

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA



Estimación de la socavación en las pilas del puente del río
Yuracyacu en Nueva Cajamarca

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

AUTORA

Genesis Cordova Bances

ASESORA

Dayma Sadami Carmenates Hernández

Rioja, Perú

2024

METADATOS COMPLEMENTARIOS**Datos del autor**

| | |
|-----------------------------------|----------------|
| Nombres | GENESIS |
| Apellidos | CORDOVA BANCES |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número del documento de identidad | 47197807 |
| Número de Orcid (opcional) | |

Datos del asesor

| | |
|-----------------------------------|---|
| Nombres | DAYMA SADAMI |
| Apellidos | CARMENATES HERNANDEZ |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número del documento de identidad | 49086915 |
| Número de Orcid (obligatorio) | https://orcid.org/0000-0001-5482-7562 |

Datos del Jurado**Datos del presidente del jurado**

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Nombres | MAIQUEL |
| Apellidos | LOPEZ SILVA |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número del documento de identidad | 49087489 |

Datos del segundo miembro

| | |
|-----------------------------------|-----------------|
| Nombres | FELIX GERMAN |
| Apellidos | DELGADO RAMIREZ |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número del documento de identidad | 22264222 |

Datos del tercer miembro

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Nombres | VICTOR |
| Apellidos | GARCES DIAZ |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número del documento de identidad | 32860015 |

Datos de la obra

| | |
|---|---|
| Materia* | Hidrología, caudales, pilas, puente, socavación |
| Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado: enlace | https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.00.00 |
| Idioma (Normal ISO 639-3) | SPA - español |
| Tipo de trabajo de investigación | Tesis |
| País de publicación | PE - PERÚ |
| Recurso del cual forma parte (opcional) | |
| Nombre del grado | Ingeniero Civil |
| Grado académico o título profesional | Título Profesional |
| Nombre del programa | Ingeniería Civil |
| Código del programa Consultar el listado: enlace | 732016 |

*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).



FACULTAD DE INGENIERÍA

ACTA N° 057-2024-UCSS-FI/TPICIV

**SUSTENTACION DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL
FILIAL RIOJA: NUEVA CAJAMARCA**

Los Olivos, 03 de mayo del 2024

Siendo las 10:32 horas del 03 de mayo del 2024, utilizando los recursos para la videoconferencia disponibles en la Universidad Católica Sedes Sapientiae, se dio inicio a la sustentación de la Tesis:

Estimación de la socavación en las pilas del puente del río Yuracyacu en Nueva Cajamarca

Por la Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

CORDOVA BANCES, GENESIS

Ante el Jurado calificador conformado por el:

Dr. LOPEZ SILVA, Maiquel

Dr. DELGADO RAMÍREZ, Félix German

Mgr. GARCÉS DÍAZ, Víctor

Presidente

Secretario

Miembro

Siendo las 11:55 horas, habiendo sustentado y atendido las preguntas realizadas por cada uno de los miembros del jurado; y luego de la respectiva deliberación, el jurado le otorgó la calificación de:

APROBADO

En mérito a la calificación obtenida se expide la presente acta con la finalidad que el Consejo de Facultad considere se le otorgue al Bachiller CORDOVA BANCES, GENESIS el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

En señal de conformidad firmamos,

.....
Mgtr. GARCÉS DÍAZ, Víctor
Miembro

.....
Dr. DELGADO RAMÍREZ, Félix German
Secretario

.....
Dr. LOPEZ SILVA, Maiquel
Presidente

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Lima, 31 de mayo del 2024

Señor(a),
Víctor Garcés Díaz
Jefe del Departamento de Investigación/Coordinador Académico de Unidad de Posgrado
Facultad Ingeniería UCSS

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que la tesis, bajo mi asesoría, con título: Estimación de la socavación en las pilas del puente del río Yuracyacu en Nueva Cajamarca por Genesis Cordova Bances (Código 2014101428 y DNI 47197807) para optar el título profesional de Ingeniero Civil ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser publicado.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 14 %**. Por tanto, en mi condición de asesor, firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



DAYMA CARMENATES HERNANDEZ
DNI:49086915
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5482-7562>
Facultad de Ingeniería UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

Dedicatoria

A Dios todopoderoso, por su gracia de bendecir mi vida con la sabiduría y la fortaleza para alcanzar mis metas y sueños personales, por su misericordia y bondad de permitirnos vivir plenamente forjando mi sendero e iluminándome siempre.

A mi padre y a mis hermanas, por ser el motivo y el motor de enfrentar las adversidades para progresar. Al recuerdo de mi madre que siempre está conmigo y a toda mi familia por su apoyo.

Agradecimiento

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae, alma mater de mi formación académica, por haberme dado la oportunidad de crecer personal y profesionalmente, por el soporte y la disposición de atención brindadas.

Asimismo, agradezco a mi asesora Dayma Sadami Carmenates Hernández, por su esmero y paciencia durante todo el proceso del desarrollo de la presente tesis ya mis amigos que han podido compartir su conocimiento y lograr este gran reto profesional.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo estimar la socavación en las pilas del puente del río Yuracyacu en Nueva Cajamarca. La metodología utilizada fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, con método científico, tuvo un alcance descriptivo y diseño no experimental tipo longitudinal. La Clasificación SUCS(SP) y AASHTO (A1-a (1)), definió un suelo normal con arenas mal graduadas. El estudio topográfico de 1+200 km arrojó una pendiente de 0.67% representado un terreno plano. El estudio hidrológico e hidráulico permitió obtener parámetros de forma, relieve y de red hídrica de la subcuenca.

Las precipitaciones se trabajaron con una serie histórica de 45 años, con la prueba de bondad Kolmogorov – Smirnov (k-s) se determinó la distribución Pearson III como función de mejor ajuste. El modelo matemático de Aparicio permitió obtener curvas IDF y mediante los hietogramas de frecuencia calculados para períodos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años, se obtuvo caudales máximos de 423.31 m³/s, 499.77 m³/s, 576.83 m³/s y 679.20 m³/s, respectivamente. La socavación, se determinó mediante la aplicación de 4 métodos: Maza-Sánchez, Larras, Universidad Estatal de Colorado y Arunachalam, comparados con las ecuaciones numéricas del HEC-RAS. Finalmente se obtuvo una socavación de 2.58 m para un período de retorno de 50 años y para 500 años un valor de 2.74 m. Se propuso la obra de protección del enrocado en la pila central del río Yuracyacu para contrarrestar la socavación, para un período de retorno de 50 años, cuyo presupuesto fue de S/. 71,581.16 soles.

Palabras clave: Hidrología, caudales, pilas, puente, socavación.

Abstract

The objective of this research was to estimate the scour in the piers of the Yuracyacu River bridge in Nueva Cajamarca. The methodology used was applied, with a quantitative approach, with a scientific method, it had a descriptive scope and a longitudinal non-experimental design. The SUCS(SP) and AASHTO Classification (A1-a (1)) defined a normal soil with poorly graded sands. The topographic study of 1+200 km showed a slope of 0.67%, representing flat terrain. The hydrological and hydraulic study made it possible to obtain shape, relief and water network parameters of the sub-basin.

The rainfall was worked with a historical series of 45 years, with the Kolmogorov - Smirnov goodness test (k-s) the Pearson III distribution was determined as the best fit function. Aparicio's mathematical model allowed obtaining IDF curves and through the frequency hyetographs calculated for return periods of 50, 100, 200 and 500 years, maximum flows of 423.31 m³/s, 499.77 m³/s, 576.83 m³/s and 679.20 m³/s, respectively. The scour was determined by applying 4 methods: Maza-Sánchez, Larras, Colorado State University and Arunachalam, compared with the numerical equations of the HEC-RAS. Finally, a scour of 2.58 m was obtained for a return period of 50 years and for 500 years a value of 2.74 m. The work to protect the rockfill in the central stack of the Yuracyacu River was proposed to counteract scour, for a return period of 50 years, whose budget was S/. 71,581.16 soles.

Key words: hydrology, flows, piles, bridge, scour.

ÍNDICE

| | |
|---|------------|
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimiento..... | iii |
| Resumen | iv |
| Abstract | v |
| Índice de tablas | ix |
| Índice de figuras | xi |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.1. Formulación del problema..... | 5 |
| 1.1.1. Problema principal | 5 |
| 1.1.2. Problemas secundarios..... | 5 |
| 1.2. Objetivos de la investigación..... | 6 |
| 1.2.1. Objetivo principal..... | 6 |
| 1.2.2. Objetivos secundarios | 6 |
| 1.3. Justificación e importancia de la investigación | 6 |
| 1.3.1. Justificación Teórica..... | 6 |
| 1.3.2. Justificación Práctica..... | 6 |
| 1.3.3. Justificación Social..... | 7 |
| 1.3.4. Importancia | 7 |
| 1.4. Delimitación del área de investigación | 8 |
| 1.4.1. Espacial | 8 |
| 1.4.2. Del contenido | 10 |
| 1.4.3. Temporal..... | 10 |
| 1.5. Limitaciones de la investigación..... | 11 |
| CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO | 12 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 2.1. | Antecedentes nacionales e internacionales | 12 |
| 2.1.1. | Antecedentes internacionales | 12 |
| 2.1.2. | Antecedentes nacionales | 13 |
| 2.2. | Bases teóricas | 15 |
| 2.2.1. | Estudio de Mecánica de Suelos | 15 |
| 2.2.2. | Estudio topográfico | 18 |
| 2.2.3. | Estudio hidrológico..... | 21 |
| 2.2.4. | Máximas avenidas | 29 |
| 2.2.5. | Precipitación máxima en 24 horas | 31 |
| 2.2.6. | Período de retorno (Tr) | 33 |
| 2.2.7. | Curvas Intensidad Duración y Frecuencia (IDF)..... | 34 |
| 2.2.8. | Tiempo de concentración (Tc)..... | 34 |
| 2.2.9. | Coeficiente de Rugosidad de Manning..... | 35 |
| 2.2.10. | Modelamiento hidrológico. | 36 |
| 2.2.11. | Puentes..... | 37 |
| 2.2.12. | Socavación | 41 |
| 2.3. | Definición de términos básicos..... | 57 |
| CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN | | 59 |
| 3.1. | Hipótesis de la investigación | 59 |
| 3.1.1. | Hipótesis principal..... | 59 |
| 3.1.2. | Hipótesis secundarias | 59 |
| 3.2. | Variables de investigación | 59 |
| 3.2.1. | Variable Independiente | 59 |
| 3.2.2. | Variable Dependiente..... | 59 |
| 3.3. | Operacionalización de las variables | 60 |
| 4.1. | Diseño de Ingeniería..... | 62 |
| 4.1.1. | Tipo..... | 62 |

| | |
|---|------------|
| 4.1.2. Método | 62 |
| 4.1.3. Alcance | 63 |
| 4.1.4. Diseño..... | 63 |
| 4.2. Población, muestra y muestreo..... | 63 |
| 4.2.1. Población | 63 |
| 4.2.2. Muestra..... | 64 |
| 4.2.3. Muestreo | 64 |
| 4.3. Técnicas e instrumentos de investigación | 65 |
| 4.3.1. Técnicas de recolección de datos | 65 |
| 4.3.2. Técnicas de laboratorio..... | 65 |
| 4.3.3. Técnicas de análisis de la información..... | 66 |
| 4.3.4. Instrumentos de Investigación..... | 67 |
| 4.4. Descripción de los procedimientos..... | 69 |
| CAPITULO 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL | 71 |
| 5.1. Proyecto piloto, pruebas, ensayos, prototipos, modelamiento..... | 71 |
| 5.2. Aplicación estadística. | 77 |
| CAPITULO 6. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 93 |
| 6.1. Resultados..... | 93 |
| 6.2. Contratación de Hipótesis | 141 |
| 6.2.1. Contratación de hipótesis general. | 141 |
| 6.2.2. Contratación de hipótesis específicas | 142 |
| 6.3. Conclusiones | 143 |
| 6.4. Recomendaciones | 145 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 147 |
| ANEXOS | 155 |

Índice de tablas

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 1 | Ubicación del puente Yuracyacu – Nueva Cajamarca. | 8 |
| Tabla 2 | Muestras de agregado grueso. | 18 |
| Tabla 3 | Tipología de cuencas según el índice “k” | 25 |
| Tabla 4 | Correlación de porcentaje de pendiente y tipo de superficie | 27 |
| Tabla 5 | Valores críticos $\Delta 0$ de Smirnov - Kolmogorov Δ | 28 |
| Tabla 6 | Parámetros que influyen en la socavación en pilas..... | 44 |
| Tabla 7 | Operacionalización de variables | 61 |
| Tabla 8 | Generalidades de la muestra – Puente Yuracyacu | 64 |
| Tabla 9 | Parámetros de forma de una cuenca | 75 |
| Tabla 10 | Parámetros de relieve de una cuenca..... | 76 |
| Tabla 11 | Parámetros de red hídrica de una cuenca | 76 |
| Tabla 12 | Valores para el Coeficiente de Manning. | 81 |
| Tabla 13 | Factor de corrección f_c . Método de Maza – Sánchez. | 86 |
| Tabla 14 | Factor de corrección por la forma del pilar K_f . Método de CSU..... | 88 |
| Tabla 15 | Factor de corrección por el ángulo de ataque K_ϕ . Método de CSU | 88 |
| Tabla 16 | Cálculo de diámetro D50 y/o D95. | 89 |
| Tabla 17 | Criterios para adoptar K_a . Método de CSU | 90 |
| Tabla 18 | Datos del puente del río Yuracyacu, para Software HEC-RAS | 90 |
| Tabla 19 | Cotas del levantamiento topográfico | 94 |
| Tabla 20 | Cuadro resumen de clasificación de suelos de 02 calicatas | 97 |
| Tabla 21 | Resultados D50 y D95 | 98 |
| Tabla 22 | Resultados de parámetros de forma de la subcuenca del río Yuracyacu. | 104 |
| Tabla 23 | Resultados de parámetros de relieve de la subcuenca del río Yuracyacu | 104 |
| Tabla 24 | Resultados de parámetros de la red hídrica de la subcuenca del río Yuracyacu..... | 105 |
| Tabla 25 | Datos de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación de Naranjillo desde el año 1978 al 2022. | 106 |
| Tabla 26 | Precipitaciones máximas por cada tiempo de retorno | 109 |
| Tabla 27 | Intensidades máximas por cada tiempo de retorno | 110 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 28 Caudal de diseño para un período de retorno de 50-100-200-500 años. | 113 |
| Tabla 29 Método de Larras..... | 114 |
| Tabla 30 Método de Arunachalam..... | 114 |
| Tabla 31 Método de Maza – Sánchez (1968). | 115 |
| Tabla 32 Cálculo de Coeficiente de Manning..... | 117 |
| Tabla 33 Datos de resultados de socavación en el HEC-RAS..... | 130 |
| Tabla 34 Diámetro de la roca- método de Maza – Álvarez. | 133 |
| Tabla 35 Diámetro de la roca- método de HEC-18 (1993). | 133 |
| Tabla 36 Metrado para enrocado de protección – 50 años. | 136 |
| Tabla 37 Presupuesto para enrocado de protección – 50 años. | 137 |
| Tabla 38 Período de retorno por falla admisible – 200 años. | 138 |
| Tabla 39 Metrado para enrocado de protección – 200 años. | 140 |
| Tabla 40 Presupuesto para enrocado de protección – 200 años. | 140 |
| Tabla 41 Detalle de presupuesto incurrido durante la investigación. | 156 |
| Tabla 42 Matriz de consistencia de la investigación. | 157 |
| Tabla 43 Coeficientes de la ecuación lineal múltiple del Modelo Potencial Aparicio (1992). | 169 |
| Tabla 44 Distribución de precipitaciones para un TR=100 años. | 173 |
| Tabla 45 Método de bloque alterno para un TR=100 años. | 174 |
| Tabla 46 Duración, Intensidad y Precipitaciones, para un TR=200 años. | 175 |
| Tabla 47 Resultados de análisis de precipitaciones para un TR=500 años. | 176 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 Ubicación del río Yuracyacu..... | 9 |
| Figura 2 Puente Yuracyacu – año 2023. | 9 |
| Figura 3 Río Yuracyacu - año 2023..... | 10 |
| Figura 4 Método ASSHTO- Clasificación de suelos. | 16 |
| Figura 5 Método SUCS-Clasificación de suelos. | 17 |
| Figura 6 Nivelación diferencial de un perfil topográfico | 20 |
| Figura 7 Esquema gráfico de las secciones transversales | 20 |
| Figura 8 Sección transversal del cauce hídrico | 21 |
| Figura 9 Área de una cuenca | 23 |
| Figura 10 Subdivisión de cuencas..... | 23 |
| Figura 11 Longitud de cauce principal..... | 24 |
| Figura 12 Perímetro de cuenca | 24 |
| Figura 13 Factor de forma..... | 26 |
| Figura 14 Caudal máximo diario..... | 30 |
| Figura 15 Caudal máximo horario | 30 |
| Figura 16 Coeficientes de duración de lluvias desde 1 hora a 48 horas. | 31 |
| Figura 17 Esquema del método de alternar bloques | 33 |
| Figura 18 Relación entre período de retorno e intensidad | 33 |
| Figura 19 Esquema curvas IDF | 34 |
| Figura 20 Efectos de la forma respecto a las cuencas en el T_c | 35 |
| Figura 21 Valores de rugosidad para las diferentes superficies | 36 |
| Figura 22 Componentes de un puente | 38 |
| Figura 23 Sección transversal del tablero de un puente | 39 |
| Figura 24 Superestructura y subestructura de un puente | 39 |
| Figura 25 Forma de pilas de un puente..... | 40 |
| Figura 26 Tipo de pilas de puente y superestructura | 40 |
| Figura 27 Relación de la velocidad y el tiempo en la profundidad de la socavación | 41 |
| Figura 28 Esquema gráfico de los tipos de socavación | 43 |
| Figura 29 Parámetros presentes en la socavación de puentes | 45 |
| Figura 30 Socavación general..... | 46 |
| Figura 31 Coeficiente K_f | 47 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Figura 32 | Coeficiente K_g | 47 |
| Figura 33 | Coeficiente K_s | 48 |
| Figura 34 | Socavación local en un pilar rectangular | 50 |
| Figura 35 | Socavación local en un pilar circular | 51 |
| Figura 36 | Socavación local en un pilar elongada | 51 |
| Figura 37 | Comportamiento del enrocado – Protección de pilares. | 55 |
| Figura 38 | Técnicas de laboratorio – Normas en Mecánica de suelos..... | 66 |
| Figura 39 | Diagrama de procedimiento de estudios básicos del área de investigación | 69 |
| Figura 40 | Bosquejo de procedimiento del estudio hidrológico de la zona de investigación. | 69 |
| Figura 41 | Esquema de procedimiento de socavación en pilas del puente..... | 70 |
| Figura 42 | Progresiva 0+000, inicio de levantamiento topográfico del puente Yuracyacu..... | 71 |
| Figura 43 | Área de influencia topográfica de la zona de estudio..... | 72 |
| Figura 44 | Peso húmedo | 73 |
| Figura 45 | Tamizado de muestra..... | 74 |
| Figura 46 | Carta Nacional de la zona 18M del Instituto Geográfico Nacional IGN .. | 75 |
| Figura 47 | Inicio de Software Hydrognomon para procesamiento de datos. | 77 |
| Figura 48 | Influencia de factores sobre coeficiente “n”. | 80 |
| Figura 49 | Formas usuales de pilares para el Método de Larras. | 83 |
| Figura 50 | Factor de corrección K_f por forma de pilar. | 84 |
| Figura 51 | Factor de corrección K_ϕ por ángulo de ataque del flujo. | 84 |
| Figura 52 | Factor de corrección por la forma de lecho K_c . Método de CSU. | 89 |
| Figura 53 | Entorno del software HEC RAS..... | 90 |
| Figura 54 | Vista en planta del puente en el río Yuracyacu y sección longitudinal. .. | 93 |
| Figura 55 | Levantamiento topográfico de 1 km del río Yuracyacu. | 95 |
| Figura 56 | Sección transversal en eje el puente | 96 |
| Figura 57 | Excavación de calicata 1, con presencia de fragmentos de piedra..... | 96 |
| Figura 58 | Curva granulométrica – calicata 1 | 98 |
| Figura 59 | Curva granulométrica – calicata 2. | 99 |
| Figura 60 | Perfil estratigráfico de estudios de suelos- Calicata 1..... | 100 |
| Figura 61 | Perfil estratigráfico de estudios de suelos-Calicata 2..... | 101 |

| | |
|---|-----|
| Figura 62 Topografía y delimitación de la subcuenca del río Yuracyacu (Software ArcGIS)..... | 103 |
| Figura 63 Prueba de Kolmogórov-Smirnov para determinar la bondad de ajuste con las probabilidades entre sí | 109 |
| Figura 64 Curvas de Intensidad Frecuencia para período de retorno 50-100-200 y 500 años..... | 111 |
| Figura 65 Hietogramas para período de retorno 50-100-200 y 500 años. | 112 |
| Figura 66 Socavación por el método de Universidad de Colorado. | 117 |
| Figura 67 Condiciones para calcular el coeficiente Manning. | 118 |
| Figura 68 Creación del proyecto de simulación de socavación de las pilas del puente del río Yuracyacu. | 119 |
| Figura 69 Geometría del puente y secciones transversales del río Yuracyacu.... | 120 |
| Figura 70 Sección principal del puente del río Yuracyacu | 120 |
| Figura 71 Vista en elevación del puente del río Yuracyacu – Aguas arriba y aguas abajo..... | 121 |
| Figura 72 Caudales para cada tiempo de retorno | 122 |
| Figura 73 Pendiente de cauce principal del río Yuracyacu..... | 122 |
| Figura 74 Sección transversal Km 0+620, para TR =50 años. | 123 |
| Figura 75 Sección transversal Km 0+611.90, ubicación del puente aguas arriba, para TR =50 años. | 124 |
| Figura 76 Sección transversal Km 0+611.90, ubicación del puente aguas abajo, para TR =50 años..... | 124 |
| Figura 77 Sección transversal Km 0+604, para TR =50 años. | 125 |
| Figura 78 Flujo en cauce del río Yuracyacu en 3D, para un TR de 50 años..... | 126 |
| Figura 79 Socavación para un TR de 50 años. | 127 |
| Figura 80 Socavación para un TR de 100 años. | 128 |
| Figura 81 Socavación para un TR de 200 años. | 129 |
| Figura 82 Socavación para un TR de 500 años. | 130 |
| Figura 83 Pila de puente Yuracyacu socavado vs pilas del puente con caudal promedio en períodos lluviosos..... | 132 |
| Figura 84 Propuesta de obra de protección – enrocado para TR = 50 años..... | 135 |
| Figura 85 Propuesta de obra de protección – enrocado para TR=200 años..... | 139 |
| Figura 86 Cronograma de actividades realizadas durante la investigación. | 155 |
| Figura 87 Secciones transversales desde el km 0+00 al km 0+480. | 158 |

| | | |
|-------------------|--|-----|
| Figura 88 | Secciones transversales desde el km 0+500 al km 0+980. | 159 |
| Figura 89 | Secciones transversales desde el km 1+000 al km 1+200. | 160 |
| Figura 90 | Certificado de calibración de equipo para estudios de topografía..... | 161 |
| Figura 91 | Características físicas- Calicata 1. | 162 |
| Figura 92 | Contenido de humedad del suelo- Calicata 1. | 163 |
| Figura 93 | Peso específico- Calicata 1..... | 164 |
| Figura 94 | Características físicas- Calicata 2. | 165 |
| Figura 95 | Contenido de humedad del suelo- Calicata 2. | 166 |
| Figura 96 | Peso específico- Calicata 2..... | 167 |
| Figura 97 | Distribución Pearson III como función de mejor ajuste de la estación Naranjillo..... | 168 |
| Figura 98 | Ubicación del puente Yuracyacu- MTC. | 177 |
| Figura 99 | Vista General del puente Yuracyacu – MTC..... | 178 |
| Figura 100 | Pilares del puente Yuracyacu- MTC. | 179 |
| Figura 101 | Detalle de pilares del puente Yuracyacu- MTC..... | 180 |
| Figura 102 | Secciones en HEC-RAS desde el km 0+980 al km 1+200. | 181 |
| Figura 103 | Secciones en HEC-RAS desde el km 0+740 al km 0+960. | 182 |
| Figura 104 | Secciones en HEC-RAS desde el km 0+560 al km 0+720, incluye progresivo km 0+ 611.90 de ubicación del puente. | 183 |
| Figura 105 | Secciones en HEC-RAS desde el km 0+320 al km 0+540 | 184 |
| Figura 106 | Secciones en HEC-RAS desde el km 0+080 al km 0+300 | 185 |
| Figura 107 | Secciones en HEC-RAS desde el km 0+000 al km 0+060 | 186 |
| Figura 108 | Socavación del pilar 1 en TR= 50 años. | 187 |
| Figura 109 | Socavación de pilares 2 y 3 en TR= 50 años | 188 |
| Figura 110 | Socavación de estribos en TR= 50 años | 189 |
| Figura 111 | Socavación de pilares 1 y 2 en TR= 100 años. | 190 |
| Figura 112 | Socavación de pilar 3 y estribos en TR= 100 años..... | 191 |
| Figura 113 | Socavación de pilares 1 y 2 en TR= 200 años | 192 |
| Figura 114 | Socavación de pilar 3 y estribos en TR= 200 años..... | 193 |
| Figura 115 | Socavación de estribos y pilares 1 y 2 en TR= 500 años. | 194 |
| Figura 116 | Socavación de pilar 3 en TR= 500 años..... | 195 |
| Figura 117 | Presupuesto de enrocado de pilar central para TR= 50 años..... | 196 |
| Figura 118 | Análisis de precios unitarios para enrocado de pilar central para TR= 50 años (Parte I)..... | 197 |

| | |
|---|-----|
| Figura 119 Análisis de precios unitarios para enrocado de pilar central para TR= 50 años (Parte II) | 198 |
| Figura 120 Insumos para enrocado de pilar central para TR= 50 años. | 199 |
| Figura 121 Presupuesto para enrocado de pilar central para TR= 200 años. | 200 |
| Figura 122 Análisis de precios unitarios para enrocado de pilar central para TR= 200 años (Parte I). | 201 |
| Figura 123 Análisis de precios unitarios para enrocado de pilar central para TR= 200 años (Parte II). | 202 |
| Figura 124 Insumos para enrocado de pilar central para TR= 200 años (Parte II). | 203 |

INTRODUCCIÓN

Los puentes son considerados infraestructuras beneficiosas para la población, permitiendo el abasto de víveres, transporte, entre otros. Sin embargo, para garantizar la seguridad de su estructura se toman algunas medidas de control, considerando algunos parámetros hidrológicos e hidráulicos que afectan estas estructuras. En particular, el fenómeno de la socavación local de los puentes es producida debido al flujo que se presenta por los cambios rápidos en la velocidad del río generando la socavación y debilitando la estructura del suelo.

La base teórica del diseño estructural de puentes ha sido bien establecida. Sin embargo, los procesos de erosión en cursos de agua no están claramente definidos y no es posible estimar con precisión los cambios en el lecho del río que pueden ocurrir en el puente; esto debido a la gran cantidad y variedad de factores que intervienen, no sólo debiéndose a la complejidad de los procesos físicos involucrados sino también a que las características del río, las características geométricas del puente, así como los fenómenos de la naturaleza que tienen lugar en los diferentes lugares el país (Teixeira, 2013).

El grado de socavación y la velocidad a la que se produce depende del caudal, el material del fondo, la ubicación y la forma del puente; es por ello que, los efectos de la erosión en los puentes pueden ser graduales en el tiempo u ocurrir rápidamente durante el pico de inundación del río, por lo que identificar las condiciones que favorecen este fenómeno es importante para predecir su aparición (Quesada, 2022). Por lo consiguiente, en la actualidad se vienen realizando varios estudios respecto al aumento de la vulnerabilidad de los puentes frente al cambio climático.

