA
E: 1/500

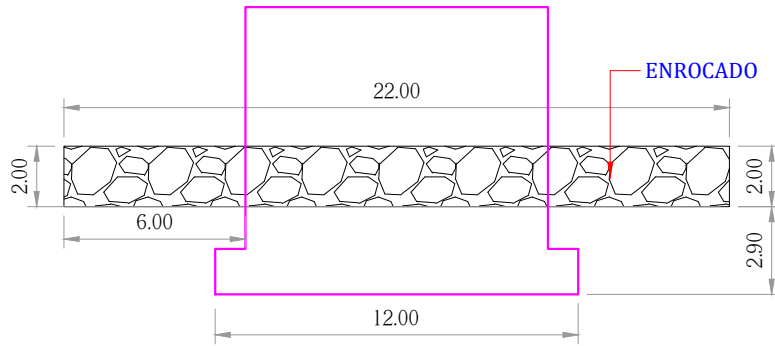
LONGITUDINAL DE LA SIERRA NORTE



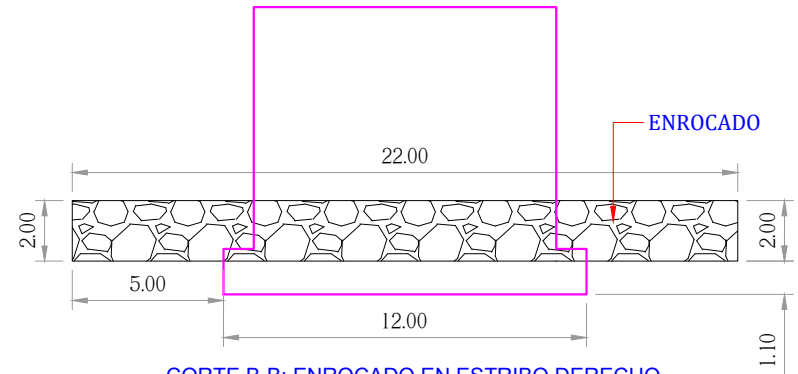
LEYENDA

- Curvas de nivel
- Margenes del río
- Borde de carretera

SECCIONES
E: 1/250



CORTE A-A : ENROCADO EN ESTRIBO IZQUIERDO
ESC: 1 / 250



CORTE B-B: ENROCADO EN ESTRIBO DERECHO
ESC: 1 / 250



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE CHOTA**
¡ UN SUEÑO HECHO REALIDAD !

PROYECTO:
**ANÁLISIS DE LA SOCAVACIÓN LOCAL
DEL PUENTE CEMENTERIO Y EL
PUENTE OSCAR BURGA APLICANDO
LOS MODELOS HEC-RAS E IBER,
CHOTA - 2023**

UBICACIÓN
DEPARTAMENTO:
CAJAMARCA
PROVINCIA:
CHOTA
DISTRITO:
CHOTA

PROPIETARIOS:
Tesisista: Geise Tenorio Chilcón
Tesisista: Cristhian Vidarte Romero
ESPECIALISTA:
Tesisistas
FIRMA Y SELLO:

PLANO:
**ENROCADO EN ESTRIBOS
DEL PUENTE OSCAR
BURGA**
OBSERVACIONES:

LÁMINA:
PP-C-02
ESCALA:
INDICADA
FECHA:
25 / 07 / 2024