La presente investigación se desarrolla en el distrito de Nueva Cajamarca, Rioja, San Martín, la misma que surge debido a la situación actual del puente del río Yuracyacu, dado que el pilar central se encuentra socavado, siendo de suma importancia estimar la socavación de las pilas del puente del río Yuracyacu mediante el uso de 04 métodos más el software HEC-RAS y finalmente realizar la propuesta de obra de protección que permita controlar o mitigar esta socavación para diferentes períodos de retorno.

El informe final del presente estudio cuenta con 6 capítulos:

El capítulo 1 está formado por el planteamiento del problema, objetivos, formulación del problema, justificación, delimitación y limitaciones.

El capítulo 2 comprende antecedentes internacionales y nacionales, bases teóricas que sustentan el desarrollo del problema y las variables de estudio y definición de términos.

El capítulo 3 presenta la hipótesis, variables de estudio y operacionalización de las mismas.

El capítulo 4 conformado por el diseño de ingeniería, población, técnicas de recolección de datos y descripción de los procedimientos y la matriz de consistencia.

El capítulo 5 está constituido por los trabajos en campo, los ensayos de laboratorio, estudios hidrológicos e hidráulicos, cálculos de socavación por 04 métodos y el modelamiento hidráulico en el HEC-RAS.

El capítulo 6 se presenta el análisis de resultados, conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Un puente es una estructura expuesta a diversos elementos debido a la acción de elementos naturales, de allí que, el arte de construir puentes se remonta de la prehistoria, pero no fue hasta los tiempos del imperio romano que por necesidad de tantos territorios conquistados empezó a construir puentes de madera para el camino de sus ejércitos, es por ello, que con la llegada de las locomotoras de vapor, el ferrocarril se desarrolló a pasos agigantados; además, con el desarrollo de la red ferroviaria llegó la creación de puentes resistentes, hasta la llegada del automóvil que revolucionó la forma de trasladarse por lo cual la demanda de construcción de puentes creció de forma exponencial (Zhang, Yan, & Zhao, 2020).

El principal problema a nivel mundial, desde un punto de vista hidráulico en los puentes se localizan los estribos y pilas intermedias de la estructura, ubicados en el lecho del río, estos son susceptibles a la erosión local durante las inundaciones, producto a la turbulencia e incremento de la velocidad del caudal. En consecuencia, esto pone a la estructura en riesgo de colapso ya que el material en el fondo del río y al pie de la estructura se retira debido a los cambios repentinos de la velocidad, lo que provoca la pérdida de la profundidad del pilote o del estribo al pie de la estructura o en el peor de los casos, la base de los cimientos queda completamente expuesta (Zhang, Yan, & Zhao, 2020).

El escenario en el Perú, respecto a las precipitaciones se distingue principalmente con el Fenómeno del Niño ya que este ha evidenciado récords de avenidas extremas en los años 1925, 1983, 1998 y 2017, lo que causó diversos daños en los soportes de los puentes provocando el colapso parcial o total, así como también pérdidas humanas, económicas y el aislamiento debido a la interrupción del transporte terrestre; además, durante las inundaciones de los años 1982 y 1983, resultaron

destruidos o dañados 55 puentes, debido a las graves crecidas de los ríos en las zonas costeras del norte.

Uno de los principales motivos de fallas en un puente es la socavación, estimándose alrededor del 60% de todas las fallas a dicho proceso como causa principal (Pinto & Torres, 2015). Asimismo, la socavación local corresponde al efecto erosivo de las corrientes de agua que remueven material del lecho y las orillas de los ríos y se considera una de las causas más evidentes y comunes de los daños en los puentes (Moncada, Aguirre, & Moncada, 2017), sin embargo, en la actualidad existe mínima información relacionado al estudio de ello en la que se brinden nuevos métodos de protección para las pilas en puentes.

Es importante tener en consideración que incorporar cualquier elemento estructural ajeno en el cauce de un río como las pilas de puente, este configurará nuevas condiciones hidráulicas del cauce natural, en ese sentido, este cambio altera las características del río y afecta a su capacidad para proporcionar arrastre de sedimentos, ya que, si éste es mayor que el flujo de sólidos, se produce socavación local en los muelles, cambia la dirección del flujo debido a la aceleración de este y se generan turbulencias y remolinos debido a la obstrucción del flujo (Arriola, Bejarano, Arbulú, Coronado, & Sotomayor, 2017).

Según Pro Vías Nacional – Perú, en su reporte de “Programa de Puentes 2012 – 2020” indica que, a nivel de carretera en la red vial nacional, el Perú cuenta con un total de 2,227 estructuras de puentes, de las cuales 553 son manejadas por diferentes concesiones, las cuales están en estados óptimos, 300 de estas han sido diseñadas con una carga de 48 Tn acorde a la normativa actual; además, se reportan 156 puentes del litoral peruano afectados por el evento hidrológico “El Niño Costero”.

Debido a las intensas precipitaciones ocurridas durante períodos lluviosos en el distrito de Nueva Cajamarca, se ha observado la vulnerabilidad hidráulica del puente Yuracyacu, por lo que, nace la iniciativa de desarrollar un estudio y evaluación de las condiciones actuales del puente, enfocándose principalmente en pilas del puente en cuanto a su socavación local. De esta manera, esta investigación está enfocada a la aplicación de las metodologías tradicionales para conocer socavación local en pilas del puente Yuracyacu en Nueva Cajamarca, utilizando un caudal de diseño para un período de retorno determinado modelado con el HEC-RAS, mediante la aplicación de los métodos tales como el de Maza-Sánchez, Larras, Universidad Estatal de Colorado y Arunachalam, determinando así el método óptimo para su aplicación.

A partir de los estudios realizados se obtendrá datos que permitirán obtener antecedentes para proyectar futuras obras hidráulicas y permitir la obtención de la socavación al que está expuesto el puente Yuracyacu, con la finalidad que dicha información permita tomar mejores decisiones en materia de planificación urbana a las autoridades competentes del distrito.

1.1. Formulación del problema

1.1.1. Problema principal

- ¿Cuál es el nivel de socavación en las pilas del puente del Río Yuracyacu en Nueva Cajamarca?

1.1.2. Problemas secundarios

- ¿Cuáles son las características geotécnicas y topográficas aguas arriba y abajo del puente Yuracyacu?
- ¿Cuáles son las condiciones hidrológicas e hidráulicas del cauce que recorre el puente Yuracyacu?

- ¿Qué medida de protección es necesaria implementar en las pilas del puente Yuracyacu?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. *Objetivo principal*

- Estimar la socavación en las pilas del puente del Río Yuracyacu en Nueva Cajamarca.

1.2.2. *Objetivos secundarios*

- Realizar un estudio de suelos y levantamiento topográfico aguas arriba y abajo del puente Yuracyacu.
- Determinar los cálculos hidrológicos e hidráulicos y sus posibles influencias en la socavación de las pilas del puente Yuracyacu, mediante los modelos matemáticos Maza-Sánchez, Larras, Universidad Estatal de Colorado y Arunachalam y el HEC-RAS.
- Proponer una obra de protección para controlar el problema de socavación en las pilas del puente Yuracyacu.

1.3. Justificación e importancia de la investigación

1.3.1. *Justificación Teórica*

El aporte teórico de la presente investigación está dado en la obtención del método más exacto de estimación de socavación que se adecúa a las condiciones reales hidráulicas y estructurales del puente Yuracyacu, en función del caudal de diseño y tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años.

1.3.2. *Justificación Práctica*

El aporte práctico de la presente investigación radica en que el Perú es un país afectado frecuentemente por el fenómeno del niño lo que hace relevante poder obtener el método más idóneo de estimación de socavación en los pilares del puente

Yuracyacu y que esto sirva como parte de un sistema de alerta temprana ante el incremento del caudal del río Yuracyacu y la posible socavación de las pilas del mismo.

1.3.3. *Justificación Social*

El alcance social de ésta tesis radica en la protección de 45 mil habitantes de Nueva Cajamarca, los mismos que en su mayoría se dedican al comercio local y regional, debido a que, si se tienen problemas en el uso del puente, se verían afectadas el comercio, el transporte, el turismo, la industria, entre otras actividades que generan el desarrollo de la región San Martín, beneficiando a la población de la provincia de Rioja, provincia de Moyobamba y departamentos vecinos como es el caso de Amazonas.

1.3.4. *Importancia*

La importancia de la investigación se fundamenta en que, a diferencia de otras investigaciones, esta propuesta busca comparar la aplicación de métodos de cálculo de socavación local en pilares como son Método de Maza-Sánchez, Método de Larras, Método de la Universidad Estatal de Colorado y el Método de Arunachalam, Maza - Sánchez y Arunachalam, con el fin de determinar aquel método que se adapte a las condiciones más reales del río Yuracyacu en Nueva Cajamarca.

Asimismo, esta investigación permitirá brindar un aporte y repercusión positiva en las autoridades competentes del distrito, con el fin de tomar decisiones más eficientes para evitar el colapso de la estructura ante la alteración hidráulica que presenta el río, para la propuesta de proyectos a futuro que fomenten el desarrollo de las provincias colindantes al distrito y el libre tránsito que genera el desarrollo económico de los pueblos. Así también sirva como base para futuras investigaciones

relacionadas al mejoramiento integral de los puentes que interconectan vías y son generadores del desarrollo de los pueblos.

1.4. Delimitación del área de investigación

1.4.1. *Espacial*

La presente investigación se desarrollará en el puente Yuracyacu en Nueva Cajamarca ubicado en la zona geográfica 18S, con coordenadas N. 9, 343,165.24 y E. 244,355.51.

Tabla 1

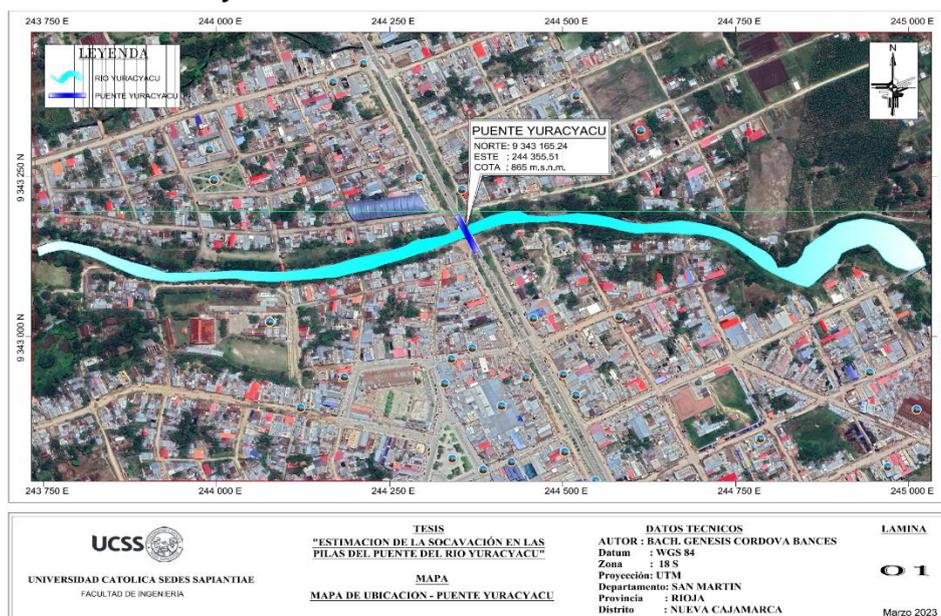
Ubicación del puente Yuracyacu – Nueva Cajamarca.

| Localización del proyecto | |
|---------------------------|-----------------|
| Departamento | Nueva Cajamarca |
| Provincia | Rioja |
| Distrito | San Martín |
| Puente | Yuracyacu |
| Coordenadas | N: 9343162.466 |
| | E: 244349.136 |

Nota. Elaboración propia.

En el puente del río Yuracyacu, se realiza el estudio y evaluación de la socavación local en pilas, mediante la comparación de métodos empíricos y el software HEC-RAS.

Figura 1
Ubicación del río Yuracyacu



Nota. Elaboración propia.

En la figura 2 se observa la infraestructura del puente del río Yuracyacu, ubicado en el centro de la ciudad de Nueva Cajamarca, que permite el acceso vehicular fomentando el comercio en las provincias de Rioja, San Martín, Picota y Bellavista en la región San Martín.

Figura 2
Puente Yuracyacu – año 2023.



Nota. Elaboración propia.

En la figura 3 se observa los pilares de la infraestructura del puente del río Yuracyacu, los mismos que de manera continua son protegidos con rocas, para minimizar los efectos de socavación, debido a las fuertes precipitaciones recurrentes en la ciudad de Nueva Cajamarca.

Figura 3
Río Yuracyacu - año 2023.



Nota. Elaboración propia.

1.4.2. Del contenido

La investigación pertenece a la línea de investigación de Estructuras, Geotécnica y Recursos Hídricos en el campo de investigación Hidrogeotecnia.

- Línea: Estructuras, Geotecnia y Recursos Hídricos.
- Campo de investigación: Hidrogeotecnia.

1.4.3. Temporal

El desarrollo de esta investigación tomará 12 meses (de enero de 2023 a diciembre de 2023), e incluye la selección de la problemática a desarrollar, la búsqueda de información, recolección de datos, labores e investigación en campo,

gabinete y laboratorio, el procesamiento de la información y obtención de resultados y la evaluación final del estudio, etc. Los datos y toda la información necesaria se obtendrán de las diversas leyes nacionales e internacionales vigentes sobre socavación en puentes, cuencas hidrográficas e hidrología en general, así como de artículos científicos sobre este tema. El cronograma de cada actividad y el presupuesto del estudio se encuentran en los anexos.

1.5. Limitaciones de la investigación

En esta investigación, al no contar con un informe de estado situacional de los puentes en la región San Martín, no se cuenta con las valoraciones respectivas de socavación por lo que la estimación de socavación en las pilas del puente será realizada específicamente mediante los métodos tradicionales, de las cuales sólo se tomarán en cuenta las metodologías que se adaptan a la condición del puente Yuracyacu, además el resultado de socavación se determinará por el método que brinde la socavación más crítica.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes nacionales e internacionales

2.1.1. Antecedentes internacionales

Cañas (2018), en su investigación titulada “Estudio de la socavación local en pilas circulares de puentes en lechos no cohesivos con modelación física en laboratorio”, Colombia, Bogotá, manifiesta como objetivo del proyecto el de estudiar la socavación local en pilares circulares, considerando la modelización en laboratorio y utilizando métodos experimentales de interpretación del diseño, considerando como resultados los que afectaron a la modelización del puente considerando una densidad relativa de la arena de $2,65 \text{ kg/m}^3$, $e=7 \text{ cm}$, un espesor del lecho del canal de 10 cm , una y dos pilas y una pendiente de fondo del $1,562\%$, así mismo, se consideró que el modelo funcionará con un caudal máximo de 25 l/s , concluyendo que el modelo desarrollado determina la socavación local en función de la anchura de la barrera y no de la velocidad media del flujo a través de la sección; también se comprobó que la colocación de dos pilotes independientes tenía un mayor impacto en la aparición de socavación local que un único pilote. El antecedente contribuye a la investigación en determinar el modelo de socavación local en función al tipo de estructura y no en base a la velocidad media del flujo.

Torres (2019), realizó una tesis titulada “Análisis experimental de la socavación local en pilas de sección circular en puentes. Modelo en laboratorio”, Colombia, Bogotá. El objetivo fue analizar la socavación local de pilotes a partir de un modelo de laboratorio existente considerando un lecho de material granular uniforme, utilizando un método ilustrativo con diseño de experimentos, cuyos resultados obtenidos fueron considerar lechos con partículas de $0,001 \text{ m}$ de diámetro para caudales subcríticos inferiores a 1; a su vez se concluyó que el fenómeno de

socavación local no es sencillo debido, entre otras razones, a que las condiciones de flujo fueron desarrolladas para ser casi no permanentes, pero para el caso de estudio, el modelo desarrollado permitió el análisis de socavación local en puentes, especialmente en pilas, ya que fueron consideradas permanentes como parte de la simulación. El antecedente contribuye a orientar la investigación de la socavación local en base a la profundización del lecho en el perímetro de las pilas instaladas.

Reyes y Reyes (2020), en su investigación titulada “Determinación de la socavación para las pilas del puente localizado en el Municipio de Ríosucio Caldas”, Colombia, Ríosucio Caldas. El objetivo general del estudio fue determinar la socavación de los estribos originales utilizando un enfoque de diseño descriptivo y no experimental, obteniendo como resultados de socavación de 9.5 para Lacey, 10.2 para Blench, 4.5 para Maza, 3.3 para Lischtvan, 4.1 para Neil, 3.2 para Laursen, 5.7 para Briaud, 3.0 Hec-18 y 1.7 m para FHWA; así mismo la socavación inicial media obtenida fue de 5,50 m, que disminuyó a 2,80 m tras la mejora del terreno, esto muestra una reducción del 40% en la altura de la socavación debido a la mejora del terreno; en otras palabras, la calidad del suelo soportado por los pilares influyó en la socavación, por lo expuesto, las simulaciones numéricas realizadas en el laboratorio tienen por objeto proponer un nuevo método de cálculo de la socavación que represente exactamente las condiciones sobre el terreno. El antecedente contribuye en la investigación a determinar los parámetros que influyen en los resultados de la socavación en los diferentes métodos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Chirinos (2017), en su investigación titulada “Estudio de socavación de la subestructura del puente y análisis de estabilidad –caso puente Nicolás Dueñas de la ciudad de Lima en el 2017”, Perú, Lima. El objetivo fue determinar el efecto de la

socavación en el puente Nicolás Dueñas utilizando un método descriptivo, obteniéndose los resultados muestran una socavación total de 2,84 m para un TR de 500 años utilizando el método de Gumbel, de forma similar, con el método de Froehlich se calculó 5,09 m; para la socavación mediante el método de Artamanov se calculó 3,19 m para el mismo TR= 500 años, también se obtuvo un valor de socavación local de 2,64 m; así pues en conclusión, el estudio de socavación del puente Nicolás Dueñas permitió identificar los parámetros con mayor relevancia en la socavación, los cuales son importantes para que la municipalidad los considere en futuros proyectos en las cercanías del área de estudio que afecten el flujo natural del río. El antecedente contribuye en orientar la investigación, a realizar propuestas de protección de la socavación local en el puente Yuracyacu, en base al procesamiento de los resultados.

Aguinaga (2019) en su investigación titulada “Estudio de la socavación en los estribos del puente Cascajal – Olmos ante máximas avenidas”, Perú, Olmos. El objetivo general del estudio fue examinar la socavación en el puente de Cascajal durante la crecida máxima, de los cuales los resultados obtenidos para esta zona mostraron una precipitación media de 765 mm/año y el análisis del caudal permitió identificar un caudal medio de aproximadamente 4 m³/s y un caudal máximo de 53 m³/s durante el período de retorno de 100 años; en conclusión, el río del puente Cascajal, tiene una cuenca con un excelente sistema de drenaje y las estructuras se encuentran en general en buen estado; sin embargo, el gavión de la zona de El Darién presenta una depresión muy grande en el tramo central, lo que pone en riesgo el funcionamiento de las obras y aumenta la probabilidad de inundaciones en esta zona. El antecedente contribuye en orientar la investigación, a realizar propuestas de

mantenimiento periódico del puente Yuracyacu, con el único fin de conservar sus características de diseño.

Palma (2022), en su tesis titulada “Estimación de la profundidad de la socavación local en el puente Jangas mediante ecuaciones empíricas, Huaraz”, Perú, Huaraz; cuyo objetivo fue estimar la profundidad de socavación local en el puente de Jangas mediante ecuaciones empíricas, cuya metodología de estudio fue de nivel explicativo de diseño experimental de corte transversal, obteniendo como conclusiones de la investigación que el método que mejor estima y predice la socavación local en el estribo izquierdo del puente Jangas es el método de Froehlich, con el cual se estimó una profundidad de socavación local de 3.31 m en el estribo izquierdo, para el material de lecho clasificado como grava bien graduada. El antecedente contribuye en la investigación a determinar el método de cálculo de socavación adecuado para el puente Yuracyacu.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Estudio de Mecánica de Suelos

Rahardjo et al. (2019) indica que la mecánica de suelos es una disciplina científica que se ocupa de los problemas de ingeniería geotécnica, aplicando las leyes de la mecánica y la hidráulica a los suelos para estudiar sus propiedades, comportamiento y usos como materiales estructurales, demostrando así que la deformación y la resistencia de los suelos proporcionan seguridad, durabilidad y estabilidad a las estructuras.

Zhang et al. (2020) señalan que el estudio proporciona las características físicas del suelo para caracterizar la zona de trabajo en la que está prevista la construcción.

2.2.1.1. Clasificación de suelos

Según las clasificaciones internacionales de suelos existen 2 sistemas comunes los cuales son:

- Sistema SUCS, usado generalmente en análisis de geotecnia
- Sistema AASHTO, utilizado generalmente en construcción de infraestructura vial.
- Sistema de clasificación AASHTO

Esta clasificación se ha desarrollado específicamente para la construcción de carreteras y la gestión del subsuelo que forma parte integrante de las mismas. También pretende distinguir entre suelos con sustancias inorgánicas. La clasificación se compone de los grupos A-1 y A-8: A-1: Es el grupo que presenta mejores condiciones para la construcción y A-8: Es el grupo con más contenido orgánico en su composición.

Según esta clasificación, existen tres criterios analíticos en función del tipo de suelo:

Figura 4

Método ASSHTO- Clasificación de suelos.

| Clasificación general | Materiales granulares (Menos del 35% pasa el tamiz N°200) | | | Materiales limo-arcillosos (más del 35% pasan el tamiz N°200) | | | |
|--|---|---------|--------|---|---------|---------|---------|
| | A-1 | A-2 | A-3 | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| Porcentaje que pasa el tamiz | | | | | | | |
| N°10 (2.0mm) | - | - | - | - | - | - | - |
| N°40 (0.425mm) | 50 máx. | - | 51 min | | | | |
| N °200 (0.075mm) | 25 máx. | 35 máx. | 10 min | 36 min | 36 min | 36 min | 36 min |
| Características de los materiales que no pasan el tamiz N°40 (0.425mm) | | | | | | | |
| Límite líquido | - | - | - | 40 máx. | 41 min. | 40 máx. | 41 min. |
| Índice de plasticidad | 6 máx. | - | NP. | 10 máx. | 10 máx. | 11 min | 11min |

Nota. Tomado de Bowles (2015).

- Sistema de clasificación SUCS.

También conocido como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, indica la distribución del tamaño de las partículas. En general, los suelos clasificados como granulares contienen más del 50% de las gravas o arenas grandes que pasan por el tamiz N° 200. Los suelos clasificados como de grano fino también contienen más del 50% de las gravas o arenas grandes que pasan por el tamiz N° 200. Los suelos clasificados como de grano fino también contienen más del 50% de gravas o arenas grandes que pasan por el tamiz n.º 200.

Figura 5

Método SUCS-Clasificación de suelos.

| Tipo de suelo FINOS ≥ 50 % PASA 0.08 mm | Símbolo | Lím. Líquido WL | Índice de Plasticidad * IP |
|--|---------|---|---------------------------------|
| Limos Inorgánicos | ML | <50 | < 0,73 (WL-20) o < 4 |
| | MH | >50 | < 0,73 (WL-20) |
| Arcillas Inorgánicas | CL | <50 | > 0,73 (WL-20) y > 7 |
| | CH | >50 | >0,73 (WL-20) |
| Limos o Arcillas Orgánicas | OL | <50 | **WL seco al horno |
| | OH | >50 | $\leq 75\%$ del WL seco al aire |
| Altamente Orgánicos | P1 | Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente | |

Nota. Tomado de Instituto tecnológico de Chile (2017).

- Granulometría.

Zhang et al. (2020) señalan que la granulometría es una caracterización de un material de estudio, en el caso de material de fondo no es uniforme, por lo cual el sedimento puede presentar una gran variedad de diámetros y mediante la granulometría permitirá la distribución de sus partículas por su tamaño.

Tabla 2*Muestras de agregado grueso.*

| Tamaño máx. Nominal (Abertura cuadrada) | | Muestra de ensayo |
|--|---------|----------------------|
| mm | pulgada | Kg |
| 9.5 | 3/8 | 1 |
| 12.5 | 1/2 | 2 |
| 19.0 | 3/4 | 5 |
| 25.0 | 1 | 10 |
| 37.5 | 1 | 15 |
| 50.0 | 1 1/2 | 20 |
| 63.0 | 2 | 35 |
| 75.0 | 2 1/2 | 60 |
| 90.0 | 3 | 100 |
| 100 | 3 1/2 | 150 |
| 125 | 5 | 300 |

Nota. Tomado de MTC (2016).**2.2.2. Estudio topográfico**

Los levantamientos topográficos son muy importantes en ingeniería, ya que proporcionan información geométrica precisa sobre la ubicación de los edificios (MTC, 2016).

Los levantamientos topográficos proporcionan dimensiones en relieve de la zona tanto horizontal como verticalmente. Cabe destacar que estos levantamientos son necesarios para mejorar el diseño de puentes y otras estructuras. Además, debido al tamaño de la zona levantada, también se proporcionan herramientas como información cartográfica, curvas de nivel y perfiles topográficos, que pueden aplicarse a una amplia gama de especialidades (Márquez, 2017).

2.2.2.1. Topografía

Se considera un estudio de ingeniería fundamental que tiene en cuenta la geometría del terreno y proporciona mediciones precisas de niveles y elevaciones (MTC, 2016). Su ámbito de aplicación es amplio y se considera esencial porque un

ingeniero profesional no puede diseñar una estructura por sí solo y también se considera una ciencia aplicada, ya que hace hincapié en los conocimientos de geometría, trigonometría, física y astronomía (Márquez, 2017).

- **Planimetría**

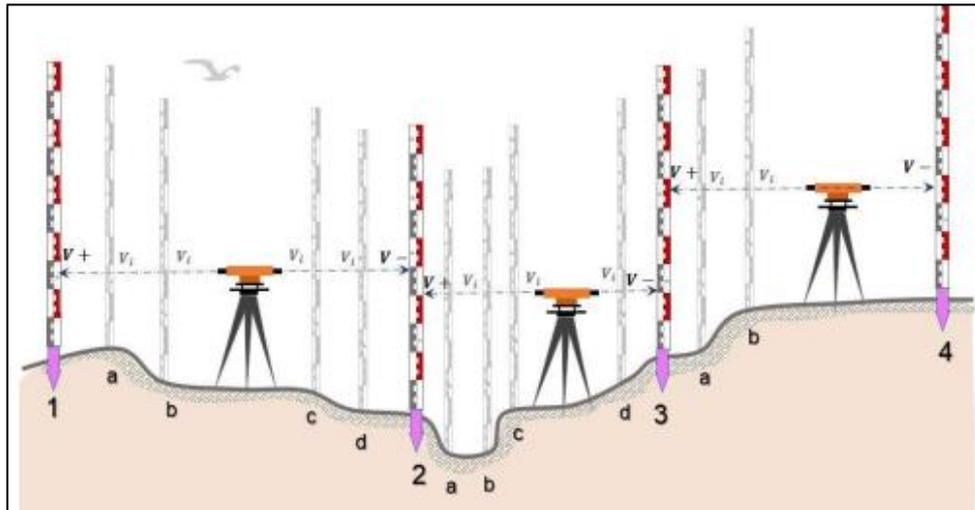
Según Márquez (2017), la planimetría se considera al conjunto de trabajos que se efectúan mediante la obtención de datos geométricos necesarios durante el trabajo de campo, para que así se permita la construcción de una figura semejante al terreno, sobre un plano horizontal. Wolf y Ghilani (2018) indican que las tareas necesarias para obtener los datos geométricos para el trabajo de campo y elaborar un mapa topográfico aproximado en un plano horizontal. En este sentido, la planimetría expresa la representación bidimensional de los accidentes geográficos de la superficie terrestre a una escala determinada y su finalidad principal es mostrar la complejidad de la superficie (Márquez, 2017).

- **Altimetría**

El método altimétrico considera las diferencias horizontales entre puntos similares ubicados en la misma superficie, aunque a diferentes niveles (msnm). Vizcarra (2019) señala que se utiliza principalmente para determinar los perfiles transversales y longitudinales del terreno. En línea con lo señalado por Jiménez et al. (2017) también sostienen que la altimetría se desarrolla en función de la diferencia de niveles de la superficie terrestre.

Figura 6

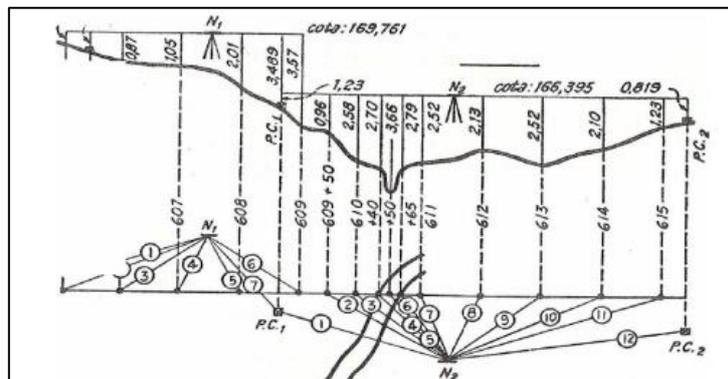
Nivelación diferencial de un perfil topográfico



Nota. Nivelación de perfiles longitudinales.

Figura 7

Esquema gráfico de las secciones transversales



Nota. Tomado de Castelló (2020).

2.2.2.2. Secciones Transversales en Cauces Naturales

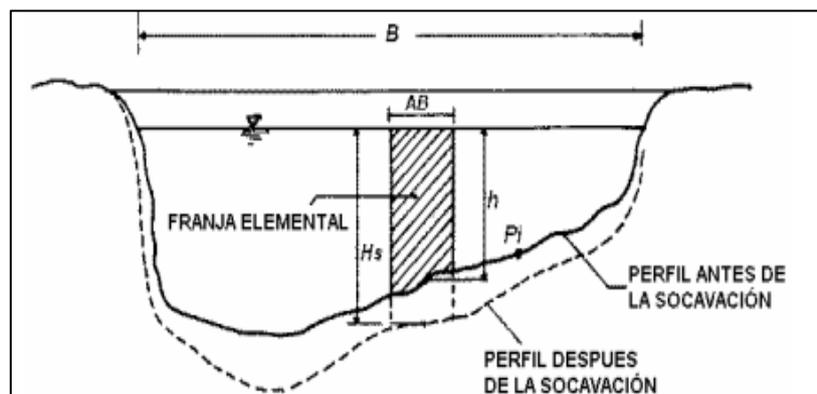
Estas secciones corresponden a las que en los levantamientos pueden realizarse en polígonos seleccionados a lo largo del cauce hídrico. Asimismo, se utilizan como base para medir la sección transversal y la profundidad del agua de la sección del puente y las características del puente.

En este sentido la geometría del puente se confirma midiendo la sección transversal y la batimetría del puente, en el caso de puentes construidos las características geométricas que presentan son las siguientes:

- Vista transversal del cauce aguas arriba y aguas abajo en la intersección del puente.
- En caso de que la distancia del cauce sea equivalente a la longitud total del puente.

Figura 8

Sección transversal del cauce hídrico



Nota. Tomado de Socavación de puentes UNICAUCA (2014).

2.2.3. Estudio hidrológico

El estudio hidrológico es aquel estudio básico de ingeniería que permite conocer, evaluar las condiciones y características geomorfológicas y físicas de una cuenca, así como el análisis de la información de estaciones hidrometeorológicas, escorrentías bajo los registros históricos existentes con la finalidad de obtener caudales específicos para diseño de obras o propuestas civiles (ANA, 2017).

Asimismo, el MTC (2018) la hidrología permite estudiar la distribución temporal y espacial de las propiedades del agua en la atmósfera y la corteza terrestre. Estas propiedades incluyen la escorrentía superficial, la precipitación, la humedad, la evaporación entre otras.

2.2.3.1. Hidrología

Según el MTC (2018), la hidrología permite estudiar la distribución temporal y espacial de las características del flujo de agua, las precipitaciones, la humedad y la evaporación en la atmósfera y la corteza terrestre. También incluye el estudio de las diversas propiedades dinámicas de los fluidos debidas a las fuerzas entre la masa y la flotabilidad (MTC, 2012). Por otro lado, la Autoridad Nacional del Agua (2017) señala que los estudios hidrológicos permiten identificar y evaluar las condiciones geomorfológicas de un curso de agua y analizar los caudales y velocidades específicos necesarios para diversas obras de ingeniería.

a) Cuenca hidrográfica

Moreira et al. (2020) indica que se trata de una zona determinada geográficamente por un conjunto de cadenas montañosas que han llegado a compartir elementos naturales de drenaje como lagos, arroyos y ríos. Cabe señalar que la propia morfología de la superficie terrestre determina la escorrentía de las precipitaciones y la confluencia de las aguas.

2.2.3.2. Parámetros geomorfológicos de una cuenca.

Estos parámetros caracterizan esencialmente la forma y dimensiones de la cuenca hidrográfica y permiten determinar su función, comportamiento y evolución.

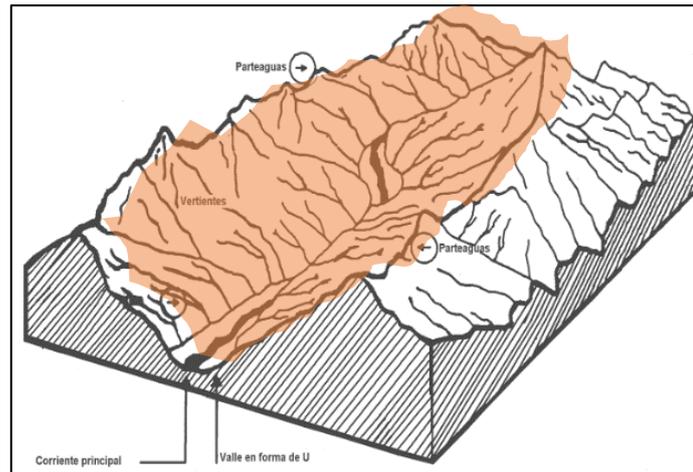
a) Parámetros de forma

- Área de la cuenca (A)

Corresponde a la zona delimitada por la línea de parteaguas de la cuenca. En este sentido, el límite se establece a partir de un mapa orto fotográfico.

Figura 9

Área de una cuenca

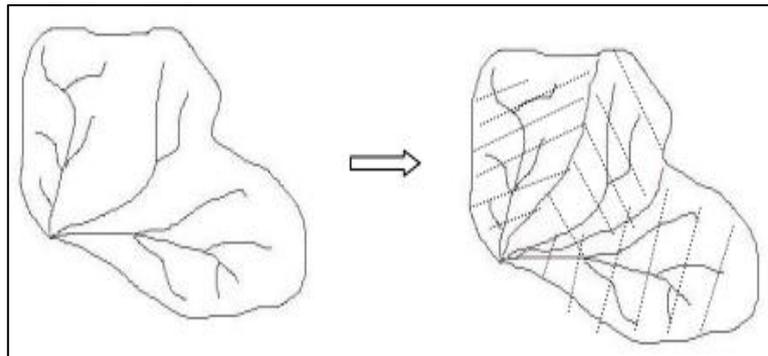


Nota. Modificado de Clausi (2020).

Por otra parte, este factor es el más importante relacionado con la calidad de la escorrentía y la geomorfología de la cuenca.

Figura 10

Subdivisión de cuencas



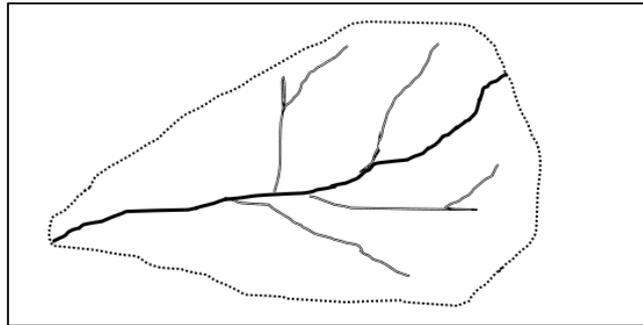
Nota. Extraído de Ibañez et al. (2018)

- Longitud de máximo recorrido (L)

Esta se define por la distancia que viaja el cauce principal de la unidad hídrica, esta dimensión se calcula considerando el punto más cercano al parteaguas y el punto más bajo y alejado.

Figura 11

Longitud de cauce principal



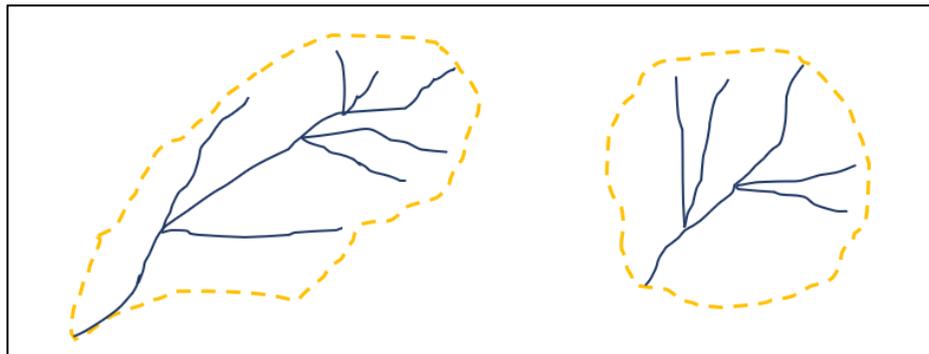
Nota. Extraído de Ibañez et al. (2018).

- **Perímetro de la cuenca (P)**

El perímetro de una cuenca viene determinado por la morfología de la zona. Asimismo, existe una clara distinción entre las cuencas ovaladas o alargadas, que tienen valores de perímetro más elevados que las cuencas circulares.

Figura 12

Perímetro de cuenca



Nota. Extraído de Ibañez et al. (2018).

- **Ancho de la cuenca (w)**

Se define estableciendo la relación entre la zona de captación y la longitud del canal principal. Esta relación se indica en la expresión:

$$W = \frac{a}{l}$$

Donde "a" es la superficie de la cuenca (km²) y "l" es la distancia recorrida por el curso de agua principal.

b) Parámetros de relieve

- Índice de compacidad (k)

Este parámetro determina la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia del círculo, teniendo en cuenta el área equivalente. Sirve para describir y definir la forma de la cuenca hidrográfica. Con referencia a las propiedades del hidrograma, esta relación se expresa mediante la siguiente ecuación.

$$k = (0.28) \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Tabla 3

Tipología de cuencas según el índice "k"

| Tipo | Característica | Rango |
|------------------------------------|--|----------------|
| Redonda a oval redonda | Cuenca torrencial peligrosa | 1,00 – 1,25 |
| Oval redonda a oval oblonga | Peligros torrenciales moderados | 1,25 – 1,50 |
| Oval oblonga a rectangular oblonga | No presenta peligros torrenciales, estas cuencas tienen menos torrencialidad. | 1,50 – 1,75 |
| Casi rectangular | | >1,75 |

Nota. Adaptado de Guevara (2015) y Mantilla (2019).

- Factor de forma (F)

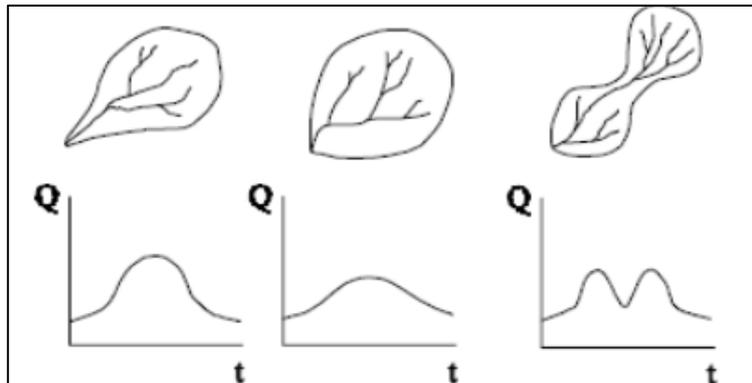
El comportamiento hidrológico de una cuenca viene determinado por su forma. En este sentido, cuencas con la misma superficie, pero con distinta geometría, tiene dinámicas hidrológicas e hidrológicas diferentes, incluso con el mismo índice pluviométrico. Además, considerando el coeficiente "F", la superficie y la longitud se

relacionan como en la ecuación, ya que este parámetro determina el tamaño de la proyección en torno a la crecida del río.

$$F = \left(\frac{A}{L^2}\right)$$

Figura 13

Factor de forma



Nota. Tomado de Sociedad geográfica de Lima (2011).

- Rectángulo equivalente

Se refiere a la evolución de la superficie de una cuenca en un rectángulo con una relación de base grande y pequeña, con cada contorno representado por una línea paralela y un perímetro comparable al perímetro de la cuenca para el cálculo de la equivalencia.

Este factor se determina mediante las expresiones:

$$B = \frac{Cg\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{Cg}\right)^2} \right]$$

$$b = \frac{Cg\sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \left(\frac{1.12}{Cg}\right)^2 \right]$$

Donde "B" es la altura del rectángulo en kilómetros, "b" es la base del rectángulo en kilómetros, "Cg" es el factor de Gravelius, "A" es la superficie de la

cuenca en kilómetros, "B" es la altura del rectángulo en kilómetros y "Cg" es el factor de Gravelius en km².

c) Parámetros de la red hidrográfica

- Altitud media de la cuenca

Según señalan Nureña y Vásquez (2020), este factor indica el cambio en la altura de la cuenca, determina la distribución de la temperatura, que es un criterio fundamental a tener en cuenta a la hora de analizar los coeficientes de escorrentía.

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

Este parámetro se calcula mediante la ecuación, donde "Ai" es la superficie entre curvas de nivel consecutivas, "hi" es la altura media de la zona i (entre dos curvas de nivel) y "A" es la superficie total de captación.

$$em = \left(\frac{\sum hi \times Ai}{A} \right)$$

- Pendiente de la cuenca (Sm)

Relaciona la producción hidráulica con los caudales de la cuenca, lo que afecta directamente a la escala de las inundaciones y define el relieve de la cuenca.

Tabla 4

Correlación de porcentaje de pendiente y tipo de superficie

| Tipo de superficie | Pendiente (%) |
|---------------------------|----------------------|
| Plana | 0– 2 |
| Suave | 2 – 5 |
| Accidentado bajo | 5 – 10 |
| Accidentado medio | 10 – 15 |
| Accidentado alto | 15 – 25 |
| Escarpado | 25 – 50 |
| Muy escarpado | >50 |

Nota. Obtenido de Ibáñez (2018).

- Pendiente del cauce

La pendiente del río representa la media de todas las pendientes de la cuenca de cálculo, se utiliza para calcular la velocidad del flujo y la capacidad de arrastre o erosión que ejerce sobre el río. Cabe señalar que este cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$J = 100 \left(\frac{\sum Li \times E}{A} \right)$$

Siendo:

J= pendiente media de la cuenca.

Li= Longitud de cada una de las curvas de nivel (km).

E= Equidistancia de las curvas de nivel (km).

A= superficie de la cuenca (km²).

2.2.3.3. Pruebas de Bondad de Ajuste.

a) Método Kolmogorov-Smirnov (KS):

Según Rivasplata (2019) el método consiste en comparar la distribución observada de una variable con un modelo teórico. Donde $F_o(x_m)$ es la distribución de probabilidad observada y $F(X_m)$ es la probabilidad predicha.

$$\Delta = \max |f_o(x_m) - f(x_m)|$$

Tabla 5

Valores críticos Δ_0 de Smirnov - Kolmogorov Δ

| Tamaño de la muestra (N) | Nivel de significancia | | | | |
|-----------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.2 | 0.15 | 0.10 | 0.05 | 0.01 |
| 1 | 0,900 | 0,925 | 0,950 | 0,975 | 0,995 |
| 2 | 0,684 | 0,726 | 0,776 | 0,842 | 0,929 |
| 3 | 0,565 | 0,597 | 0,642 | 0,708 | 0,828 |
| 4 | 0,494 | 0,525 | 0,564 | 0,624 | 0,733 |
| 5 | 0,446 | 0,474 | 0,510 | 0,565 | 0,669 |

| | | | | | |
|------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 6 | 0.4 10 | 0,436 | 0,470 | 0,521 | 0,618 |
| 7 | 0,381 | 0,405 | 0,438 | 0,486 | 0,577 |
| 8 | 0,358 | 0,381 | 0,411 | 0,457 | 0,543 |
| 9 | 0,339 | 0,360 | 0,388 | 0,432 | 0,514 |
| 10 | 0,322 | 0,342 | 0,368 | 0.4 10 | 0,490 |
| 11 | 0,307 | 0,326 | 0,352 | 0,391 | 0,468 |
| 12 | 0,295 | 0,313 | 0,338 | 0,375 | 0,450 |
| 13 | 0,284 | 0,302 | 0,325 | 0,361 | 0,433 |
| 14 | 0,274 | 0,292 | 0,314 | 0,349 | 0.4 18 |
| 15 | 0,266 | 0,283 | 0,304 | 0,338 | 0,404 |
| 16 | 0,258 | 0,274 | 0,295 | 0,328 | 0,392 |
| 17 | 0,250 | 0,266 | 0,286 | 0,318 | 0,381 |
| 18 | 0,244 | 0,259 | 0,278 | 0,309 | 0,371 |
| 19 | 0,237 | 0,252 | 0,272 | 0,301 | 0,363 |
| 20 | 0,231 | 0,246 | 0,264 | 0,294 | 0,356 |
| 25 | 0.2 1 | 022 | 024 | 027 | 032 |
| 30 | 019 | 020 | 022 | 024 | 029 |
| N>35 | $\frac{1.07}{\sqrt{N}}$ | $\frac{1.14}{\sqrt{N}}$ | $\frac{1.22}{\sqrt{N}}$ | $\frac{1.36}{\sqrt{N}}$ | $\frac{1.63}{\sqrt{N}}$ |

Nota. Tomado de Mantilla (2019).

2.2.4. Máximas avenidas

Tal como indica el MVCS (2006) el caudal máximo corresponde a la velocidad del agua que fluye por un curso de agua a una hora determinada del día, en otras palabras, el caudal es la cantidad de agua que fluye en un determinado lugar y a una hora del día determinada. En este sentido el MTC (2018) señala que el cálculo de este factor se encuentra mediante la expresión.

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

Donde:

"Q" = caudal, "V" = volumen y "T" = tiempo.

También es importante determinar los caudales máximos diario y horario.

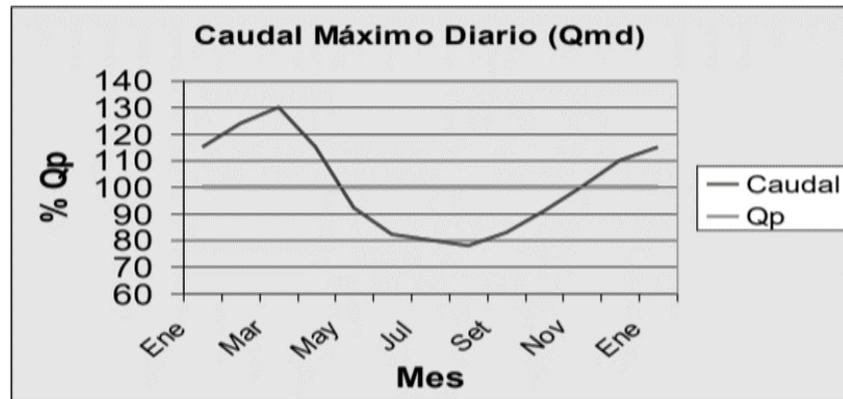
Caudal máximo diario (Qmd): "Q" hace referencia al caudal, "V", corresponde al volumen y "T", corresponde al tiempo.

$$Q_{md} = k_1 \times Q_p$$

Siendo que: K1: Aplica 1.3 en Localidades urbanas y localidades rurales

Figura 14

Caudal máximo diario



Nota. Porcentaje de caudal promedio vs Caudal mensual Tomado de MEF (2011).

- Caudal máximo horario (Qmh)

$$Q_{mh} = K_2 \times Q_p$$

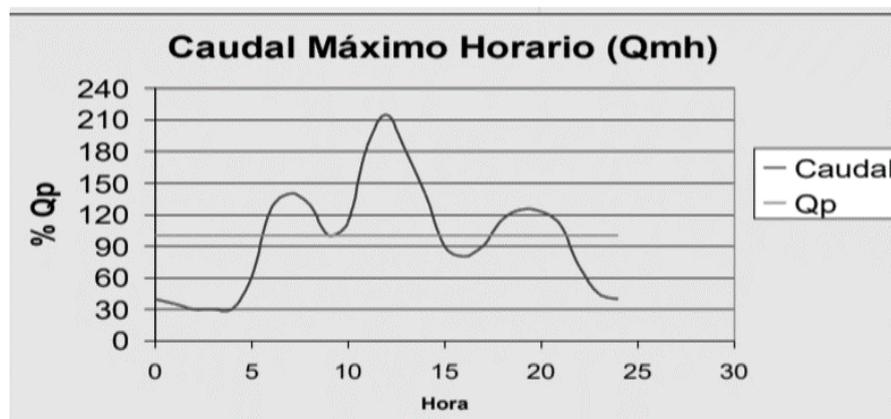
Siendo que:

K2: Aplica 1.8-2.5 en Localidades urbanas

K2: Aplica 1.5 en localidades rurales

Figura 15

Caudal máximo horario



Nota. Porcentaje de caudal promedio vs Caudal mensual. MEF (2011).

- Estimación de caudales

Tal como indica el MTC (2018) la previsión de la esorrentía es un análisis estadístico de los datos hidrológicos calculados para distintos períodos de retorno utilizando diversas distribuciones. El más habitual es el método racional, que estima las precipitaciones en función de las características de la cuenca y tiene en cuenta todas las captaciones con un único coeficiente de esorrentía (c).

$$Q = 0.278 CI$$

Donde:

C=corresponde al coeficiente de esorrentía

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

A= superficie de captación (km²)

Q= caudal máximo de diseño (m³/s).

2.2.5. Precipitación máxima en 24 horas

Según el MTC (2018) la precipitación máxima se expresa en cualquier forma de hidrometeoro que se evidencia en la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Y se presenta en forma de lluvias, granizada, garúas y nevadas. También el MTC (2018), señala que los indicadores de precipitaciones son fundamentales en el cálculo de los caudales, y períodos de retorno que pueden afectar en la vida útil de las infraestructuras de los puentes.

Figura 16

Coeficientes de duración de lluvias desde 1 hora a 48 horas.

| Duración de la precipitación en Horas | Coefficiente |
|---------------------------------------|--------------|
| 1 | 0.25 |
| 2 | 0.31 |
| 3 | 0.38 |
| 4 | 0.44 |
| 5 | 0.50 |
| 6 | 0.56 |
| 8 | 0.64 |
| 10 | 0.73 |
| 12 | 0.79 |
| 14 | 0.83 |
| 16 | 0.87 |
| 18 | 0.90 |
| 20 | 0.93 |
| 22 | 0.97 |
| 24 | 1.00 |
| 48 | 1.32 |

Nota. Tomado de MTC (2018).

- Análisis estadístico de datos hidrológicos

Respecto a los métodos de análisis de los datos hidrológicos, generalmente se recomienda utilizar modelos estadísticos como la distribución normal, Log Pearson Gumbel entre otros. Cabe mencionar que el fin de estos análisis es proveer un alcance de la intensidad de precipitación o caudal máximo existe en un cauce hídrico. Siendo esta una información relevante para el estudio de proyectos de puentes (MTC, 2012).

- Tormenta de diseño

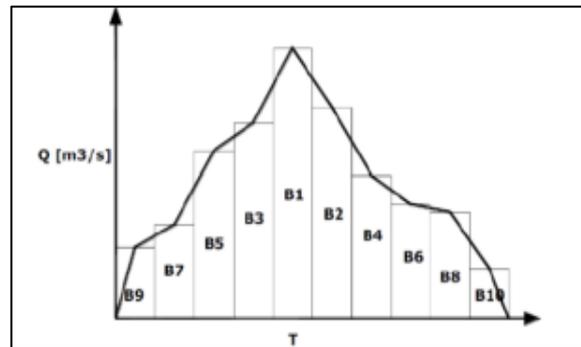
Corresponde al patrón de precipitaciones definido utilizado en el diseño del sistema hidrológico. Para ello, se calcula una curva de intensidad-frecuencia (IDF), a partir de la cual se calcula un histograma o mapa de velocidad del viento de diseño mediante el método de bloques alternos (MTC, 2012).

Asimismo, acorde a la norma establecida por el MTC (2012), los datos de la tormenta de diseño utilizados para calcular la curva IDF se derivan del modelo de precipitaciones, esto permite determinar el diseño del sistema hidrológico; sin

embargo, también pueden utilizarse bloques alternativos para determinar el hidrograma del estudio.

Figura 17

Esquema del método de alternar bloques



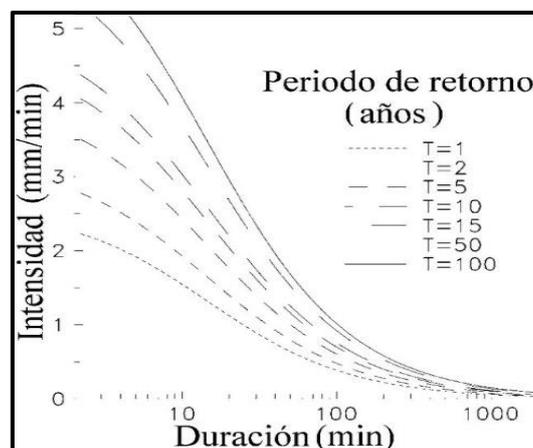
Nota. Tomado de Hernández et al. (2018)

2.2.6. Período de retorno (T_r)

Calvo (2022), indica que este parámetro tiene en cuenta la importancia de los fenómenos climáticos anuales e indica el tiempo que demora el caudal máximo de un elemento hídrico en volver a alcanzar este valor. Considerando el período de retorno de la cuenca, es posible definir un intervalo de confianza basado en los posibles riesgos que pueden experimentar los elementos que forman parte de la cuenca.

Figura 18

Relación entre período de retorno e intensidad



Nota. Tomado de Martínez et al. (2019).

2.2.7. Curvas Intensidad Duración y Frecuencia (IDF)

La curva IDF muestra el período de regresión de cada suceso analizado, cabe señalar que el gráfico se determina considerando sucesos de intensidad similar en distintos períodos de tiempo. El gráfico también muestra el período, la duración del evento pluviométrico, la regresión y la intensidad de la precipitación (Ibañez, Moreno, & Gisbert, 2018).

$$I = \frac{KT^m}{t^n}$$

Siendo:

I= Intensidad máxima. (mm/ h)

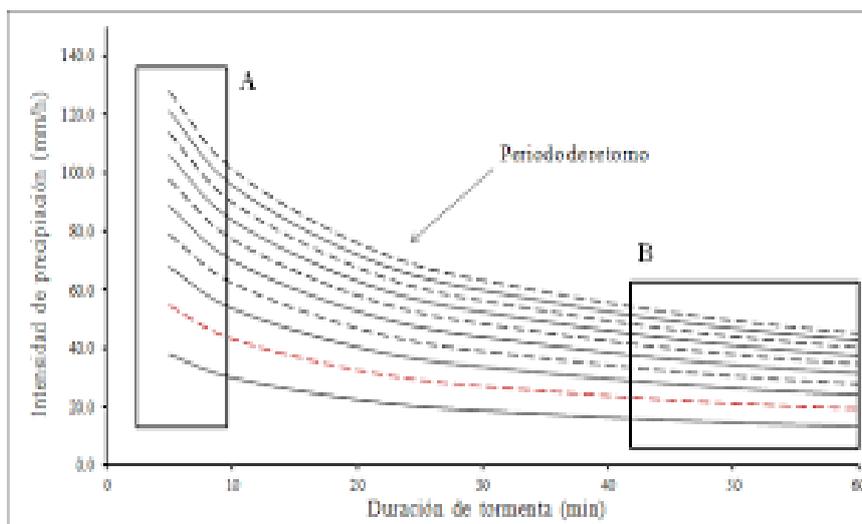
T= Período de retorno(años)

t= Duración en horas o minutos

K, m, n= Constantes de regresión lineal múltiple

Figura 19

Esquema curvas IDF



Nota. Tomado de Martínez et al. (2019).

2.2.8. Tiempo de concentración (Tc)

Calcula el tiempo que se demora en llegar la primera gota de lluvia desde lo más alto de una cuenca hasta la parte más baja, los factores que intervienen directamente en este cálculo son las características y las condiciones topográficas de la cuenca hidrográfica (Ccora, 2019).

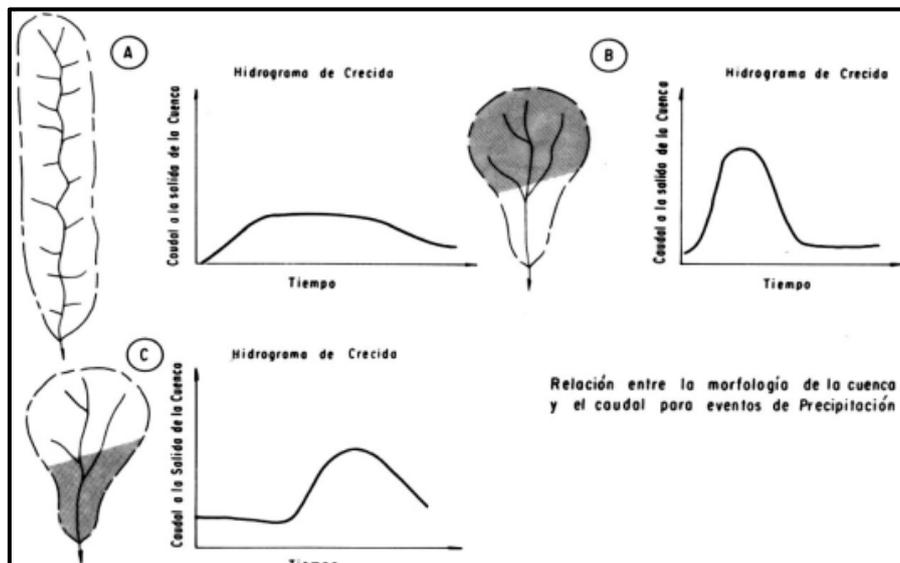
La fórmula que más se usa consiste en la siguiente:

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

Donde L es la mayor longitud del cauce hídrico y H corresponde a la diferencia de nivel entre la salida y las líneas divisorias de agua.

Figura 20

Efectos de la forma respecto a las cuencas en el Tc.



Nota. Tomado de Hernández et al. (2018).

2.2.9. Coeficiente de Rugosidad de Manning

Fernández y Rodríguez (2020) indica que, para determinar la resistencia de un flujo en un canal, es necesario este coeficiente, las fórmulas utilizadas son las siguientes:

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

Siendo que:

V= velocidad media

R= radio hidráulico

S= gradiente hidráulico del recorrido.

Es preciso mencionar que para el cálculo del coeficiente de rugosidad de Manning (R):

$$\phi = \left(\frac{R}{k} \right)$$

Siendo que K= medida lineal de rugosidad

Coeficiente de rugosidad de Manning (n):

$$n = \phi \left(\frac{R}{k} \right) \cdot k^{\frac{1}{6}}$$

Asimismo, los valores referenciales de rugosidad son determinados en función del material utilizado para los revestimientos.

Figura 21

Valores de rugosidad para las diferentes superficies

| Valor de rugosidad (n) | Superficie |
|------------------------|---|
| 0.010 | Muy lisa, plástico, vidrio, cobre |
| 0.011 | Concreto muy liso |
| 0.013 | Concreto frotachado con plancha de madera, madera suave, metal. |
| 0.017 | Canales de tierra en buen estado |
| 0.020 | Canales naturales de tierra |
| 0.025 | Canales libres de vegetación |
| 0.035 | Canales con mucha vegetación |
| 0.040 | Arroyos montañosos y pedregosos |

Nota. Tomado de Escuela técnica superior de ingeniería de Bilbao (2023)

2.2.10. Modelamiento hidrológico.

Según Duque et al. (2019) el modelamiento hidrológico es una herramienta que permite estudiar las funciones de las cuencas, las respuestas frente a cada factor hidrológico. Por otro lado, el modelamiento hidrológico permite pronosticar las respuestas hidrológicas de acuerdo a la gestión de las cuencas.

2.2.10.1. Modelación hidráulica con HEC-RAS

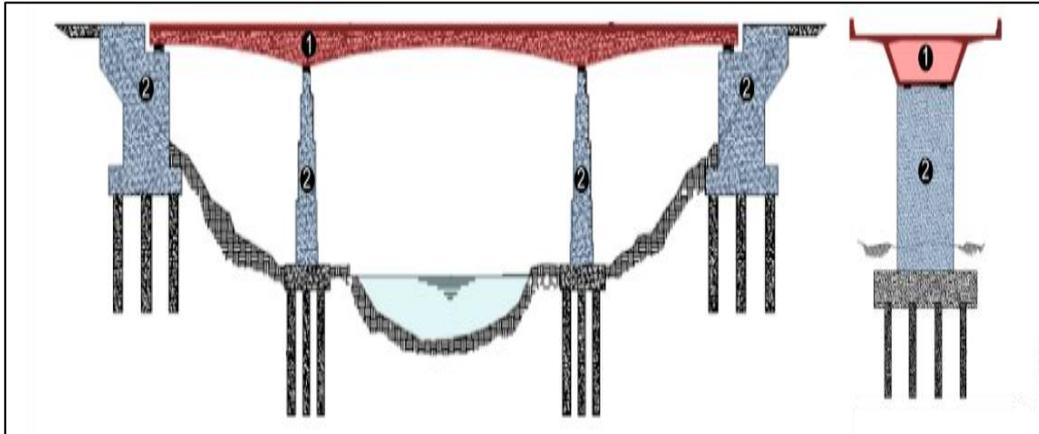
El software de HEC – RAS es un instrumento tecnológico que permite el modelado de información hidráulica. Este se puede aplicar para modelados no permanentes y permanentes, así como los modelados de puentes y la realización de los estudios de socavación. Una de las ventajas de utilizar HEC – RAS, es que facilita el cálculo de los parámetros hidráulicos de los perfiles de los cauces y la identificación de los niveles de la superficie del agua. Es preciso mencionar que, este software permite la experimentación teórica en secciones de puentes y calcular la profundidad socavación en pilas de puentes, la simulación de los sub-canales y la predicción de los cambios del lecho hídrico en función de la sedimentación o degradación del cauce (Peñaloza, Caamaño, & Villagrán, 2017).

2.2.11. Puentes

2.2.11.1. Definición de puentes

Los puentes son infraestructuras construidas con el fin de proporcionar continuidad a las vías terrestres, en lugares donde las características geográficas del territorio impidan su desarrollo. Por otro lado, estos componentes resisten autopistas, vías férreas, carreteras, incluso, líneas de distribución y tuberías; cabe mencionar que los obstáculos y accidentes geográficos salvados por un puente pueden ser naturales o artificiales, tales como, corrientes de agua, depresiones del territorio o grietas topográficas (MTC, 2016).

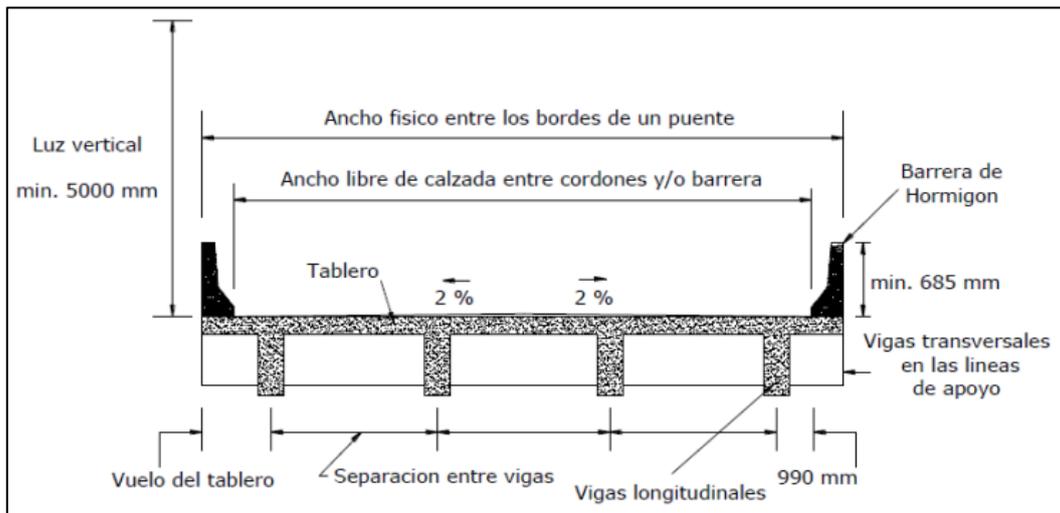
En esta línea, Candebat et al. (2017) también señalan que las estructuras de los puentes pueden ser de concreto, acero, madera, piedra o ladrillo; sin embargo, cada uno cumple con el rol fundamental de permitir la continuidad de la infraestructura vial.

Figura 22*Componentes de un puente**Nota.* Modificado de Cora (2019).**2.2.11.2. Componentes de un puente****- Superestructura**

La superestructura, también conocida como tablero del puente, está formada por la calzada y soporta las cargas de rodadura que se transmiten a los apoyos. Esta parte transmite a la infraestructura las acciones del puente, como su propio peso, las cargas vivas que circulan por el puente, o las vehiculares, como terremotos, hundimientos, frenadas e impactos. Asimismo, Pinto y Torres (2015) señala que los componentes que forman parte de esta pueden ser losas, elevaciones, soportes, plataformas y parapetos. Por otro lado, el material más utilizado en la construcción de estos componentes son el concreto pretensado, el hormigón armado y el acero estructural.

Figura 23

Sección transversal del tablero de un puente



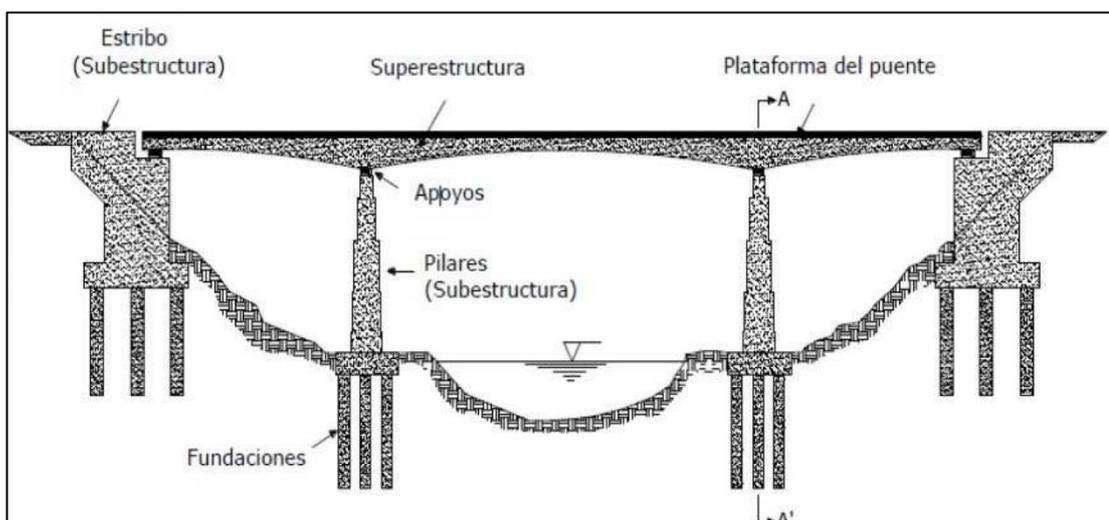
Nota. Tomado de Ccora (2019).

- Subestructura

La infraestructura o también denominada subestructura es aquella que conforma a los elementos que brindan apoyo a la superestructura, soportando las cargas de esta misma y transfiriendo al suelo, sus propias cargas y las que actúan sobre ella. Esta sección está conformada por estribos y pilas de un puente.

Figura 24

Superestructura y subestructura de un puente



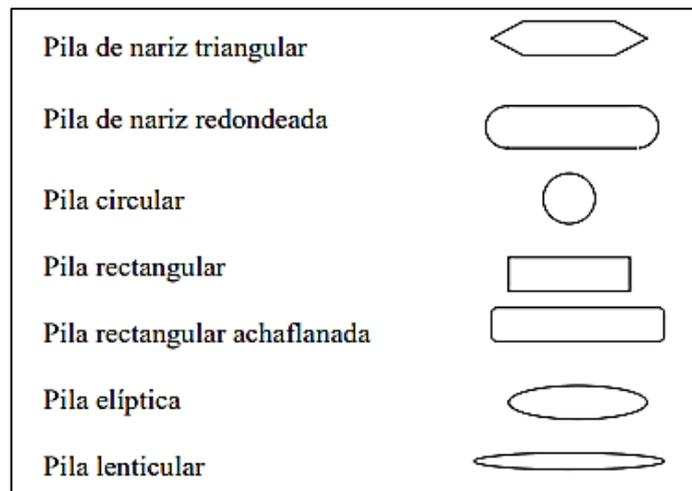
Nota. Pinto y Torres (2015).

- Pilas de un puente

De acuerdo a lo que señala Moncada (2018) se considera como pilas de un puente a los apoyos que se encargan de soportar cargas a los tramos horizontales de un puente. Estas pilas pueden denominarse según su forma de su sección en planta, como se visualizar a continuación:

Figura 25

Forma de pilas de un puente



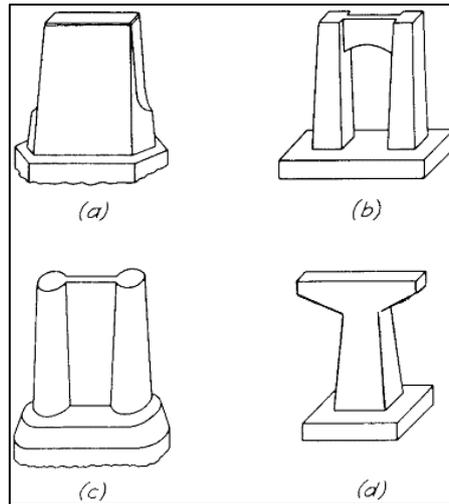
Nota. Tomado de Moncada (2018).

Los pilares pueden estar apoyados en cimientos de pilotes o en pilares que se extienden sobre los pilotes, o los pilotes pueden extenderse por encima del nivel del suelo. Nivel del suelo (es decir, la parte superior de la pila) (Peñaloza, Caamaño, & Villagrán, 2017).

Rodríguez (2020) señala que, los elementos responsables de transmitir de manera uniforme las cargas del tablero del puente hacia las pilas son los apoyos, en algunos casos, estos actúan como disipadores y garantizan la distribución de las cargas hacia la subestructura de manera segura.

Figura 26

Tipo de pilas de puente y superestructura



Nota. a. Pilas de puente típica tipo muro, b. Pila llena, c. Pila a dos cuerpos, d. Pila en “T”. Tomado de Rodríguez (2020).

2.2.12. Socavación

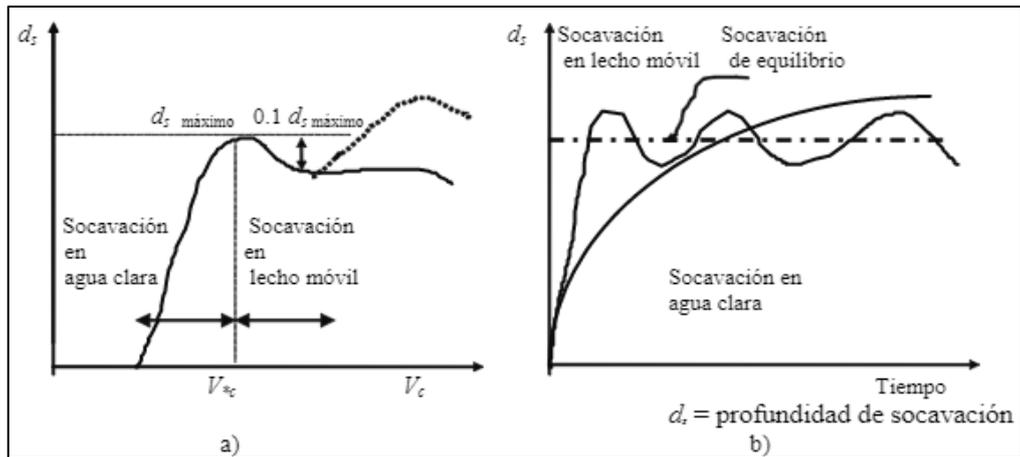
La socavación es el descenso del lecho de un cauce hídrico a causa del incremento de su capacidad para arrastrar sedimentos a lo largo del cauce (Moncada, 2018). Según Toapaxi et al. (2017), la socavación común corresponde al descenso general del lecho debido al aumento del arrastre de sedimentos asociado a la inundación y al aumento del flujo hídrico. Según Arriola et al. (2017) el arrastre de sedimentos suspendidos, el arrastre en los estribos de los puentes debido a la alta variabilidad de la resistencia del flujo con el paso del tiempo, así como el efecto del blindaje también debe ser considerado en los cálculos de socavación.

2.2.12.1. Formas de socavación

Generalmente, la socavación se presenta en diferentes formas, las mismas que dependen de la actividad del cauce, es decir, según la presencia o no de sedimentos aguas arriba y la velocidad con la que son desplazados pueden ser de dos formas, mediante la socavación en lecho móvil y socavación en agua clara.

Figura 27

Relación de la velocidad y el tiempo en la profundidad de la socavación



Nota. El inciso a) es velocidad crítica. El inciso b) el Tiempo, UNICAUCA (2014)

- Socavación en lecho móvil

También llamada como socavación en lecho vico, corresponde al tipo de socavación que ocurre cuando los sedimentos existentes aguas arriba son arrastradas hasta el hueco socavado por la remoción de material en la infraestructura del puente, durante este proceso los sedimentos removidos son reemplazados por los sedimentos arrastrados hasta el punto de que los sedimentos arrastrados equilibran la cantidad de material retirado (Peñaloza, Caamaño, & Villagrán, 2017).

$$V > V_c$$

$$q_{s1} \geq q_{s2} > 0$$

Siendo que:

q_{s1} = Transporte de sedimentos fuera del hoyo socavado ($V \times T$).

q_{s2} = transporte de sedimentos hacia el hoyo de socavación sin obstrucciones en el cauce.

- Socavación en agua clara

Se produce cuando el cauce remueve los sedimentos en torno a la infraestructura del puente, en este caso dada la ausencia de sedimentos arrastrados el hueco causado por la socavación no se reabastece con material nuevo. Cabe mencionar que las constantes crecidas y bajas de caudal, provocan que los puentes

ubicados en cauces con material rugoso sean más propensos a afectarse con socavaciones de agua clara durante los caudales bajos y de lecho móvil con caudales altos.

$$V < V_c$$

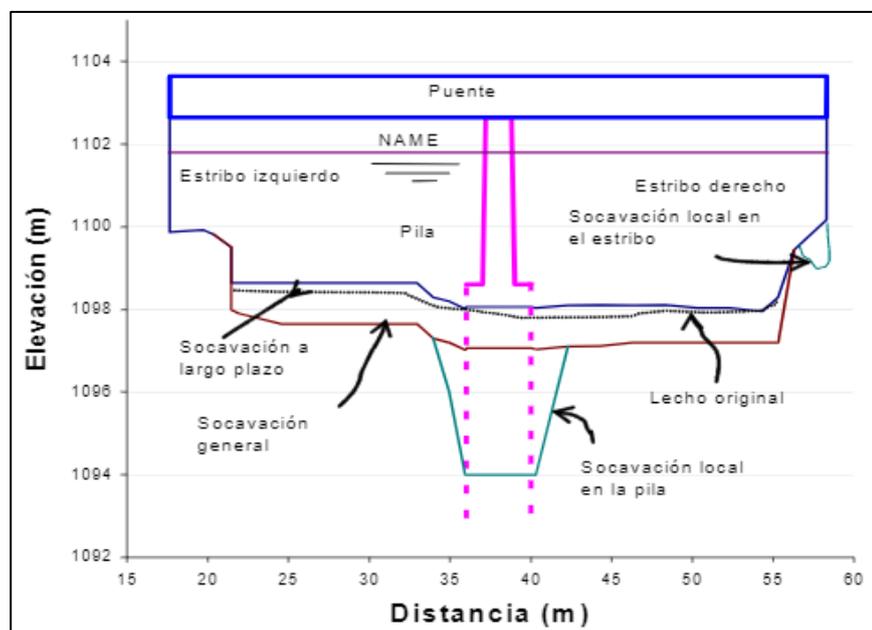
$$0 \cong q_{s2} \ll q_{s1} > 0$$

2.2.12.2. Tipos de socavación

De acuerdo a la envergadura de la socavación y los elementos estructurales del puente comprometidos se pueden identificar distintos tipos de socavación:

Figura 28

Esquema gráfico de los tipos de socavación



Nota. Tomado de UNICAUCA (2014)

- Socavación a largo plazo

Se refiere a la tendencia de un lecho fluvial a degradarse con el tiempo por causas naturales externas o provocadas por el hombre, pero no se tienen en cuenta los fenómenos extremos ni las inundaciones. La socavación a largo plazo se produce en una amplia zona a lo largo del cauce del río, por lo que se deduce que no es temporal. El fenómeno opuesto, la acreción, se refiere a la acumulación de aluvión

fluvial y de cuenca aguas arriba de la calzada (Peñaloza, Caamaño, & Villagrán, 2017).

- **Socavación local**

La socavación local es uno de las problemáticas relacionadas a estructuras hidráulicas en lecho de ríos, este tipo de socavación es aquel obstáculo situado en un flujo, como resultado de alteraciones del flujo que es generado por una estructura o por un obstáculo de esta misma (Peñaloza, Caamaño, & Villagrán, 2017). Este depende de la velocidad de escurrimiento, por lo que, al diseño de cualquier estructura u obra hidráulica considera como problema fundamental la socavación.

A continuación, se muestra el tipo de socavación tratado en la presente investigación:

- **Socavación local en pilas:** Toapaxi et al. (2017) la socavación que ocurre alrededor de pilas u otras estructuras en entornos acuáticos da lugar a la erosión de sedimentos vecinos, creando laterales y remodelando la dinámica del flujo de agua. Esta erosión también puede generar vórtices en el lado aguas abajo de las estructuras, perturbando la uniformidad del flujo y acumulando sedimentos en lugares específicos. Los parámetros que influyen en la socavación en pilas son las siguientes:

Tabla 6

Parámetros que influyen en la socavación en pilas

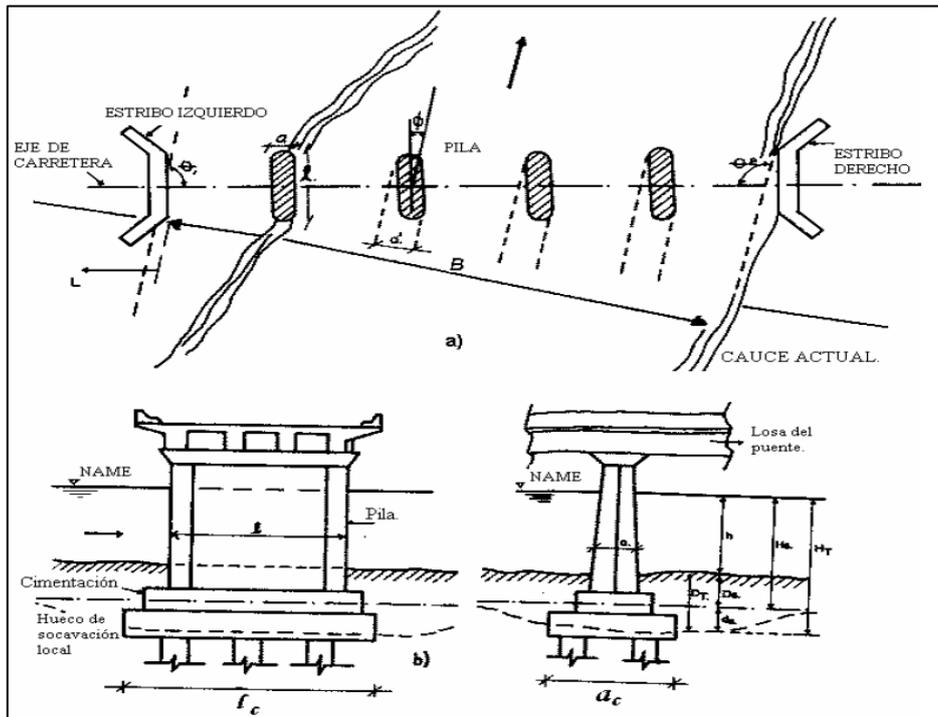
| Ítem | Abreviatura | Descripción/ Socavación |
|-------------|-------------|---|
| Profundidad | Dt | Socavación total |
| | Ds | Por contracción |
| | ds | En pilas y en estribos |
| | Hs | Luego de socavación por contracción |
| | h | Tirante del agua |
| Nivel | Ht | Profundidad del agua después de la socavación local y por contracción |
| | NAME | aguas máximas extraordinarias |
| Ancho | a | Pila |
| | a' | Proyectado de la pila |
| | ac | <i>Cimentación</i> |

| | | |
|-----------|----------|-----------------------------------|
| | l | Pila |
| Longitud | l_c | Cimentación |
| | L | Estribo/ terraplén |
| Angulo | θ | De ataque del flujo sobre estribo |
| | ϕ | De ataque del flujo sobre la pila |
| Velocidad | V | Flujo |

Nota: Elaboración propia.

Figura 29

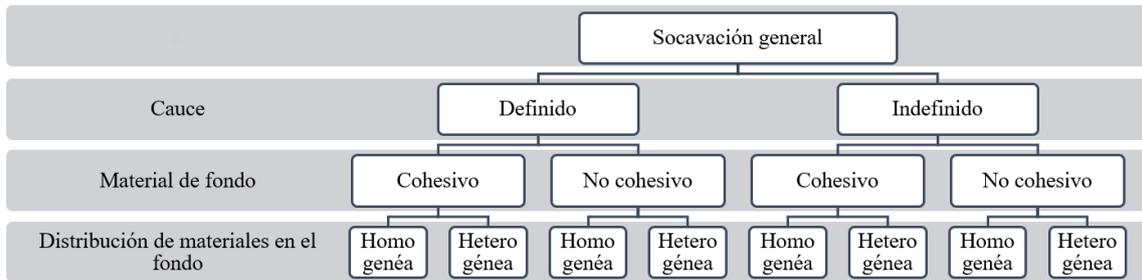
Parámetros presentes en la socavación de puentes



Nota. Modificado de Muñoz (2011)

- Socavación general

Guevara (2021) señala que este tipo de socavación refiere a la disminución generalizada del fondo del río debido al incremento de la corriente con contenido de sedimentos en el lecho durante las crecientes. Este proceso ocurre en todo el recorrido del cauce hídrico indistintamente de las acciones antropogénicas como las construcciones de un puente o diferentes estructuras, por lo cual, el lecho puede disminuir de manera no uniforme, uniforme continua o discontinua a través de una sección transversal.

Figura 30*Socavación general*

Nota. Elaboración propia sobre la base de UNICAUCA (2014)

2.2.12.3. Métodos de cálculo de socavación en pilas de puentes

Para la medición de cálculo de socavación local alrededor de pilas existen diversos métodos, sin embargo, no existe solución que sea rigurosa o exacta ante dicho problema. Por lo que, a continuación, se detalla lo siguiente:

a) Método de Laursen y Toch (1953, 1956)

Este método fue desarrollado bajo condiciones de transporte continuo de sedimentos, este método se aplica para suelos arenosos. Por lo que, a continuación, se muestran las siguientes ecuaciones para su cálculo.

- *Caso: Flujo del agua paralelo al eje mayor de la pila.*

$$d_s = K_f * K_g * a$$

Donde:

d_s = Es la socavación local (m)

a = Ancho de pila (m)

K_g = Coeficiente que depende de la relación H_s/a

K_f = Coeficiente en función a la forma de nariz de pila (m)

Asimismo, para la obtención de los coeficientes K_f, K_g , se detalla lo siguiente.

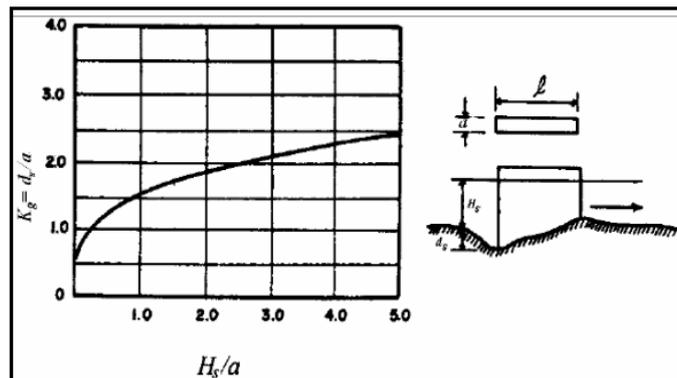
Figura 31

Coeficiente K_f

| FORMA DE LA NARIZ | COEFICIENTE K_f DE SCHNEIBLE |
|--|-----------------------------------|
| RECTANGULAR $l/a = 4$ | 1.00 |
| SEMICIRCULAR | 0.90 |
| ELIPTICA $\frac{p}{r} = \frac{2}{l}$ $\frac{p}{r} = \frac{3}{l}$ | 0.81 |
| | 0.75 |
| LENTICULAR $\frac{p}{r} = \frac{2}{l}$ $\frac{p}{r} = \frac{3}{l}$ | 0.81 |
| | 0.69 |
| FORMA DE LA NARIZ | SEGÚN TISON |
| BISELADA $l/a = 4$ | 0.78 |
| PERFIL HIDRODINAMICO $l/a = 4$ | 0.75 |

Nota. Tomado del Tomado del MTC (2018).

Figura 32

Coeficiente K_g 

Nota. Tomado del MTC (2018).

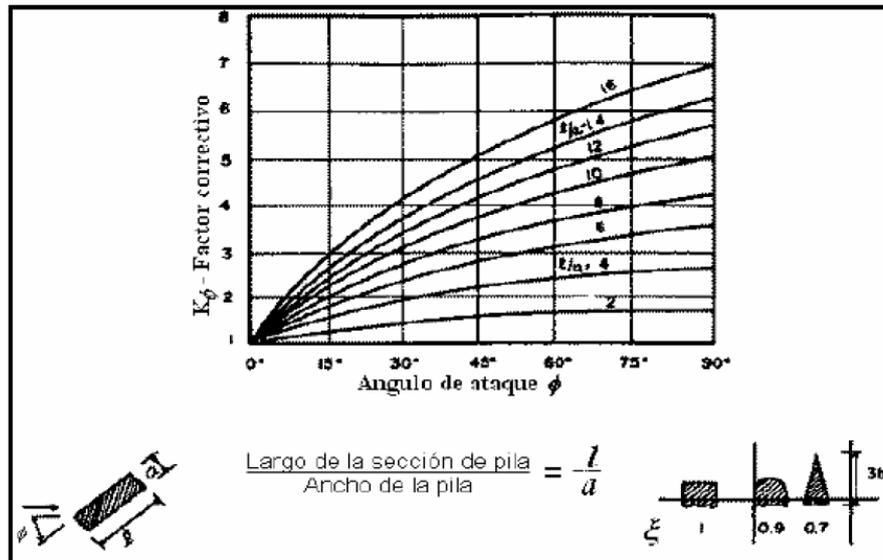
- Caso: Flujo del agua con ángulo de ataque al eje de mayor dimensión del pilar.

$$y_s = K_g * K_s * a$$

Asimismo, para la obtención de los coeficientes K_s , se detalla lo siguiente.

$$K_s = \frac{\text{Largo de la sección de la pila}}{\text{Ancho de la pila}} = \frac{l}{a}$$

Figura 33

Coeficiente K_ϕ 

Nota. Tomado del MTC (2018).

b) Método de Neill (1964)

El método de Neill es aquella ecuación que permite el ajuste de datos experimentales para la socavación en pilares rectangulares y circulares. Esta permite obtener la máxima socavación que se logra esperar a cualquier velocidad.

$$y_s = 1.5 * a'^{0.7} * h^{0.3}$$

Donde:

y_s = Es la socavación local (m)

h = Es la profundidad del flujo aguas arriba (m)

c) Método de Larras (1963)

El método de Larras es aquel método que proyecta la aplicación de una ecuación práctica- teórica que está deducida de mediciones después de la avenida en diversos puentes (MTC, 2018). Esta llega obtener una profundidad máxima de socavación, bajo la consideración de la velocidad crítica de sedimentos.

$$y_s = 1.05 * K * a^{0.75}$$

Donde:

y_s = Es socavación local (m)

K= Es un coeficiente obtenido de $K_f K_s$.

- Pilares cilíndricos, se considera K= 1.00
- Pilares rectangulares, se considera K= 1.40

d) Método de Arunachalam (1965-1967)

El MTC (2018) afirma que, es aquel método que se plasma mediante la siguiente ecuación.

$$y_s = 1.334 * q^{2/3} * \left[1.95 * \left(\frac{1.334 * q^{2/3}}{a} \right)^{-1/6} - 1 \right]$$

Donde:

y_s = Es la profundidad de socavación (m)

q = Es el caudal unitario aguas arriba de un puente ($m^3/s\cdot m$)

e) Método de Carsten (1966)

El MTC (2018) afirma que, este método se plasma mediante una ecuación específica, que se detalla a continuación. Asimismo, se indica que esta es aplicable en condiciones de socavación en lecho móvil involucrando el efecto del tamaño del sedimento.

$$y_s = 0.546 * a * \left(\frac{N_s - 1.25}{N_s - 5.02} \right)^{5/6}$$

Donde:

y_s = Es la socavación local (m)

Ns= Número de sedimentos.

f) Método de Maza- Sánchez (1968)

Este método es aquel que se aplica en lechos cubiertos por grava y arena, este también está basado en el empleo de curvas (MTC, 2018). Los parámetros intervenidos en el método son de profundidad de flujo, ancho de pilar, ángulo de ataque del flujo sobre estructura y el número de Froude, sin considerar el diámetro de las partículas.

$$y_s = H_T - H_s$$

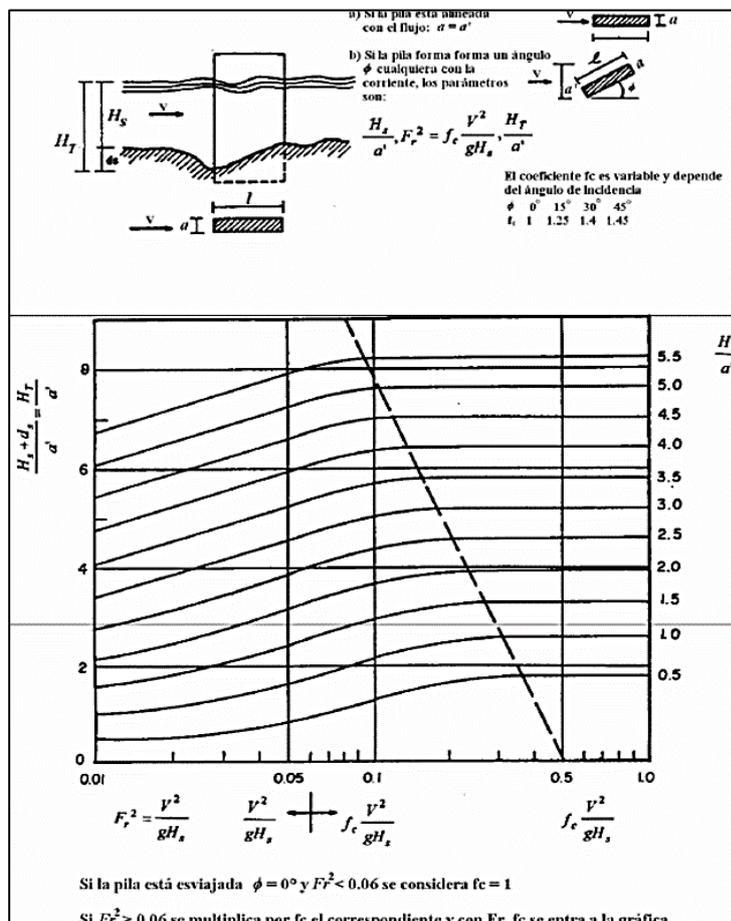
Donde:

H_s = Es la profundidad de aguas arriba del pilar (antes de socavación local).

H_T = Es la profundidad de sección socavada.

Figura 34

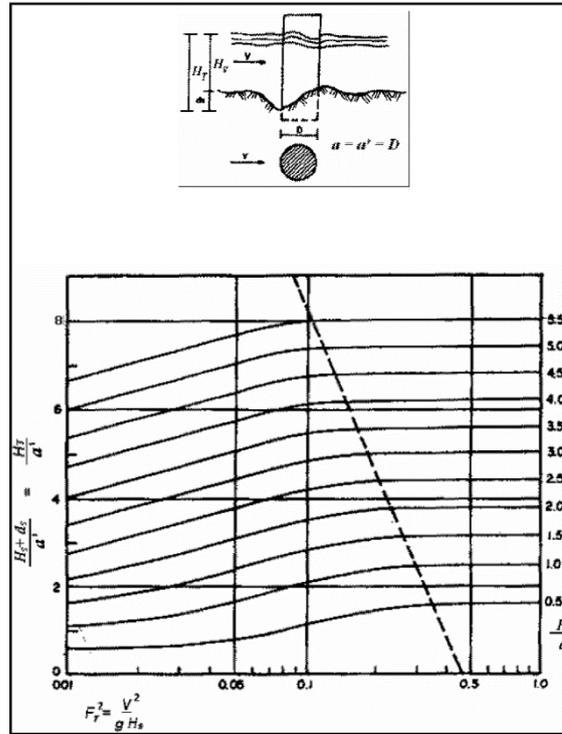
Socavación local en un pilar rectangular



Nota. Tomado del MTC (2018).

Figura 35

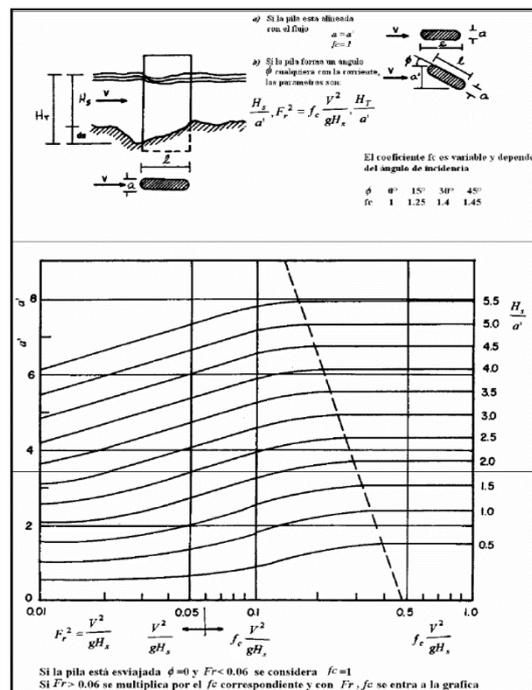
Socavación local en un pilar circular



Nota. Tomado del MTC (2018).

Figura 36

Socavación local en un pilar elongada



Nota. Tomado del MTC (2018).

g) Método de Breusers, Nicollet y Shen (1977)

Según el MTC (2018), este método es aquel que propone una ecuación simple y sencilla en la que considera que esta profundidad de socavación calculada está en función al ancho del pilar.

$$y_s = 1.4 * a$$

Donde:

y_s = Es la socavación medida desde el nivel medio del lecho (m)

h) Método de Melville y Sutherland (1988)

Es aquel que se ha desarrollado por la Universidad de Auckland y que se plantea mediante la siguiente ecuación:

$$y_s = a * K_i * K_h * K_D * K_6 * K_f * K_\infty$$

Donde:

y_s = Es la profundidad de socavación medido desde el nivel medio del lecho (m)

K_∞ = Factor corregido por ángulo de ataque del flujo.

K_6 = Factor corregido por gradación de sedimento.

K_D = Factor corregido por tamaño de sedimento.

K_f = Factor corregido por forma del pilar.

K_h = Factor corregido por profundidad del flujo.

K_i = Factor corregido por intensidad del flujo.

i) Método de Froehlich (1991)

Según el MTC (2018), este método fue desarrollado mediante el empleo del software HEC-RAS, y fue planteado mediante la siguiente ecuación.

$$y_s = 0.32 * K_f * a' ^{0.62} * h ^{0.47} * F_{50} ^{0.22} * D_{50} ^{-0.09} + a$$

Donde:

y_s = Es la socavación local (m)

h = Es la profundidad del flujo aguas arriba del pilar (m)

a = Es el ancho del pilar con factor de seguridad (m)

a' = Es el ancho del pilar con relación al ángulo de ataque del flujo (m)

D_{50} = Es el diámetro de partícula del lecho en una mezcla.

F_r = Es el N° Froude en la sección del pilar aguas arriba.

K_f = Es el factor corregido por forma del pilar.

j) Método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU)

Este método es aquel que fue desarrollado mediante una ecuación que permite el cálculo de socavación local en pilares de un puente tanto en agua clara como en lecho móvil.

$$\frac{y_s}{h} = 2.0 * K_f * K_s * K_c * K_a * \left(\frac{h}{a}\right)^{0.65} * F_r^{0.43}$$

Donde:

K_a = Es el factor que toma el acorazamiento del sedimento del lecho.

K_c = Es el factor que toma en consideración a la forma del lecho.

K_s = Es el factor que toma en cuenta el ángulo de ataque del flujo.

K_f = Es el factor en función a la forma del pilar.

- Para pilar cuadrada, $K_f = 1.1$
- Para pilar redondeada, $K_f = 1.0$
- Para pilar cilíndrico, $K_f = 1.0$
- Para pilar punta aguda, $K_f = 0.9$
- Para grupo de cilindros, $K_f = 1.0$

Es preciso mencionar que, cada modelo teórico del cálculo de socavación mencionados, permite identificar diversos parámetros de la socavación del área de estudio, sin embargo, para efectos de la investigación se utilizará el modelo teórico que evidencie la socavación más crítica, el cual será utilizado para el planteamiento y desarrollo de la propuesta.

2.2.12.4. Medidas para la protección en pilares.

Cuando se utilicen medidas para controlar, retrasar, mitigar o vigilar los problemas de estabilidad del cauce o del puente, cualquier enfoque de los problemas de socavación de puentes debe comenzar con un examen de las causas de la socavación, incluidos los aspectos desestabilizadores de la topografía, la hidrología, la hidráulica, la estructura y los suelos. Es por ello que, con la finalidad de no reducir el área hidráulica de la corriente del flujo, es conveniente por lo menos completar el hoyo generado por la socavación, mediante algunos métodos que continuación se describen:

a. Enrocado

De acuerdo con Guevara (1998), indica que el enrocado debe tener un mínimo de tres capas de roca en contacto con la estructura, dado que cuando se tiene menos capas esto puede originar que la arena entre la roca y esta sea removida por la turbulencia y los vórtices (p.7.35).

- Método de Maza Álvarez

La siguiente expresión puede ser usada para encontrar el tamaño del enrocado:

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

Donde:

D_m = diámetro medio de la roca (m).

V = velocidad media del flujo ($V < 4.5$ m/s).

h = profundidad del flujo (m).

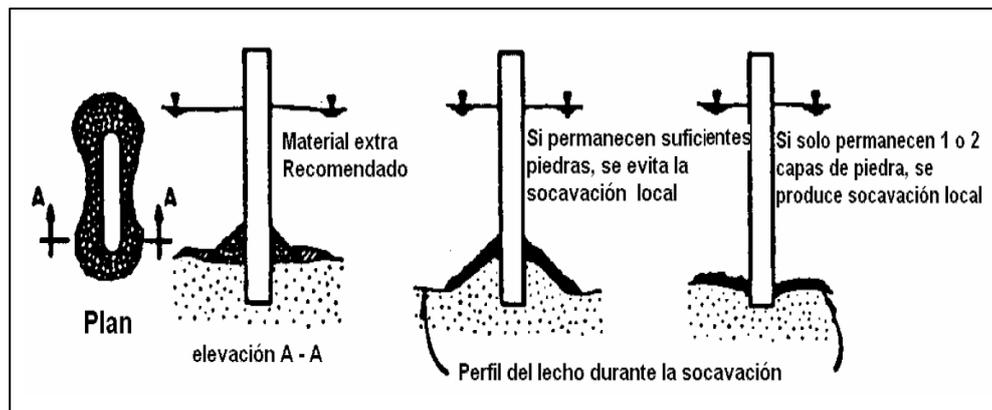
γ_s = peso específico del material de protección (Kg/m^3).

La piedra a colocar en el método de enrocado debe rodear las pilas, excepto, cuando este seguro de que se mantendrá alineado a la corriente durante toda la existencia, en cuyo caso el enrocado se colocaría en el extremo aguas arriba de cada pilar (Guevara, 1998).

Se aprecia en la figura 37, la condición de las pilas antes de la socavación y durante el fenómeno de la socavación.

Figura 37

Comportamiento del enrocado – Protección de pilares.



Nota. Tomado de Socavación en puentes (Guevara, 1998).

- Método propuesto en HEC-18 (1993)

Según HEC-18 (1993), el método del enrocado no debe ser empleado para las estructuras de puentes que se encuentran en ejecución, teniendo en cuenta que el enrocado no es una medida permanente para proteger pilas contra socavación, recomendando que las nuevas estructuras deben proyectarse para

ser estables. La siguiente ecuación se usa para encontrar el tamaño de la roca de protección:

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

Donde:

D50 = diámetro medio de la roca (m).

K = coeficiente de forma de los pilares.

V = velocidad del flujo sobre los pilares (m/s).

K = 1.7 para pilares con nariz rectangular.

Gs = densidad relativa de la roca, usualmente 2.65.

g = aceleración de la gravedad (m/s²).

Cuando no se tengan valores puntuales acerca de la velocidad sobre la pila, la velocidad media del cauce ($V_m = Q/A$) se multiplica por un coeficiente que va desde 0.9 para los pilares cerca al pie en un cauce recto hasta 1.7 para pilas próximas a la curvatura exterior del río (Guevara, 1998, p.7.37).

En la investigación de Guevara (1998), denominada Socavación en puentes de la Universidad del Cauca, menciona algunas recomendaciones de criterios de construcción:

- Ensanchar la anchura del enrocado dos veces el ancho del pilar; la protección o defensa debe ser más larga que ancha y las piedras a colocar deben renovarse si se presenta socavación. Además, si el río es angosto el enrocado debe colocarse a través de la sección transversal.
- La parte más alta del enrocado debe concordar con cauce del río en su superficie, por lo que entre más profundo se coloque el enrocado se tiene menos posibilidad de que sea arrastrado o movido, sin embargo, su colocación será más difícil.

- En el enrocado se debe tener en cuenta que el espesor mínimo sea tres veces el diámetro D_{50} de la roca y el tamaño máximo no debe de exceder el tamaño medio D_{50} . Es necesario indicar que también se puede considerar colocar un filtro.

2.3. Definición de términos básicos

- Ancho de puente: Es el ancho en su totalidad de una superestructura incluyendo veredas, calzadas o aceras, barreras y/o barandas.
- Calzada de puente: Es aquella parte superficial del tablero en la cual transitan los vehículos.
- Longitud de tablero: Esta es la longitud en el eje longitudinal de un tablero entre los bordes que están en el extremo de la losa.
- Puentes: Son obras de ingeniería que buscan la interacción del medio ambiente circundante permitiendo la unión de caminos que hayan sido separadas por un obstáculo como un cauce de un río.
- Río: Es un canal natural que se encarga de transportar el agua pluvial que cae sobre una cuenca hasta su desembocadura.
- Cauce: Refiere a la superficie por donde se encauza el agua de una unidad hídrica, puede ser ríos, quebradas o canales.
- Socavación: Corresponde a un proceso de degradación del material del lecho y orillas de los cauces hídricos a causa del arrastre de sedimentos en función del caudal y la velocidad.
- Caudal: Expresa la cantidad de agua que transcurre por el lecho hídrico en función a una unidad mínima de tiempo.
- Período de retorno: Se asocia al rango de tiempo en el que un evento de precipitaciones y otros tiene la probabilidad de repetirse en la misma intensidad

o mayor. En otras palabras, corresponde a la frecuencia de repetición de los eventos.

- Gradiente hidráulico: Hace referencia a la pérdida de carga en función del recorrido longitudinal del cauce, las pérdidas se incrementan en zonas deprimidas.
- Procesos fluviales: Hace referencia a todos los eventos asociados a los cauces hídricos como erosión y sedimentación.
- Degradación: Corresponde al desgaste de la capa superficial del relieve terrestre a razón de las modificaciones del cauce hídrico o el arrastre de sedimentos.
- Remoción en masa: Refiere al desplazamiento de porciones de tierra a sea de forma lenta o rápida.
- Pilas: Son estructuras verticales que conforman la subestructura de los puentes, su principal función es transmitir las cargas percibidas del peso del tablero, los aparatos de apoyo y los vehículos.
- Avenida: Corresponde a los procesos de cambio de nivel de agua en un cauce hídrico; el nivel máximo se alcanza de forma breve y desciende de forma lenta.
- Erosión: Hace referencia al proceso de desgaste de la capa superficial del suelo en función al tipo de agente como el viento o agua.
- Estabilidad lateral: Equivale a la resistencia del suelo a los esfuerzos cortantes en el plano horizontal.

CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS Y VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

3.1. *Hipótesis de la investigación*

3.1.1. Hipótesis principal

- La estimación de la profundidad de socavación será menor a 1.50 m en las pilas del puente del río Yuracyacu en Nueva Cajamarca.

3.1.2. Hipótesis secundarias

- El estudio de suelos permite obtener las características físicas y mecánicas del área de estudio y la planimetría será accidentada aguas arriba y aguas abajo del puente Yuracyacu.
- El análisis de los cálculos hidrológicos e hidráulicos permitirán determinar la influencia de los máximos caudales del río para mitigar los daños que puedan producirse sobre el puente Yuracyacu.
- La obra de protección permitirá controlar la socavación del pilar central del puente Yuracyacu.

3.2. *Variables de investigación*

3.2.1. Variable Independiente

De acuerdo con Borja (2016), una variable independiente es “la variable que produce el efecto o es la causa de la variable dependiente” (p.23).

Variable independiente de la investigación

- Puente del río Yuracyacu

3.2.2. Variable Dependiente

De acuerdo con Borja (2016), una variable dependiente es “la consecuencia o derivación de la acción de la variable independiente” (p.23).

Variable dependiente de la investigación

- La socavación de pilares

3.3. Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables es un proceso de lo general a lo específico que nos permite entender la variable de estudio, es ordenado, ya que se empieza por la variable, luego siguen las dimensiones y luego los indicadores; es entendible porque muestra la relación entre estos tres aspectos y al final, el fenómeno del estudio debe ser medido (Arias, 2020).

Tabla 7*Operacionalización de variables*

| Variable | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensión | Indicador | Escala de medición |
|-------------------------------|---|--|--|---|---------------------------|
| V.D. La socavación de pilares | Se define como el resultado directo de alteraciones del flujo generado por una estructura o por un obstáculo de esta misma (Peñaloza et al., 2017). | La socavación es un proceso que puede perjudicar a una estructura que altera las condiciones hidráulicas de un río debido a su construcción. | Métodos tradicionales: Método de Maza-Sánchez, Método de Larras, Método de la Universidad Estatal de Colorado y el Método de Arunachalam | Profundidad de socavación | De razón |
| | | | HEC-RAS | Profundidad de socavación | Nominal |
| V.I. Puente del río Yuracyacu | Estructura requerida para atravesar un accidente geográfico o un obstáculo natural o artificial (MTC, 2018). | Un puente es una importante estructura vial que está destinada a atravesar obstáculos como ríos, lagos, valles, lagos, vías férreas, entre otros con la finalidad de unir a pueblos y viajeros con el transporte de animales y mercancías. | Caracterización del suelo | Granulometría | Nominal |
| | | | Topografía | Secciones transversales | Nominal |
| | | | Hidrología | Caudales Precipitaciones | De razón |
| | | | Hidráulica | Coefficiente de rugosidad Tipo de estructura | Nominal |

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO 4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Diseño de Ingeniería

4.1.1. Tipo

Según Arias (2020), una investigación de tipo aplicada se orienta hacia la búsqueda, intervención, ajuste o formulación de resoluciones para abordar una problemática preexistente. Su enfoque primordial radica en lograr un impacto directo en dicha realidad. Además, en el ámbito cuantitativo de investigación, se recolectan datos numéricos con el propósito de analizar la información adquirida en el estudio, con el fin de ofrecer respuestas al cuestionamiento planteado.

La presente investigación fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo, basada en la utilización de métodos numéricos con el propósito de obtener resultados asociados a la erosión de los pilares del puente ubicado en el Río Yuracyacu, en Nueva Cajamarca. De este modo, el objetivo fue proporcionar información relevante sobre este tema, con la finalidad de comprender las condiciones actuales en la muestra de estudio. El enfoque cuantitativo se reflejó en la recopilación de datos numéricos, lo cual resultó esencial para generar los resultados necesarios a fin de estimar la magnitud de la socavación.

4.1.2. Método

El método científico, constituye un enfoque sistemático y secuencial con el propósito de abordar de manera organizada una problemática, brindar soluciones fundamentadas, describir fenómenos y establecer relaciones entre los hechos, todo con el fin de obtener valores que permita establecer leyes que expliquen fenómenos físicos del mundo (Borja, 2016).

Debido a esto se aplicaron las siguientes metodologías para determinar la socavación en puentes:

1. Método de Maza-Sánchez (UNAM)

2. Método de Larras
3. Método de la Universidad Estatal de Colorado (FHW)
4. Método de Arunachalam

4.1.3. Alcance

El alcance descriptivo en una investigación, considera como objetivo el explicar las propiedades características de un objeto de estudio, el cual necesite ser evaluado y analizado; en el cual se pretende recopilar información importante sobre variables o conceptos a los que se refieren, de forma conjunta e independiente (Arias, 2021).

El alcance de la presente investigación se consideró descriptivo, debido a que, se enfocó en la descripción de características de la muestra de estudio, en este caso, bajo la obtención de resultados de la estimación de socavación en pilas, estos fueron analizados por diferentes métodos, con el fin de brindar una alternativa de solución preventiva para evitar posibles daños o fallas futuras en el Puente Yuracyacu.

4.1.4. Diseño

Tal como lo indica Arias (2021), la investigación no experimental con diseño longitudinal, se da cuando las variables no se someten a condiciones experimentales, los sujetos de estudio son analizados en su contexto natural sin tener manipulación alguna, durante un período de tiempo en un proceso de cambio.

Se indica que el diseño de la presente investigación fue no experimental debido a que no se han sometido las variables a experimentos y el fenómeno de socavación ha sido evaluado con las precipitaciones de 45 años para períodos de 50,100,200 y 500 años.

4.2. Población, muestra y muestreo

4.2.1. Población

Según Otzen y Manterola (2017), la población se considera como aquel conjunto de objetos, personas o de una serie de especificaciones que se caracteriza por ser muy amplia para ser de estudio, sobre el cual se pretende generalizar resultados en un estudio.

En la presente investigación se consideró como población a todos los puentes con características similares al puente Yuracyacu y que se encuentren ubicados en el distrito de Nueva Cajamarca, provincia de Rioja, Departamento de San Martín.

4.2.2. Muestra

Se considera como un subgrupo de la población de estudio que se convierte de interés para la recopilación de datos necesarios de las condiciones del presente estudio que permite ser información representativa que se puede generalizar de la población (Otzen & Manterola, 2017). De esta manera, la muestra de investigación se consideró a las pilas del Puente del Río Yuracyacu en Nueva Cajamarca, cuyos detalles de destacan a continuación:

Tabla 8

Generalidades de la muestra – Puente Yuracyacu

| Generalidades | |
|----------------------|---------------------------|
| Puente | : Yuracyacu |
| Tramo | : Corral Quemado – Rioja |
| Km | : 448 + 950 |
| Sistema estructural | |
| Superestructura | : 05 vigas y losa de c°a° |
| Subestructura | : San Martín |
| Luz de puente | : 80 ml |
| Número de tramos | : 04 |
| Número de vías | : 02 |
| Ancho de vía | : 7.20 m |
| Alineamiento | : recto |

Nota. Elaboración propia.

4.2.3. Muestreo

El muestreo no aleatorio, también conocido como muestreo intencional o dirigido, implica un proceso de selección basado en las características y el contexto del estudio más que en criterios estadísticos de generalización (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). De esta manera, el muestreo considerado en esta investigación fue el no probabilístico por conveniencia, debido que la muestra fue elegida por elección del mismo investigador de forma arbitraria, al contar con disponibilidad de la zona de estudio, accesibilidad y facilidad de información técnica del lugar de estudio.

4.3. *Técnicas e instrumentos de investigación*

4.3.1. Técnicas de recolección de datos

- **Observación:** Permitió visualizar in situ con la finalidad de percibir directamente como está la situación geométrica del Puente Yuracyacu, con ésta se pudo determinar la profundidad de socavación.
- **Análisis documental:** Esta técnica permitió recopilar datos de campo como información hidrológica, topográfica y geotécnica del lugar de estudio, que permitió la representación de documentos o notas mediante tesis y libros.

4.3.2. Técnicas de laboratorio

Las técnicas de laboratorio de la presente investigación fueron las que estuvieron relacionadas con las variables de estudio, ya sea directo o indirecto, las cuales ayudaron a obtener las conclusiones de los objetivos planteados, las técnicas correspondientes al estudio de mecánica de suelos, estas son:

Figura 38

Técnicas de laboratorio – Normas en Mecánica de suelos.

| ENSAYO | NORMA |
|--|--|
| Análisis granulométrico por tamizado del suelo | NTP.339.128 / ASTM D-422 / MTC E107 |
| Contenido de humedad | NTP. 339.127 / ASTM D-2216 / MTC E 108 |
| Límites de consistencia | NTP 339.129 / ASTM D-4318 |
| Clasificación de Suelos SUCS y AASHTO | ASTM 2487 / AASHTO M 145 |

Nota. Elaboración propia.

4.3.3. Técnicas de análisis de la información

Para el análisis de la información en la presente investigación se emplearon las técnicas siguientes:

- Levantamiento topográfico con estación total.
- Búsqueda y selección de las fuentes bibliográficas de información para la selección de datos importantes para la investigación.
- Procesamiento de información en Excel para realizar el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el estudio de suelo, levantamiento topográfico por medio de estación total, procesamiento de datos de precipitaciones en la subcuenca, cálculo de sus parámetros geomorfológicos, cálculo de la socavación.
- Técnica estadística: Se han procesado una serie de datos correspondiente a las precipitaciones en la Estación de Naranjillo por una serie de datos de 45 años, que se computan desde 1978 al 2022, asimismo, se aplicó prueba de probabilística con el software denominado Hydrognomon, en las cuales se trabajó mediante las

funciones Normal, Log Normal, Gamma, Pearson III, Log Pearson III, Gumbel Max, Gumbel Min, Weibul, aplicando la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

4.3.4. Instrumentos de Investigación

a) Normativas

- Hidráulica en obras Viales – Arturo Rocha Felices
- Hidrología, hidráulica y socavación en puentes
- Socavación en Puentes – María Elvira Guevara Álvarez

b) Instrumentos de registros

Son los formatos y fichas que permitieron registrar los datos de los estudios de suelos (ensayos de laboratorio), topografía e hidrológico realizados en la presente investigación, tal como se detalla:

- Formato de laboratorio para determinar el Contenido de Humedad.
- Formato de laboratorio para el ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado.
- Formato de clasificación de suelos por SUCS.
- Ficha de registro de datos del levantamiento topográfico.
- Ficha de registro de datos de parámetros geomorfológicos de la subcuenca.
- Hoja de cálculo Excel y otras herramientas de Microsoft

c) Softwares y herramientas informáticas

- Google Earth Pro
- ArcGIS - Versión 10.5
- Hydrognomon - Versión 4.
- HEC-RAS – Versión 6.4.1

- AutoCAD Civil 3D 2019

d) Otros instrumentos de medición

Equipos y herramientas para el estudio de suelos

- Libreta de campo.
- Moldes para la extracción de muestras.
- Horno regulable a 110°C
- Estufa.
- Juego de tamices.
- Balanza electrónica y balanza mecánica.
- Herramientas: Taras, acanalador, recipientes de porcelana, espátulas, envases, regla metálica, probetas, franela, espátula, lentes y guantes.

Equipos y herramientas para el levantamiento topográfico

- Estación total.
- Prisma.
- Wincha.
- GPS.

d) Instrumentos de recolección de datos

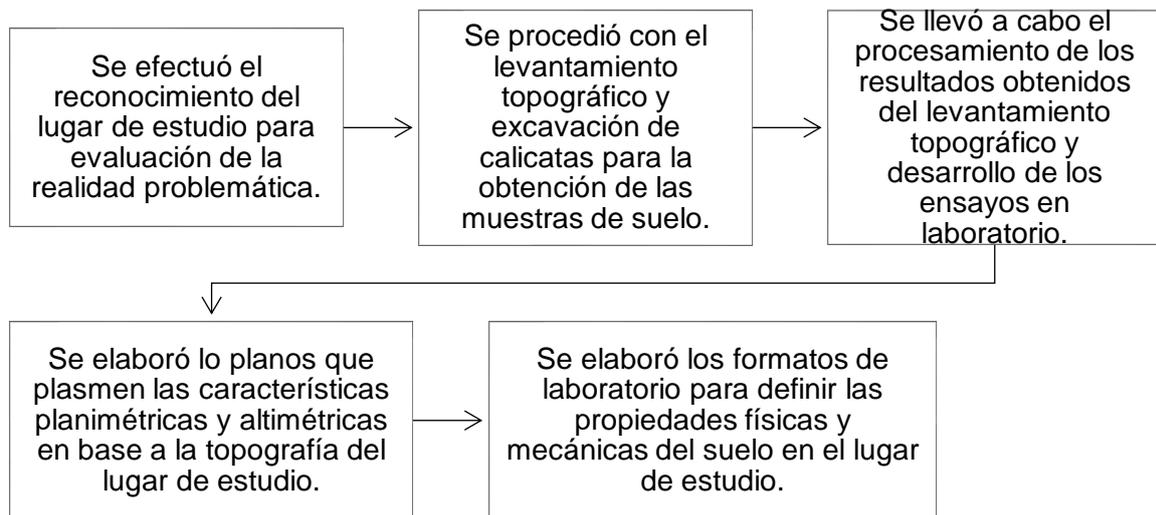
- **Guía de observación:** Este instrumento es aquel que permitió la aplicación de la técnica de la observación y la estimación de la socavación mediante diversos métodos.
- **Cuestionario:** Es una técnica que permitió la aplicación de las encuestas, con preguntas abiertas y cerradas que fueron formuladas para la obtención de información.

- **Guía de análisis documental:** Esta técnica fue considerada para la recopilación de información teórica usada como guía y sustento en el desarrollo en la investigación.

4.4. Descripción de los procedimientos

Figura 39

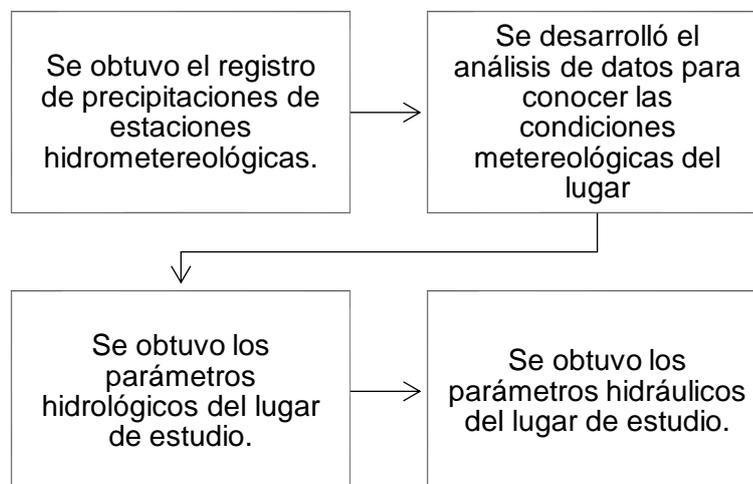
Diagrama de procedimiento de estudios básicos del área de investigación



Nota. Elaboración propia.

Figura 40

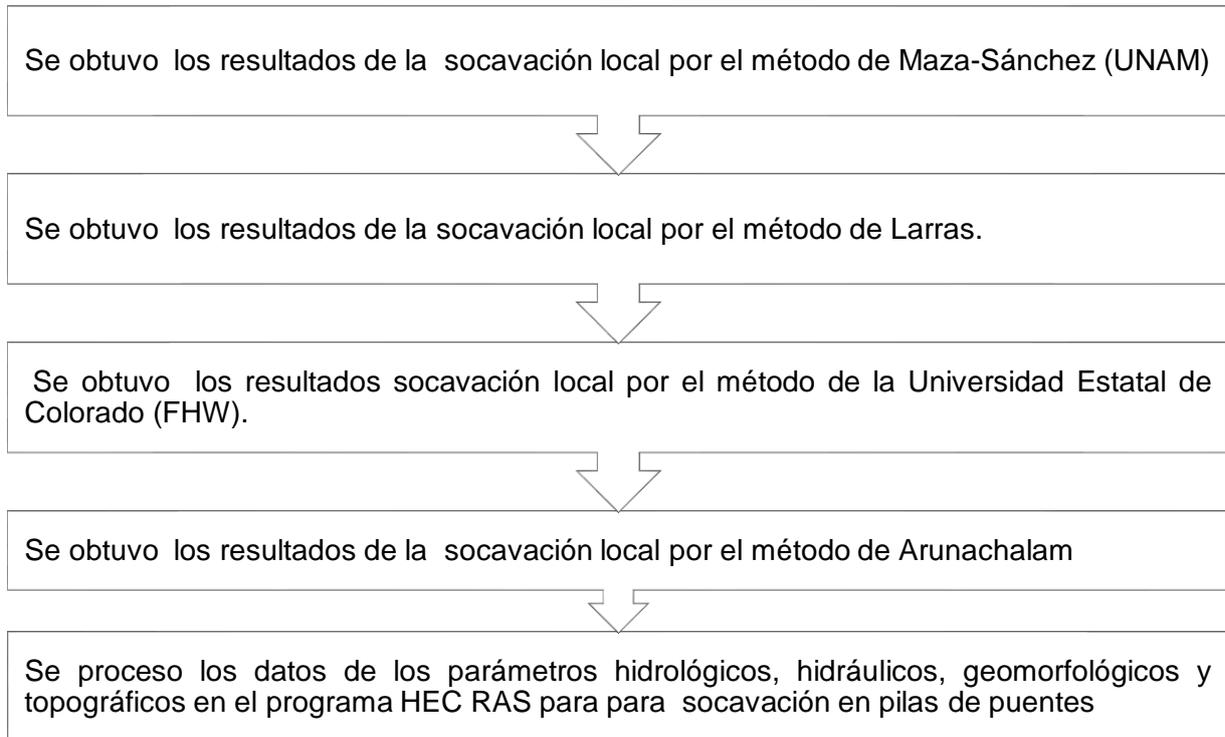
Bosquejo de procedimiento del estudio hidrológico de la zona de investigación.



Nota. Elaboración propia.

Figura 41

Esquema de procedimiento de socavación en pilas del puente.



Nota. Elaboración propia.

CAPITULO 5. DESARROLLO EXPERIMENTAL

5.1. *Proyecto piloto, pruebas, ensayos, prototipos, modelamiento.*

a. *Levantamiento Topográfico*

Como parte del desarrollo experimental, se realizó el levantamiento topográfico en la zona de estudio con el fin de encontrar las curvas de nivel de la superficie del terreno y el perfil longitudinal. Para ello, se hizo un reconocimiento de la zona para determinar de manera visual las pendientes que contiene el terreno y poder realizar un buen levantamiento topográfico. El desarrollo del levantamiento topográfico de la zona estudio se hizo con dos ayudantes. Asimismo, se utilizó 01 estación total, 01 trípode de aluminio, 01 GPS y 03 prismas y 03 bastones para prismas.

Una vez realizado el levantamiento topográfico, se procedió a exportar los datos al software AutoCAD 2019 y se procesó los puntos con las coordenadas de latitud, longitud y altitud en msnm.

Figura 42

Progresiva 0+000, inicio de levantamiento topográfico del puente Yuracyacu.



Nota. Elaboración propia.

Figura 43

Área de influencia topográfica de la zona de estudio.



Nota. Elaboración propia.

b. Estudio de Suelos

En este apartado, se realizó la caracterización de los suelos en el área de influencia del puente Yuracyacu para conocer sus propiedades físicas y mecánicas de los materiales predominantes. Estos datos fueron esenciales cuando se realizó el cálculo de la socavación.

Para dicho proceso, se reconoció el lugar y se realizó la extracción de muestras a través de 02 calicatas con una profundidad de 2.00 m. Posteriormente, se procedió con el registro de perfil estratigráfico para determinar las características de cada capa de suelo de la excavación. Finalmente, se tomó las muestras para ser llevadas al laboratorio y determinar sus características físicas y mecánicas del suelo. Para las propiedades físicas, se determinó el contenido de humedad, granulometría y clasificación SUCS.

Para la clasificación de los suelos, según el sistema SUCS y según AASHTO, fueron realizados en el LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y GEOTECNIA CONSULTORES J&J SAC.

- Contenido de Humedad

En este ensayo se determinó el nivel de agua que puede tener una muestra.

Se utilizó la fórmula para dicho parámetro se muestra a continuación:

$$\%w = \frac{\text{Peso Muestra Humeda} - \text{Peso Muestra Seca}}{\text{Peso Muestra Seca}} \times 100$$

Figura 44

Peso húmedo



Nota. Elaboración propia.

- Análisis Granulométrico

Se utilizó un juego de tamices, desde 5" hasta el tamiz N° 200, según los lineamientos de la normativa ASTM D 422. Asimismo, como producto final se mostró la curva granulométrica de suelo estudiado. Para poder determinar la curva, se utilizó algunas fórmulas.

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso Retenido Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

$$\%Pasa = 100 - \%Retenido Acumulado$$

Figura 45

Tamizado de muestra



Nota. Elaboración propia.

- Clasificación SUCS

Una vez realizado el análisis granulométrico, se procedió a clasificar el suelo según la metodología SUCS en suelos gruesos o suelos finos.

c. ***Estudio Hidrológico***

Carta Nacional

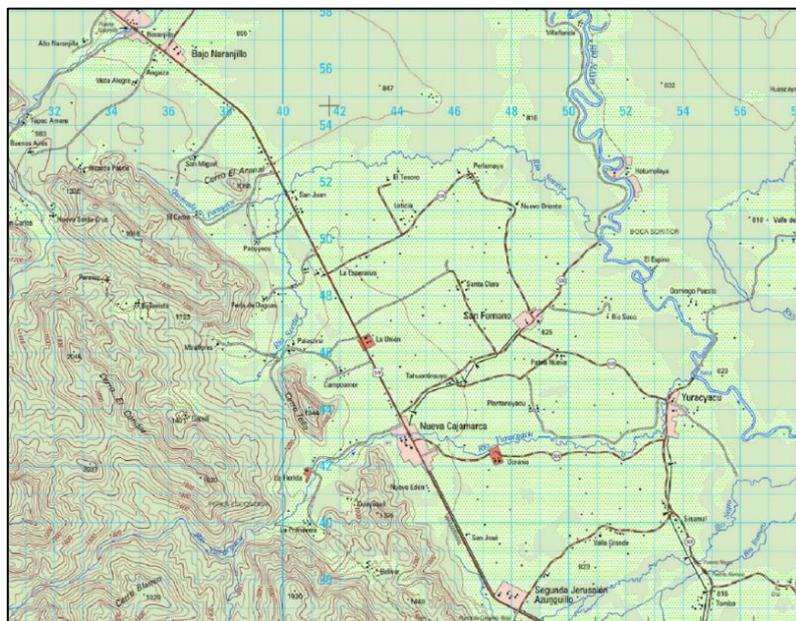
En este apartado, se realizó el estudio de la Subcuenca Yuracyacu, el cual ha permitido conocer las características morfológicas de la misma, mediante el uso de Cartas Nacionales del Perú que brinda el Instituto Geográfico Nacional (IGN), obtenido de GEO GPS PERÚ, y se procesó en el programa ArcGIS.

Para delimitar la microcuenca de estudio, se realizó la ubicación del Puente Yuracyacu, con la finalidad de obtener los parámetros morfométricos de la cuenca, entre otros datos necesarios para el cálculo de socavación. Es por eso que, con la cartografía de la zona 18M y el ArcGIS se determinó las características de la

microcuenca, su longitud, pendiente, forma, etc., además del tiempo de concentración de la misma.

Figura 46

Carta Nacional de la zona 18M del Instituto Geográfico Nacional IGN



Nota. GEO GPS PERÚ (2023)

Parámetros geomorfológicos de la Subcuenca Yuracyacu

Dentro de este acápite, se determinó los parámetros de forma, red hídrica y relieve de una cuenca, los cuales se muestra a continuación. Mediante los parámetros, se definió las características de la subcuenca Yuracyacu para determinar los caudales máximos y el cálculo de la socavación.

Tabla 9

Parámetros de forma de una cuenca

| Parámetro | Símbolo | Unidad | Fórmula | Criterio |
|-----------|---------|-----------------|------------------|--|
| Área | Ac | Km ² | Medición Directa | + Área = + Escorrentía - Área = - Escorrentía |
| Perímetro | Pc | Km | Medición Directa | |
| Longitud | Lc | Km | Medición Directa | |

| | | | |
|------------------------|----|------------------------------|---|
| Factor de forma | F | $F=Ac/Lc^2$ | Lc = Longitud de cauce principal F = Factor de forma de Horton Ac = Área de la cuenca |
| Índice de Gravelious | Kc | $Kc = 0.282 (Pc/\sqrt{Ac})$ | Pc = Perímetro de la cuenca Kc = Índice de Gravelius Ac = Área |
| Factor de circularidad | Fc | $Fc = \frac{Ac}{4\pi(Pc)^2}$ | Ac = Área Pc = Perímetro Fc = Factor de circularidad |

Nota. Elaboración propia

Tabla 10

Parámetros de relieve de una cuenca

| Parámetro | Símbolo | Unidad | Fórmula | Criterio |
|---------------------------|---------|---------|----------|---|
| Pendiente media del cauce | Sc | % | $J=DA/L$ | J=Pendiente media DA=Desnivel (km) L= Longitud del cauce (km) |
| Cota mayor | HM | m.s.n.m | - | Modelación en ArcGIS |
| Cota menor | HM | m.s.n.m | - | Modelación en ArcGIS |
| Altitud frecuente | | m.s.n.m | - | Modelación en ArcGIS |
| Altitud media | | m.s.n.m | | |

Nota. Elaboración propia

Tabla 11

Parámetros de red hídrica de una cuenca

| Parámetro | Símbolo | Unidad | Fórmula | Criterio |
|---------------------|---------|--------------------|----------|--|
| Densidad de drenaje | Dd | Km/km ² | $Dd=L/A$ | L= Longitud de la corriente (km) A=Área de cuenca(km ²) |
| Longitud principal | Lr | Km | - | Modelación en ArcGIS |
| Pendiente principal | Sr | % | - | Modelación en ArcGIS |

Nota. Elaboración propia.

5.2. Aplicación estadística.

Análisis de precipitaciones.

En el análisis de precipitaciones de la subcuenca Yuracyacu, se utilizó los datos meteorológicos extraídos del SENAMHI en la estación Naranjillo, ubicada en el departamento de San Martín. Estos datos pertenecen a una serie histórica de precipitaciones de 45 años que contempla desde el año 1978 al año 2022.

Se realizó el cálculo de las precipitaciones máximas, para posterior a ella realizar los datos agrupados de mayor a menor y procesarles en el software Hydrognomon, que permite realizar la gestión y el análisis de los datos hidrológicos.

Figura 47

Inicio de Software Hydrognomon para procesamiento de datos.



Nota. Software Hydrognomon

Análisis estadístico de datos hidrológicos

Una vez obtenidos los datos agrupados, se realizó la distribución estadística para diferentes períodos de retorno. Por otro lado, se determinó el parámetro que tiene una relación más cercana con el registro hidrométrico de la estación Naranjillo, utilizando la prueba de Kolmogorov – Smirnov (k-s).

El análisis de datos hidrológicos consistió en procesar las precipitaciones máximas ajustando las funciones de distribución con opciones como Normal, Log

Normal, Gamma, Pearson III, Log Pearson III, Gumbel Max, Gumbel Min; para compararlo con los valores de Weibull. La Ley de Weibull, es una distribución base que servirá para compararlo con las demás distribuciones; distribuye las precipitaciones de mayor a menor y la probabilidad de ocurrencia, dado que, a menor valor de precipitación va a aumentar la probabilidad de excedencia.

Una vez realizado la comparación de distribuciones, se procedió a realizar la prueba estadística Kolmogorov- Smirnov, con la comparación de las distribuciones como: Normal, Log Normal, Gamma, Pearson III, Log Pearson III, Gumbel Max, Gumbel Min, Weibull. El proceso de selección para obtener la función de distribución de mejor ajuste fue la comprobación estadística, estableciéndose que el menor valor de $D_{m\acute{a}x}$ fue la distribución de Pearson III, para proceder a calcular los períodos de retorno solo con esta distribución que estadísticamente es igual a Weibull.

Período de retorno

Para el cálculo de la altura de socavación en puentes, se tomó en cuenta el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, el cual indica que debe de considerarse un tiempo de retorno de 500 años; sin embargo, en este análisis se consideró necesario evaluar con los tiempos de retorno de 50,100,200 y 500; asimismo, se realizó la distribución de precipitaciones en 24 horas con el Modelo de Dick y Peschke (1978), para los períodos de retorno antes mencionados.

Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF)

En este apartado, se realizó el cálculo de las curvas IDF a partir de los datos pluviométricos en 24 horas, para la estación Naranjillo. Mediante el análisis de frecuencias de las lluvias se generaron las curvas IDF para diferentes duraciones utilizando los datos procesados en el programa Hydrognomon, mediante el Modelo

matemático Potencial Aparicio (1992), en cuyos resultados para aplicación de cálculo de intensidad se realizó con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{D^n} = \frac{748.26 \times T^{0.154}}{D^{0.740}} \left(\frac{mm}{h} \right)$$

Hietogramas

Finalmente se procedió a realizar los cálculos para la representación gráfica de los hietogramas de frecuencia, mediante el método de bloques alternos por cada tiempo de retorno de 50 años, 100 años, 200 años y 500 años.

Tiempo de concentración

Para determinar el tiempo de concentración, se utilizó la ecuación empírica que se muestra a continuación:

- Kirpich (1940)

$$t_c = 0.01947 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

Donde:

S = pendiente de la cuenca, m/m

L = longitud del canal aguas arriba, m

Cálculo del caudal de diseño

Para el cálculo del caudal de diseño, se utilizó los registros mensuales de precipitaciones obtenidos de las estaciones Naranjillo. El parámetro del caudal se determinó por el método racional modificado, específicamente para áreas menores a 770 m², la cual se muestra a continuación:

$$Q = 0.278 * C * I * A * K$$

Donde:

K = Coeficiente de uniformidad

I = Intensidad de precipitación por hora (mm/h)

C = Coeficiente de escorrentía

A = Área de cuenca (km²)

Cálculos Hidráulicos

Coeficiente de Manning

Para el cálculo del coeficiente de Manning, se seleccionó adecuadamente el valor de “n”, teniendo en cuenta parámetros como geomorfología y vegetación en el río Yuracyacu. Se tomó en cuenta los valores de la influencia de diversos factores sobre el coeficiente “n”, utilizando el método Cowan.

Figura 48

Influencia de factores sobre coeficiente “n”.

| Condición de canal | | Valores | |
|--------------------------|--------------|---------|-------------|
| Superficie del canal | Tierra | n0 | 0.020 |
| | Roca | | 0.025 |
| | Grava Fina | | 0.024 |
| | Grava Gruesa | | 0.028 |
| Irregularidad | Suave | n1 | 0.000 |
| | Menor | | 0.005 |
| | Moderada | | 0.010 |
| | Severa | | 0.020 |
| Variación de la Sección | Gradual | n2 | 0.000 |
| | Ocasional | | 0.005 |
| | Frecuente | | 0.010-0.015 |
| Efecto de la Obstrucción | Despreciable | n3 | 0.000 |
| | Menor | | 0.010-0.015 |
| | Apreciable | | 0.020-0.030 |
| | Severo | | 0.040-0.060 |
| Vegetación | Bajo | n4 | 0.005-0.010 |
| | Medio | | 0.010-0.025 |
| | Alto | | 0.025-0.050 |
| | Muy Alto | | 0.050-0.1 |
| Intensidad de Meandros | Menor | n5 | 1.000 |
| | Apreciable | | 1.150 |
| | Severo | | 1.300 |

Nota. Tomado de Cowan 2001.

La fórmula del método de Cowan se muestra a continuación:

$$n = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4)n_5$$

Para determinar el coeficiente de Manning se estimó en función a las visitas de campo, en las cuales se observó las características de los materiales del lecho, para las condiciones que se esperan cuando se den las máximas avenidas.

Para el valor de “n” en cauce principal y en las márgenes del río Yuracyacu, se detalla a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 12

Valores para el Coeficiente de Manning.

| Cálculo de Coeficiente de Manning (n) | | | |
|--|-------|------------------|-------|
| Cauce Principal | | Márgenes del Río | |
| Superficie del canal (Grava fina) | 0.024 | Grava gruesa | 0.028 |
| Irregularidad (menor) | 0.005 | Menor | 0.005 |
| Variación de la Sección(ocasional) | 0.005 | Frecuente | 0.015 |
| Efecto de la Obstrucción (menor) | 0.015 | Despreciable | 0 |
| Vegetación (bajo) | 0.005 | Media | 0.025 |
| Subtotal | 0.054 | Subtotal | 0.073 |
| Intensidad de Meandros (menor) | 1 | Menor | 1 |
| Total | 0.054 | Total | 0.073 |

Nota. Elaboración propia.

Para el valor de n_0 , describe las condiciones de la superficie del cauce principal del río, que contiene grava fina y de los márgenes del río que contiene grava gruesa; para el valor de n_1 tanto el cauce como las márgenes tiene una irregularidad menor sin taludes de mayor proporción expuestos a derrumbamientos solo en el perímetro mojado; para el valor de n_2 es un valor que describe los cambios de la sección transversal a lo largo del cauce que es de forma ocasional, dado que las secciones tienden a variar poco durante el recorrido estudiado de río Yuracyacu y respecto a los márgenes del río la variación de la sección es frecuente.

Para el valor de n_3 , se ha considerado el efecto de la obstrucción, que el cauce principal es menor y en los márgenes es despreciable, dado que no existe mucha palizada o troncos durante el alineamiento y por último para el valor de n_4 es un valor característico de la vegetación, siendo baja en el cauce y media en los márgenes. Asimismo, respecto a los meandros en el valor de n_5 , su intensidad es menor, dado que no cuenta con muchas curvas en el curso del río Yuracyacu.

Cálculos de ecuaciones empíricas

Para el cálculo de la socavación del puente Yuracyacu, se utilizaron distintos métodos como el método de Arunachalam, método de Larras, método de la Universidad Estatal de Colorado y Método de Maza – Sánchez, los cuales están estipulados en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Los resultados para cada método son mostrados en el capítulo VI, una vez realizado el análisis geotécnico, geomorfológico e hidrológico.

- Método de Larras

Para el desarrollo de este método, se tuvo en cuenta diversos factores, dentro del cual se destaca el ancho de la pila, el factor de corrección por la forma de la pila, que en este caso las pilas del puente Yuracyacu fueron consideradas de nariz rectangulares, así como también, el factor de corrección por el ángulo de ataque de la corriente, que en este caso es igual a cero, dado que la corriente pluvial tiene una dirección alineada a los pilares.

Se ha tomado en cuenta datos característicos de las pilas del puente del río Yuracyacu:

$$y_s = 1.05 * K * a^{0.75}$$

Donde:

y_s = Es socavación local (m)

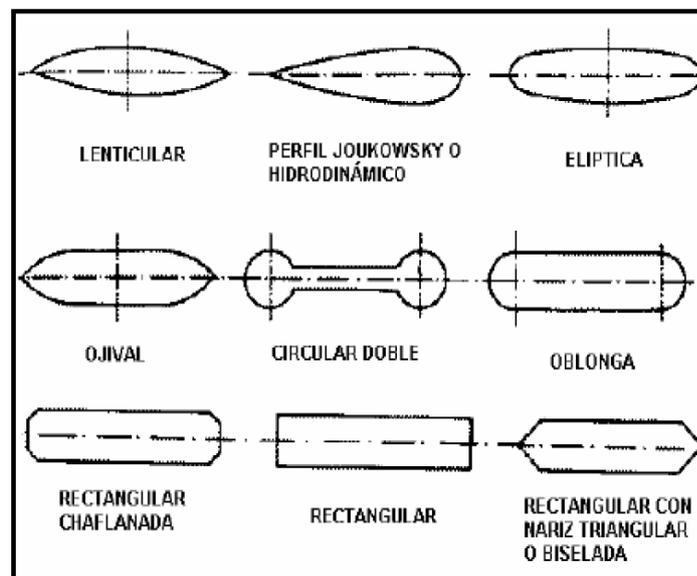
K = Es un coeficiente obtenido de $K_f K_s$.

- Pilares cilíndricos, se considera $K = 1.00$
- Pilares rectangulares, se considera $K = 1.40$

Para el procesamiento de estos datos en esta ecuación teórica -práctica, se tomó en consideración los siguientes datos de las pilas del puente del río Yuracyacu.

Figura 49

Formas usuales de pilares para el Método de Larras.



Nota. Tomado del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

Asimismo, en base a la forma de la pila en planta, según la figura 49, se definió como pila rectangular, por lo tanto, para el factor K_f se tomó el valor de 1.4, recomendado para pilares rectangulares.

Figura 50

Factor de corrección K_f por forma de pilar.

| En planta | Largo/ancho de la pila | Kf | | | | |
|----------------------------------|------------------------|--------|------|-------|---------|------------|
| | | Chatos | lowa | Tison | Escande | Venkatadri |
| Circular | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | |
| Lenticular | 2.0 | | 0.97 | | | |
| | 3.0 | | 0.76 | | | |
| | 4.0 | 0.7 | | 0.67 | | |
| | 7.0 | | | 0.41 | | |
| Perfil hidrodinámico o Joukowski | 4.0 | 0.86 | | | | |
| | 4.1 | | | 0.76 | | |
| | 4.5 | | | | 0.76 | |
| Elíptica | 2.0 | | 0.91 | | | |
| | 3.0 | | 0.83 | | | |
| Ojival | 4.0 | 0.92 | | 0.86 | | |
| Circular Doble | 4.0 | 0.95 | | | | |
| Oblonga | 1.0 | | 1.00 | | | |
| | 1.5 | | 1.00 | | | |
| | 2.0 | | 1.00 | | | |
| | 3.0 | | 1.00 | | | |
| | 4.0 | 1.03 | | 1.00 | | |
| Rectangular Chafanada | 4.0 | | | 1.01 | | |
| Rectangular | 0.25 | | 1.30 | | | |
| | 4.0 | | | 1.40 | | |
| | 4.5 | | | | 1.25 | |
| | 5.3 | | | 1.40 | | |
| | 9.3 | | | 1.40 | | |
| Nariz triangular a 60° | | | | | | 0.75 |
| Nariz triangular a 90° | | | | | | 1.25 |
| Nariz parabólica | | | | | | 0.56 |

Nota. Tomado del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

Igualmente, en base a la forma de la pila en planta, según la figura 49, se definió como pila rectangular, por lo tanto, para el factor K_ϕ se tomó el valor de 1.11, en función al ángulo de ataque, cero (0°).

Figura 51

Factor de corrección K_ϕ por ángulo de ataque del flujo.

| Forma de la pila en planta | Largo/ancho de la pila | K_ϕ | | | | | |
|----------------------------|------------------------|----------|------|------|------|------|------|
| | | 0° | 10° | 15° | 20° | 30° | 45° |
| Circular | 1.0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Lenticular | 2.0 | 0.91 | | | | 1.13 | |
| | 3.0 | 0.76 | 0.98 | 1.02 | 1.24 | | |
| | 4.0 | 0.76 | | 1.12 | | 1.50 | 2.02 |
| Perfil hidrodinámico | 4.0 | 0.86 | | 1.09 | | 1.40 | 1.97 |
| | 4.5 | | | | | 1.36 | |
| Elíptica | 2.0 | 0.91 | | | | 1.13 | |
| | 3.0 | 0.83 | 0.98 | 1.06 | 1.24 | | |
| Ojival | 4.0 | 0.92 | | 1.18 | | 1.51 | |
| Oblonga | 2.0 | 1.00 | | | | 1.17 | |
| | 3.0 | 1.00 | 1.02 | 1.13 | 1.24 | | |
| | 4.0 | 1.00 | | 1.15 | | 1.52 | |
| | 4.5 | | | | | 1.60 | |
| Rectangular | 2.00 | 1.11 | | 1.38 | | 1.56 | 1.65 |
| | 4.00 | 1.11 | | 1.72 | | 2.17 | 2.43 |
| | 4.0(x) | 1.11 | | 1.99 | | 2.94 | 3.28 |
| | 4.50 | | | | | 2.09 | |
| | 6.00 | 1.11 | | 2.20 | | 2.69 | 3.05 |
| | 8.00 | 1.11 | | 2.23 | | 3.03 | 3.64 |
| | 10.00 | 1.11 | | 2.48 | | 3.43 | 4.16 |

Nota. Tomado del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

- Método de Arunachalam

Este método solo toma en cuenta el ancho de la pila y el caudal unitario de la corriente. Para el desarrollo de este método, se tuvo en cuenta el caudal total realizado por el método racional modificado; se procedió al cálculo del caudal unitario basado en el caudal total entre el ancho de la sección aguas arriba. Asimismo, se tuvo en cuenta el ancho de la pila del puente del río Yuracyacu.

Se ha trabajado con la siguiente fórmula establecida para el método de Arunachalam, tomando en cuenta datos característicos de las pilas del puente del río Yuracyacu:

$$y_s = 1.334 * q^{2/3} * \left[1.95 * \left(\frac{1.334 * q^{2/3}}{a} \right)^{-1/6} - 1 \right]$$

Donde:

y_s = Es la profundidad de socavación (m)

q = Es el caudal unitario aguas arriba de un puente ($m^3/s\cdot m$)

- Método de Maza – Sánchez

Este método fue aplicado porque en la presente investigación se tiene lechos de grava fina y gruesa. Los parámetros que intervinieron fueron: profundidad de flujo, ancho del pilar, número de Froude y el ángulo de ataque del flujo sobre la estructura. Como primer paso se procedió a calcular el número de Froude de la corriente, la velocidad media del flujo y la profundidad promedio aguas arriba.

Para el procesamiento de estos datos en esta ecuación teórica -práctica del método de Maza – Sánchez, se tomaron en cuenta datos característicos de las pilas del puente del río Yuracyacu. Como primer cálculo, se procesó el número de Froude, con datos como la velocidad y profundidad media aguas arriba, para lo cual se hizo

el cálculo de manera física en campo, tanto de la profundidad como también de la velocidad superficial.

El factor de corrección se tomó el 1, debido que el ángulo de ataque es 0° porque el pilar se encuentra alineado a la corriente o flujo del río Yuracyacu.

Se ha trabajado con la siguiente fórmula establecida para el método de Maza – Sánchez, tomando en cuenta datos característicos de las pilas del puente del río Yuracyacu:

$$y_s = H_T - H_s$$

Donde:

y_s = Es la socavación (m)

H_s = Es la profundidad de aguas arriba del pilar (antes de socavación local).

H_T = Es la profundidad de sección socavada.

Para el procesamiento de estos datos en esta ecuación teórica -práctica, se tomaron en cuenta los siguientes datos de las pilas del puente del río Yuracyacu

Tabla 13

Factor de corrección f_c . Método de Maza – Sánchez.

| ϕ | 0° | 15° | 30° | 45° |
|--------|----|------|------|------|
| f_c | 1 | 1.25 | 1.40 | 1.45 |

Nota. Tomado del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

Luego se interpolaron los datos en la gráfica de cálculo de socavación local en un pilar de nariz rectangular para encontrar la profundidad del agua hacia aguas arriba del pilar antes de que hubiese el efecto de la socavación y posterior a ellos encontrar la profundidad de la sección socavada desde el nivel de la superficie del flujo.

Con el número de Froude corregido y la interpolación en la gráfica se ingresó las abscisas hasta interpolar el H_s/a' y se lee en las ordenadas el valor de HT/a' del cual se despeja el valor de y_s , obteniéndose la profundidad de socavación.

- Método de la Universidad Estatal de Colorado

En este método primer procedimiento es tener los datos geométricos de las pilas (ancho y longitud) y el caudal de diseño, para un período de retorno de 50 años, así como también la velocidad media, la profundidad promedio de aguas arriba y los diámetros del % que pasa en el análisis de granulometría de los estudios realizados en el río Yuracyacu.

Se ha trabajado con la siguiente fórmula establecida para el método de la Universidad Estatal de Colorado, tomando en cuenta datos característicos de las pilas del puente del río Yuracyacu:

$$\frac{y_s}{h} = 2.0 * K_f * K_s * K_c * K_a * \left(\frac{h}{a}\right)^{0.65} * F_r^{0.43}$$

Donde:

K_a = Es el factor que toma el acorazamiento del sedimento del lecho.

K_c = Es el factor que toma en consideración a la forma del lecho.

K_s = Es el factor que toma en cuenta el ángulo de ataque del flujo.

K_f = Es el factor en función a la forma del pilar.

- Para pilar cuadrada, $K_f = 1.1$
- Para pilar redondeada, $K_f = 1.0$
- Para pilar cilíndrico, $K_f = 1.0$
- Para pilar punta aguda, $K_f = 0.9$

Para el procesamiento de estos datos en esta ecuación teórica -práctica del método de Universidad Estatal de Colorado, se tomó en cuenta datos característicos

de las pilas del puente, tales como la forma de la pila del puente, considerado de nariz cuadrada.

Tabla 14

Factor de corrección por la forma del pilar K_f . Método de CSU

| Forma de la pila | K_f |
|-------------------------|-------------------------|
| Nariz de forma cuadrada | 1.10 |
| Nariz de forma redonda | 1.00 |
| Cilíndrica | 1.00 |
| Punta aguda | 0.90 |
| Grupo de cilindros | 1.00 |

Nota. Tomado del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

Respecto al factor de corrección por la forma, el ángulo de ataque en el río Yuracyacu, fue de 0° , por tanto, en aplicación de la fórmula correspondió asignar un K_ϕ de 1.

Tabla 15

Factor de corrección por el ángulo de ataque K_ϕ . Método de CSU

| Ángulo de ataque | $l/a=4$ | $l/a=8$ | $l/a=12$ |
|------------------|---------|---------|----------|
| 0° | 1.0 | 1.00 | 1.0 |
| 15° | 1.5 | 2.00 | 2.5 |
| 30° | 2.0 | 2.75 | 3.5 |
| 45° | 2.3 | 3.30 | 4.3 |
| 90° | 2.5 | 3.90 | 5.0 |

Nota. Tomado del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

Por otra parte, se tiene una condición de lecho plano, por tanto, en aplicación de la fórmula correspondió asignar un K_c de 1.1.

Figura 52

Factor de corrección por la forma de lecho K_c . Método de CSU.

| Condición del lecho | Altura de la duna H(pies) | K_c |
|--------------------------|------------------------------|-----------|
| Socavación en agua clara | N/A | 1.1 |
| Lecho plano y antidunas | N/A | 1.1 |
| Dunas pequeñas | $2 < H < 10$ | 1.1 |
| Dunas medianas | $10 < H < 30$ | 1.1 a 1.2 |
| Dunas grandes | $H > 30$ | 1.3 |

Nota. Tomado del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

Además, el criterio tomado para el factor de corrección K_a , se tuvo en cuenta el estudio de suelos realizados para determinar el diámetro D_{50} y/o D_{95} .

Tabla 16

Cálculo de diámetro D_{50} y/o D_{95} .

| Malla | Abertura | % que pasa |
|-------|----------|------------|
| 3 | 76.2 | 100 |
| 2 | 50.8 | 100 |
| 1 1/2 | 38.1 | 100 |
| 1 | 25.4 | 100 |
| 3/4 | 19.05 | 100 |
| 3/8 | 9.525 | 78.83 |
| 4 | 4.75 | 58.47 |
| 10 | 2 | 40.15 |
| 20 | 0.85 | 25.78 |
| 40 | 0.425 | 14.57 |
| 60 | 0.25 | 6.45 |
| 100 | 0.106 | 2.31 |
| 200 | 0.075 | 1.02 |

Nota. Elaboración propia.

Del análisis de la tabla, se procedió a calcular D_{50} , que es el tamaño de partícula correspondiente al 50% que pasa y representa el tamaño medio de grano, así como también el D_{95} , es por ello que, se tomó el valor de 1, según la tabla 18.

Tabla 17

Criterios para adoptar K_a . Método de CSU

| | |
|--|-------------------------|
| $D_{95} < 20\text{mm}$ o $D_{50} < 2\text{mm}$ | $K_a = 1.0$ |
| $D_{95} \geq 20\text{mm}$ o $D_{50} \geq 2\text{mm}$ | $K_a = 0.4(V_r)^{0.15}$ |

Nota. Tomado del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

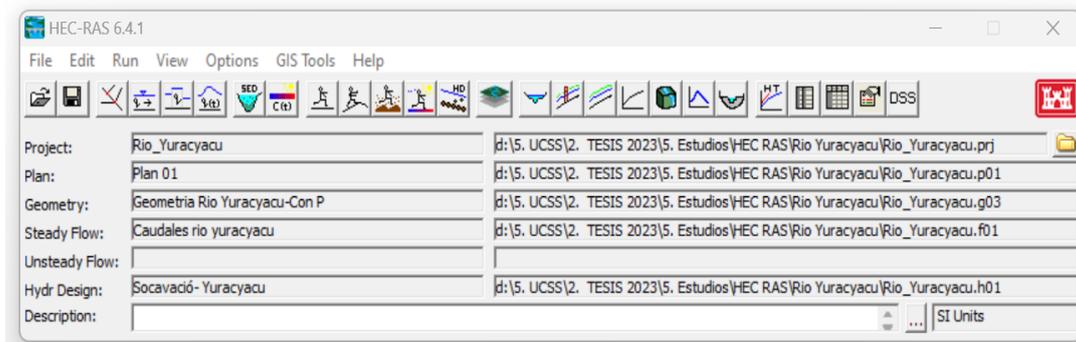
Modelamiento Hidráulico

Modelamiento HEC-RAS

El uso del software HEC-RAS ha sido una herramienta muy útil, dado que se utilizó para realizar un modelo de socavación del puente en base a un dominio unidimensional.

Figura 53

Entorno del software HEC RAS



Nota. Elaboración propia

Procedimientos de procesamiento de datos

Geometría del puente: Se definió el curso del río, ingresando los datos topográficos en coordenadas UTM y las secciones transversales importadas al HEC-RAS. Asimismo, se ingresaron datos del pilar del puente.

Tabla 18

Datos del puente del río Yuracyacu, para Software HEC-RAS

| Datos de puente | |
|--|---------|
| Longitud (descontando ancho de estribos) | 77.45 m |

| | |
|----------------------------------|---------------|
| Progresiva de río | 0+611.90 km |
| Llanura izquierda -lob | 5.45 m |
| Llanura derecha-rob | 5.45 m |
| Cota superior de tablero | 878.9 m.s.n.m |
| altura de tablero + vigas | 1.5 m |
| cota inferior de tablero + vigas | 877.4 m.s.n.m |
| | |
| Ancho de pilas | 0.70 m |

Nota. Elaboración propia

Datos Geotécnicos: Estos datos calculados fueron el diámetro de la partícula de fondo en el cauce, peso específico y la rugosidad del material.

Datos Hidrológicos: Estos datos calculados fueron los caudales de diseño y los tiempos de retorno.

Datos Hidráulicos: Este dato incluyó la pendiente del río.

d. Propuestas de obras de protección

Según normativa, existen varias obras de protección en pilares de puentes por efectos de la socavación, sin embargo, para la presente investigación se optó por desarrollar la propuesta del enrocado, debido a que es la propuesta que se adapta a la realidad del río Yuracyacu, ya que a diferencia de otros métodos este se aplica a pilares de los puentes ya construidos.

Se procedió a calcular el diámetro del enrocado mediante la primera fórmula del método de Maza Álvarez:

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

Donde:

D_m = diámetro medio de la roca (m).

V = velocidad media del flujo ($V < 4.5$ m/s).

h = profundidad del flujo (m).

γ_s = peso específico del material de protección (Kg/m^3).

Luego se procedió a calcular el diámetro del enrocado mediante la segunda fórmula del método HEC-18(1993):

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

Donde:

D50 = diámetro medio de la roca (m).

K = coeficiente de forma de los pilares.

V = velocidad del flujo sobre los pilares (m/s).

K = 1.7 para pilares con nariz rectangular.

Gs = densidad relativa de la roca, usualmente 2.65.

g = aceleración de la gravedad (m/s²).

Posteriormente se realizó la comparación de estos dos métodos, de los cuales se determinó usar la roca de mayor diámetro, la misma que se colocará al contorno del pilar del puente, con la finalidad de proteger el cauce del río Yuracyacu que no tiene un flujo con obstrucciones.

Con esta propuesta, se deberá colocar el ancho de enrocado al menos dos veces el ancho del pilar (0.70m); asimismo por ser el río angosto se consideró que la mayor longitud de enrocado será colocada en dirección al flujo.

El presupuesto y desarrollo de esta medida de protección se detalla en el capítulo 6.

CAPITULO 6. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

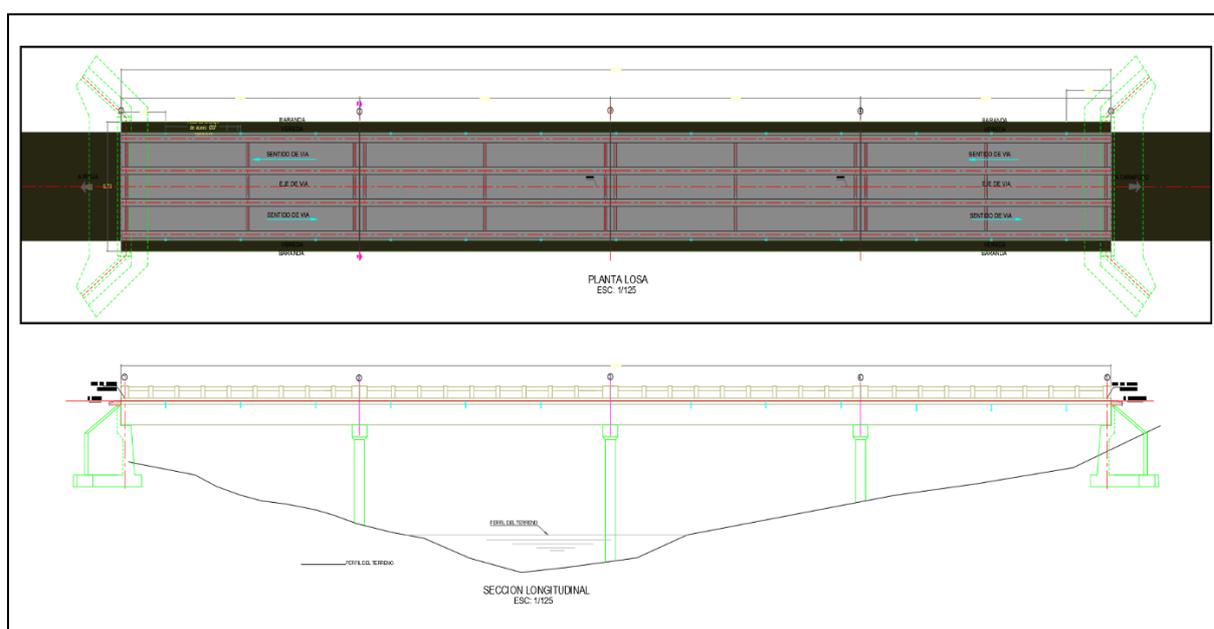
6.1. Resultados

a. Análisis de los estudios de topografía del área de estudio.

Como se puede observar en la Figura 54, el levantamiento topográfico se realizó en el río Yuracyacu, el mismo que pasa por el centro de la ciudad de Nueva Cajamarca, lugar de la zona de estudio, en el cual se puede apreciar la estructura del puente, en las coordenadas $N = 9343162.466$ y $E = 244349.136$, cuya cota es 870.90 m.s.n.m.

Figura 54

Vista en planta del puente en el río Yuracyacu y sección longitudinal.



Nota. Elaboración propia.

En la Tabla 19, se observan los resultados del levantamiento topográfico, del que se desprende que la cota aguas arriba en el km 0+000 a nivel de terreno fue de 875.00 m.s.n.m y a nivel de agua 816.14 m.s.n.m y al otro extremo de aguas abajo en el km 1+200 la cota a nivel de terreno fue de 867.66 m.s.n.m y a nivel de agua es 816.14 m.s.n.m.

Tabla 19*Cotas del levantamiento topográfico*

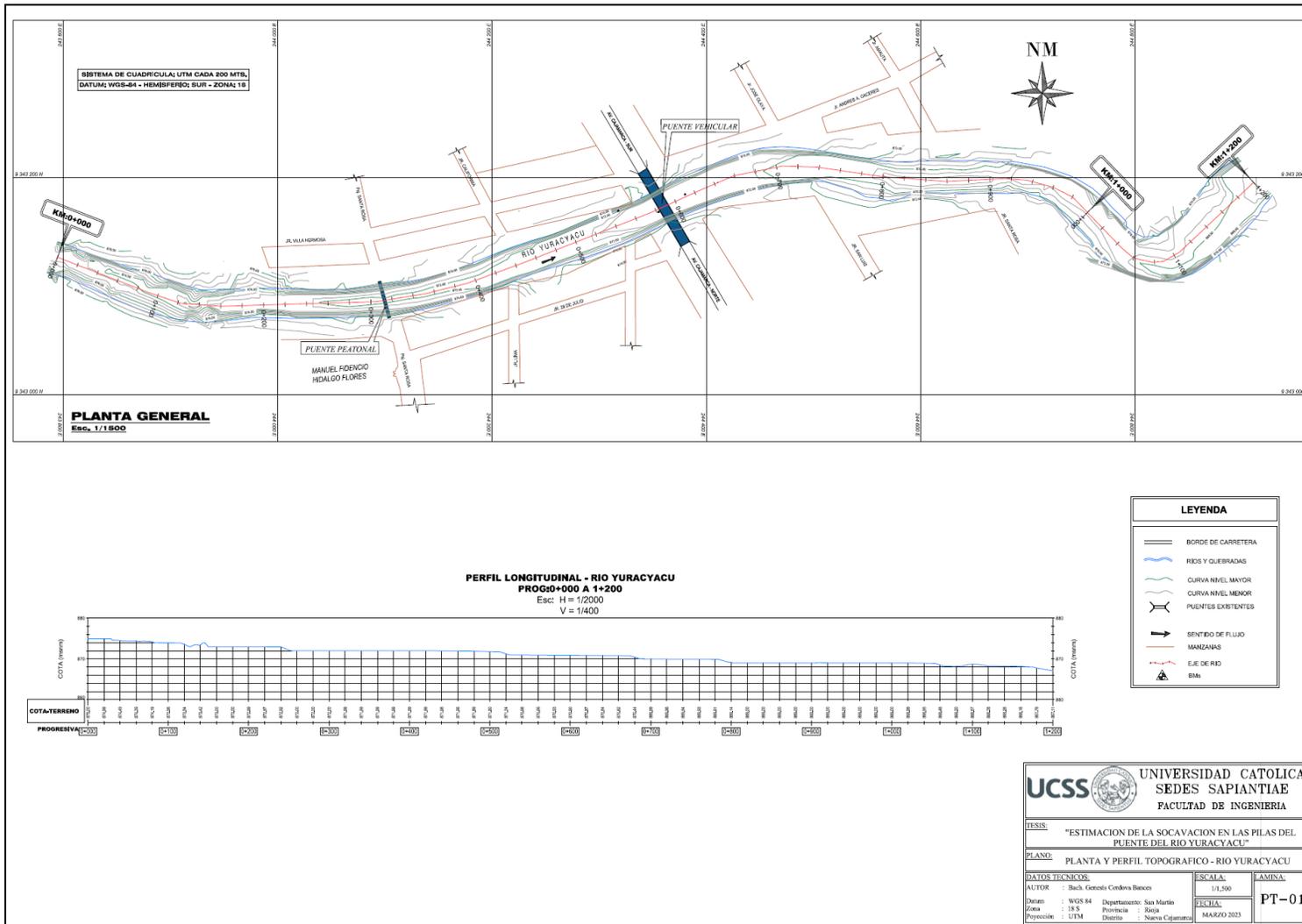
| Ítem | Descripción | Cota |
|----------------|--------------------|-------------|
| Aguas arriba | Nivel de terreno | 875.00 |
| 0.000 | Nivel de agua | 816.14 |
| Aguas arriba | Nivel de terreno | 872.00 |
| 0.300 | Nivel de agua | 872.92 |
| Eje del puente | Nivel de terreno | 870.90 |
| 0+600 | Nivel de agua | 871.70 |
| Aguas abajo | Nivel de terreno | 869.00 |
| 0+900 | Nivel de agua | 870.07 |
| Aguas abajo | Nivel de terreno | 867.11 |
| 1+200 | Nivel de agua | 867.66 |

Nota. Elaboración propia.

Con estos puntos se logró determinar el plano de secciones transversales y el plano de perfil longitudinal, para poder encontrar el caudal máximo, como se observa en la Figura 55, la elevación de los puntos del terreno osciló entre los 875 y 867.11 m.s.n.m, lo que genera un desnivel topográfico de 7.89 m, aspecto que son parte de terreno plano, lo que permite alineamientos sin mayores dificultades en el trazo.

Figura 55

Levantamiento topográfico de 1 km del río Yuracyacu.

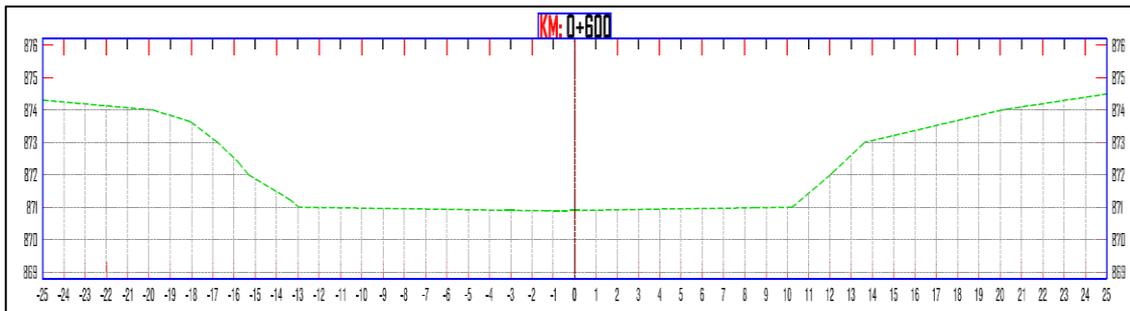


Nota. Elaboración propia.

En la figura 56 se muestra la sección transversal en el km 0+600, en el eje del Puente – río Yuracyacu, con una cota de 870.90 m.s.n.m. Cabe indicar que a lo largo del perfil longitudinal de 1+200 km, se han logrado 61 secciones transversales. Se coloca la sección representativa del perfil, por lo que las demás secciones se han colocado en los anexos.

Figura 56

Sección transversal en eje el puente



Nota. Elaboración propia

b. Análisis de los estudios de suelos del área de estudio.

En la figura 57, se muestra la excavación de la calicata y recolección de muestras por cada calicata correspondiente a 500 gr, los mismo que fueron llevados a laboratorio, para su respectivo procesamiento.

Figura 57

Excavación de calicata 1, con presencia de fragmentos de piedra.



Nota. Elaboración propia.

En la tabla 20, se muestra los resultados de los ensayos realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Geotecnia Consultores J&J SAC, referido a las 2 calicatas de 2 m de profundidad, en las que se determinó que las muestras tienen alto contenido de humedad mayores a 6%, debido a que las muestras son cercanas al contacto directo con el agua. De los resultados de contenido de humedad, se determinó que la muestra 2 de la calicata 2 cuenta con el porcentaje más alto de contenido de humedad, arrojando un 12.44%.

Tabla 20

Cuadro resumen de clasificación de suelos de 02 calicatas

| Descripción | Calicata 1 | | | | Calicata 2 | | |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | M-02 | M-03 | M-04 | M-05 | M-02 | M-03 | M-04 |
| Muestra | M-02 | M-03 | M-04 | M-05 | M-02 | M-03 | M-04 |
| Profundidad (m) | 0.20- 0.50 | 0.50- 0.80 | 0.80- 1.10 | 1.10- 2.00 | 0.20- 0.50 | 0.50- 1.40 | 1.40- 2.00 |
| % gravas | 41.53 | 44.99 | 38.93 | 39.81 | 42.75 | 44.75 | 43.01 |
| % arenas | 57.46 | 53.99 | 59.89 | 59.14 | 56.17 | 54.13 | 55.67 |
| % finos | 1.02 | 1.02 | 1.18 | 1.05 | 1.08 | 1.13 | 1.33 |
| Límite líquido (%) | NP |
| Límite plástico (%) | NP |
| Índice de plasticidad (%) | NP |
| % Menor al tamiz N° 04 | 58.47 | 55.01 | 61.07 | 60.19 | 57.25 | 55.25 | 56.99 |
| % Menor al tamiz N° 10 | 40.15 | 37.51 | 39.42 | 42.12 | 35.82 | 38.29 | 43.13 |
| % Menor al tamiz N° 40 | 14.57 | 15.67 | 13.39 | 15.82 | 13.41 | 18.71 | 14.83 |
| % Menor al tamiz N° 200 | 1.02 | 1.02 | 1.18 | 1.05 | 1.08 | 1.13 | 1.33 |
| Clasificación AASHTO | SP |
| Clasificación SUCS | A1-a (1) |
| Humedad (%) | 13.1 | 6.36 | 12.44 | 7.38 | 13.76 | 13.34 | 6.05 |

Nota. Elaboración propia.

Para el procesamiento de datos, tanto en las ecuaciones empíricas como en el software HEC-RAS, fue necesario tener los datos que corresponden al D50 y al D95, es por ello que en la tabla 21, se muestra que, para D50 se tuvo un diámetro de partícula de 3.48 mm, el mismo que representa el tamaño medio del grano y para el D95, se encontró un diámetro de 16.80 mm.

Tabla 21

Resultados D50 y D95

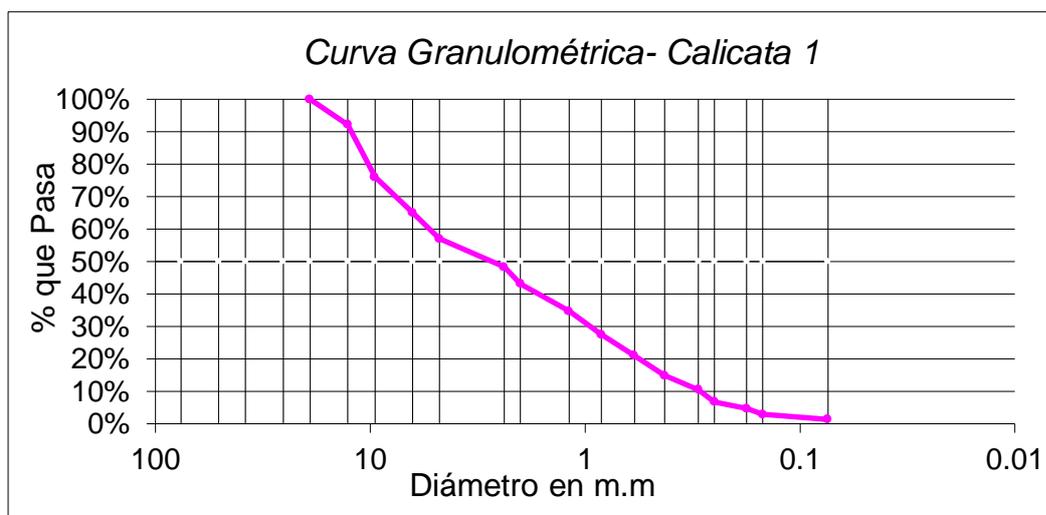
| Abertura | % que pasa |
|----------|------------|
| 3.48 | 50 |
| 16.80 | 95 |

Nota. Elaboración propia.

En la Figura 58, se muestra la curva granulométrica correspondiente a la calicata N° 01, en la cual se aprecia que la muestra está compuesta de 40% de grava y 59% de arena y 1% limo, cuya clasificación SUCSS -SP y AASHTO-a (1).

Figura 58

Curva granulométrica – calicata 1

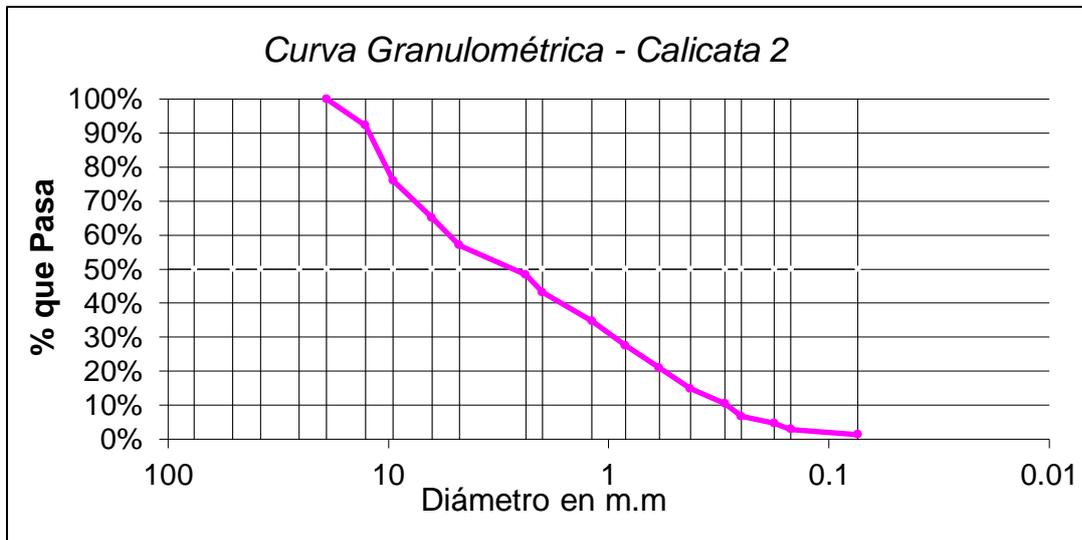


Nota. Elaboración propia.

En la Figura 59, se muestra la curva granulométrica correspondiente a la calicata N° 02, en la cual se aprecia que la muestra está compuesta de 43 % de grava y 56 % de arena y 1 % limo cuya clasificación SUCSS -SP y AASHTO-a (1).

Figura 59

Curva granulométrica – calicata 2.



Nota. Elaboración propia.

Asimismo, en la Figura 60, se muestran los resultados del análisis granulométrico de la calicata 1, las partículas se clasifican en SP (Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos) y estuvo constituido con fragmentos de piedra y arena.

Figura 60

Perfil estratigráfico de estudios de suelos- Calicata 1.

| PROFUNDIDAD (METROS) | TIPO DE EXCAVACION | MUESTRAS OBTENIDAS | PRUEBAS | | SIMBOLO | DESCRIPCION DEL MATERIAL | CLASIFICACION (SUCS) |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------|----------|--|-------------------------|
| | | | DN, gr/cm ³ | W % | | | |
| 0.00 | [Checkered] | | | | [Symbol] | Material de Relleno con restos Orgánico o Turba. Condición in situ: de color negro, con restos de raíces y palos, con espesor de 0.00 a 0.20 mts Gravas mal graduadas. | PT |
| 0.20 | | | | | | | |
| 0.50 | [Checkered] | M-2 | 1.66 | 13.10 | [Symbol] | Arena mal graduada (SP): No plastico, medianamente suelto, 1.02 % de mezcla de limo; 57.46 % de de arena sub angulosa y 41.52 % de grava . Condición in situ: humeda, de color gris oscuro, suelo humedo. | SP |
| 0.80 | [Checkered] | M-3 | 1.65 | 6.36 | [Symbol] | Arena mal graduada (SP): No plastico, medianamente suelto, 1.02 % de mezcla de limo; 53.99 % de de arena sub angulosa y 44.99 % de grava . Condición in situ: humeda, de color gris oscuro, suelo humedo. | SP |
| 1.10 | [Checkered] | M-4 | 1.70 | 12.44 | [Symbol] | Arena mal graduada (SP): No plastico, medianamente suelto, 1.18 % de mezcla de limo; 59.89 % de de arena sub angulosa y 38.93 % de grava . Condición in situ: humeda, de color gris oscuro, suelo humedo. | SP |
| 2.00 | [Checkered] | M-5 | 1.71 | 7.38 | [Symbol] | Arena mal graduada (SP): No plastico, medianamente suelto, 1.05 % de mezcla de limo; 59.14 % de de arena sub angulosa y 39.81 % de grava . Condición in situ: humeda, de color gris oscuro, suelo humedo. | SP |



Nota. Elaboración propia.

Asimismo, en la Figura 61, se muestran los resultados del análisis granulométrico de la calicata 2, las partículas se clasifican en SP (Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos) a excepción de la muestra 02, que nos determinó SW, que es una arena bien graduada.

Figura 61

Perfil estratigráfico de estudios de suelos-Calicata 2.

| PROFUNDIDAD (METROS) | TIPO DE EXCAVACION | MUESTRAS OBTENIDAS | PRUEBAS | | SIMBOLO | DESCRIPCION DEL MATERIAL | CLASIFICACION (SUCS) |
|----------------------|--------------------|--------------------|------------------------|-------|--|--|----------------------|
| | | | DN, gr/cm ³ | W % | | | |
| 0.00 0.20 | | | | |  | Material de Relleno con restos Orgánico o Turba. Condición in situ: de color negro, con restos de raíces y palos, con espesor de 0.00 a 0.20 mts Gravas mal graduadas. | PT |
| 0.50 | | M-2 | 1.79 | 13.76 |  | Arena mal graduada (SP): No plastico, medianamente suelto, 1.08 % de mezcla de limo; 56.17 % de de arena sub angulosa y 42.75 % de grava . Condición in situ: humeda, de color gris oscuro, suelo humedo. | SW |
| 1.40 | | M-3 | 1.77 | 13.34 |  | Arena mal graduada (SP): No plastico, medianamente suelto, 1.13 % de mezcla de limo; 54.13 % de de arena sub angulosa y 44.75 % de grava . Condición in situ: humeda, de color gris oscuro, suelo humedo. | SP |
| 2.00 | | M-4 | 1.85 | 6.05 |  | Arena mal graduada (SP): No plastico, medianamente suelto, 1.33 % de mezcla de limo; 55.67 % de de arena sub angulosa y 43.00 % de grava . Condición in situ: humeda, de color gris oscuro, suelo humedo. | SP |



Nota. Elaboración propia.

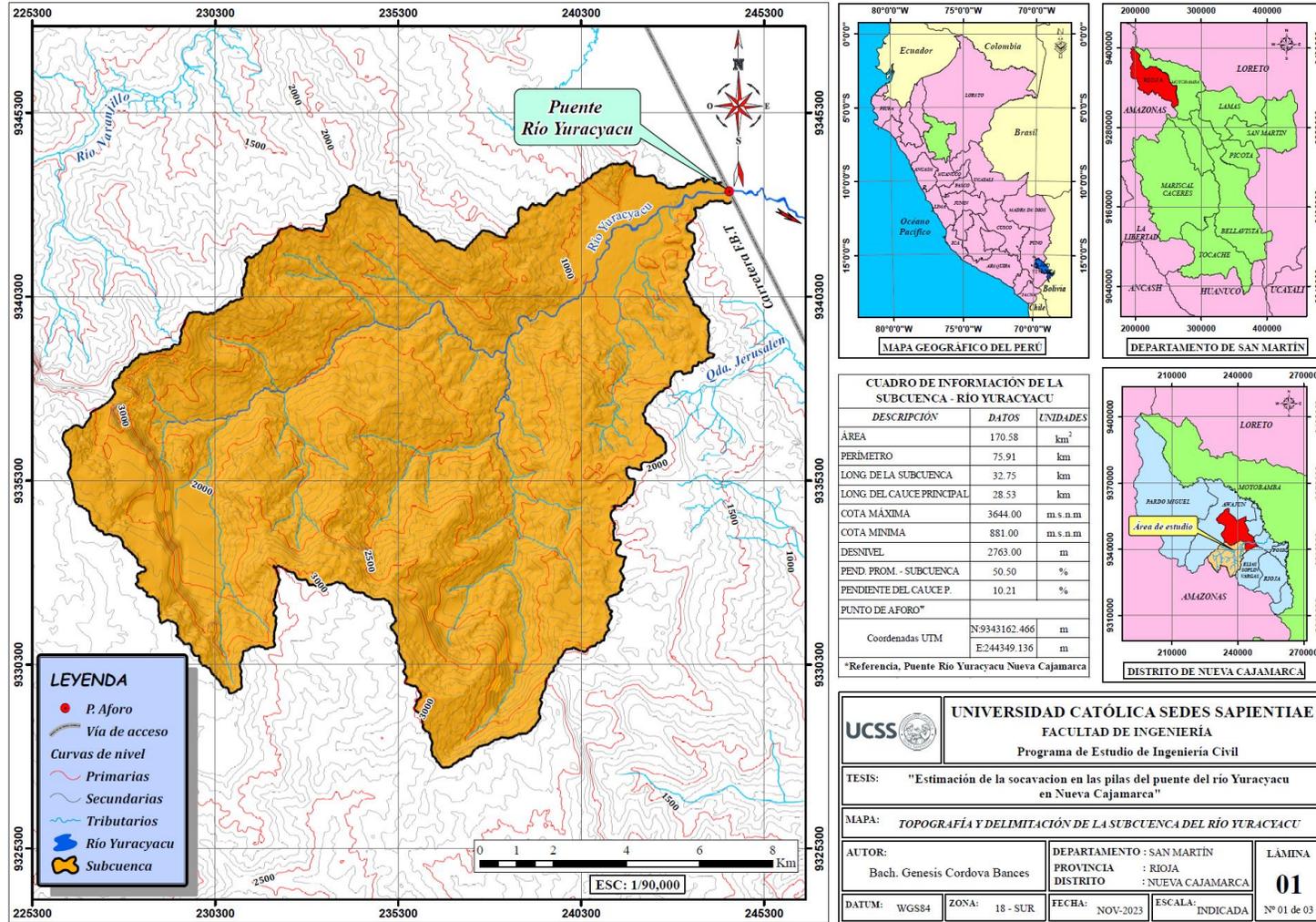
c. Análisis de los estudios de hidrológicos del área de estudio.

En la Figura 62, se presenta el resultado de la delimitación de la subcuenca Yuracyacu hasta el área de estudio (Puente Yuracyacu), con el software ArcGIS, de los cuales se ha obtenido los siguientes parámetros: área, perímetro, longitud de la

subcuenca, longitud del cauce principal, cota máxima y cota mínima, desnivel de cotas y la pendiente del cauce principal.

Figura 62

Topografía y delimitación de la subcuenca del río Yuracyacu (Software ArcGIS)



Nota. Elaboración propia

En la tabla 22, 23 y 24 se puede apreciar los datos que conforman los parámetros de forma, de relieve y de la red hídrica de la subcuenca del río Yuracyacu, las mismas que fueron calculados mediante el ArcGIS y la aplicación de fórmulas, con el objetivo de observar el comportamiento de la hidrología de la subcuenca, ante máximas avenidas.

Tabla 22

Resultados de parámetros de forma de la subcuenca del río Yuracyacu.

| Parámetro | Unidad | Fórmula | Valores |
|------------------------|-----------------|-----------------------------|---------|
| Área | Km ² | Medición Directa | 170.58 |
| Perímetro | Km | Medición Directa | 75.91 |
| Longitud de corriente | Km | Medición Directa | 28.53 |
| Factor de forma | adm | $F = Ac/Lc^2$ | 0.21 |
| Índice de Gravelious | adm | $Kc = 0.282 (Pc/\sqrt{Ac})$ | 1.81 |
| Factor de circularidad | adm | $Fc = 4\pi(Ac/Pc^2)$ | 0.37 |

Nota. Elaboración propia

Tabla 23

Resultados de parámetros de relieve de la subcuenca del río Yuracyacu

| Parámetro | Unidad | Valores |
|-------------------------------|---------|-----------|
| Cota mayor | m.s.n.m | 3644.00 |
| Cota menor | m.s.n.m | 881.00 |
| Pendiente del cauce principal | % | 10.21 |
| Altitud media de la subcuenca | m.s.n.m | 1914.57 |
| Altitud más frecuente | m.s.n.m | 1800-2000 |

Nota. Elaboración propia

Tabla 24

Resultados de parámetros de la red hídrica de la subcuenca del río Yuracyacu.

| Parámetro | Unidad | Valores |
|----------------------------|--------------------|---------|
| Longitud del río principal | km | 28.53 |
| Longitud de la corriente | km | 120.77 |
| Densidad de drenaje | Km/km ² | 0.71 |

Nota. Elaboración propia.

Análisis de precipitaciones

En la tabla 25, se muestra los datos meteorológicos de precipitaciones de la Estación de Naranjillo, datos que corresponden a una serie histórica de precipitación a lo largo de 45 años desde el año 1978 al año 2022.

Tabla 25

Datos de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación de Naranjillo desde el año 1978 al 2022.

| Precipitación máxima en 24 horas (mm) | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|
| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC | MÁXIMA |
| 1978 | 13.0 | 7.0 | 14.0 | 36.0 | 36.0 | 69.0 | 35.0 | 10.0 | 36.0 | 30.0 | 60.0 | 94.5 | 94.5 |
| 1979 | 35.0 | 30.5 | 64.0 | 40.0 | 34.0 | 10.0 | 35.0 | 15.0 | 45.0 | 22.0 | 89.0 | 67.0 | 89.0 |
| 1980 | 40.0 | 31.0 | 41.0 | 8.0 | 35.0 | 10.0 | 10.0 | 33.0 | 54.0 | 40.8 | 50.0 | 37.0 | 54.0 |
| 1981 | 30.0 | 62.0 | 41.0 | 43.0 | 64.0 | 18.0 | 7.5 | 20.0 | 15.0 | 45.0 | 130.5 | 42.0 | 130.5 |
| 1982 | 15.0 | 50.0 | 56.3 | 52.0 | 35.0 | 27.0 | 13.0 | 11.0 | 20.0 | 17.0 | 41.0 | 37.5 | 56.3 |
| 1983 | 20.0 | 31.0 | 50.5 | 53.5 | 21.3 | 10.0 | 3.0 | 15.0 | 15.0 | 32.0 | 15.0 | 27.0 | 53.5 |
| 1984 | 25.0 | 17.8 | 10.0 | 12.0 | 15.0 | 17.5 | 8.0 | 22.0 | 22.0 | 18.0 | 10.0 | 7.0 | 25.0 |
| 1985 | 10.0 | 13.0 | 13.0 | 70.3 | 15.0 | 13.0 | 20.0 | 14.0 | 10.0 | 16.0 | 32.0 | 21.0 | 70.3 |
| 1986 | 43.0 | 45.0 | 32.0 | 33.0 | 17.0 | 11.0 | 12.0 | 15.0 | 17.0 | 12.0 | 30.0 | 16.0 | 45.0 |
| 1987 | 17.0 | 12.0 | 12.0 | 11.0 | 8.3 | 8.0 | 11.0 | 10.0 | 13.0 | 44.0 | 18.0 | 14.5 | 44.0 |
| 1988 | 8.0 | 7.0 | 19.0 | 30.0 | 11.0 | 22.0 | 13.0 | 13.0 | 15.0 | 12.0 | 12.0 | 17.0 | 30.0 |
| 1989 | 70.0 | 13.0 | 12.0 | 17.0 | 13.0 | 15.0 | 12.0 | 16.0 | 16.0 | 7.0 | 9.0 | 4.5 | 70.0 |
| 1990 | 17.0 | 23.0 | 25.0 | 12.0 | 8.5 | 7.5 | 14.0 | 16.0 | 18.0 | 15.0 | 14.0 | 18.0 | 25.0 |
| 1991 | 10.0 | 13.0 | 16.0 | 21.0 | 13.0 | 10.1 | 17.0 | 8.5 | 14.0 | 16.0 | 17.0 | 17.0 | 21.0 |
| 1992 | 10.0 | 20.3 | 24.0 | 21.5 | 18.0 | 12.0 | 28.0 | 22.0 | 9.8 | 19.0 | 20.0 | 20.0 | 28.0 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|
| 1993 | 29.0 | 48.0 | 82.5 | 30.5 | 27.0 | 14.5 | 11.5 | 41.0 | 24.0 | 34.0 | 15.0 | 17.0 | 82.5 |
| 1994 | 45.0 | 28.0 | 28.5 | 54.3 | 21.0 | 29.0 | 22.0 | 9.0 | 25.0 | 60.0 | 82.0 | 26.0 | 82.0 |
| 1995 | 12.0 | 30.5 | 30.0 | 69.5 | 19.0 | 20.8 | 13.0 | 5.0 | 26.0 | 34.0 | 68.5 | 37.0 | 69.5 |
| 1996 | 24.0 | 32.0 | 31.5 | 13.5 | 35.0 | 9.9 | 7.0 | 31.0 | 17.0 | 68.0 | 40.0 | 33.0 | 68.0 |
| 1997 | 15.0 | 61.0 | 18.0 | 30.3 | 24.2 | 14.6 | 11.1 | 20.7 | 40.5 | 47.5 | 41.7 | 31.2 | 61.0 |
| 1998 | 21.4 | 33.6 | 42.6 | 68.5 | 49.3 | 15.4 | 6.0 | 32.8 | 11.0 | 41.6 | 15.6 | 31.2 | 68.5 |
| 1999 | 40.0 | 50.7 | 37.0 | 22.5 | 46.4 | 24.5 | 13.8 | 34.7 | 15.1 | 26.8 | 11.5 | 25.5 | 50.7 |
| 2000 | 39.0 | 36.0 | 27.5 | 35.8 | 11.3 | 31.6 | 12.6 | 16.8 | 20.5 | 26.3 | 16.9 | 32.5 | 39.0 |
| 2001 | 23.8 | 41.4 | 53.1 | 23.5 | 67.4 | 23.7 | 17.0 | 14.8 | 42.8 | 82.8 | 51.4 | 59.8 | 82.8 |
| 2002 | 32.8 | 37.5 | 83.5 | 44.0 | 33.2 | 5.5 | 19.4 | 26.5 | 35.4 | 55.3 | 47.7 | 29.8 | 83.5 |
| 2003 | 24.8 | 36.9 | 36.5 | 33.3 | 36.4 | 19.6 | 10.5 | 15.2 | 77.7 | 46.6 | 33.3 | 37.7 | 77.7 |
| 2004 | 19.7 | 35.5 | 34.3 | 29.6 | 38.1 | 25.7 | 13.7 | 24.3 | 11.7 | 24.2 | 40.4 | 18.6 | 40.4 |
| 2005 | 38.9 | 25.5 | 29.5 | 68.5 | 40.8 | 26.1 | 19.6 | 11.7 | 24.0 | 19.5 | 61.3 | 36.7 | 68.5 |
| 2006 | 39.3 | 47.4 | 33.4 | 12.0 | 8.3 | 18.3 | 15.0 | 14.0 | 39.2 | 31.5 | 39.3 | 24.4 | 47.4 |
| 2007 | 45.2 | 18.7 | 25.9 | 63.4 | 69.0 | 9.5 | 21.2 | 47.7 | 37.4 | 101.2 | 71.1 | 42.6 | 101.2 |
| 2008 | 20.5 | 72.6 | 38.2 | 134.8 | 22.8 | 68.2 | 82.3 | 24.8 | 29.5 | 45.6 | 41.6 | 18.8 | 134.8 |
| 2009 | 29.6 | 21.5 | 60.3 | 81.5 | 23.7 | 32.8 | 17.0 | 22.6 | 22.7 | 24.1 | 35.9 | 12.8 | 81.5 |
| 2010 | 9.3 | 85.4 | 28.1 | 40.9 | 33.7 | 8.2 | 32.6 | 18.0 | 40.4 | 22.8 | 29.3 | 64.2 | 85.4 |
| 2011 | 29.5 | 20.8 | 25.3 | 35.5 | 49.1 | 27.8 | 60.9 | 38.9 | 23.0 | 70.5 | 20.8 | 36.2 | 70.5 |
| 2012 | 38.8 | 45.0 | 65.0 | 66.4 | 41.5 | 16.5 | 7.5 | 22.5 | 32.2 | 29.9 | 34.4 | 47.8 | 66.4 |
| 2013 | 40.7 | 29.6 | 71.2 | 30.8 | 45.5 | 34.2 | 31.4 | 49.8 | 60.0 | 44.3 | 34.0 | 23.5 | 71.2 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 2014 | 40.2 | 21.4 | 41.4 | 30.5 | 33.8 | 30.0 | 35.7 | 37.2 | 13.0 | 52.0 | 57.2 | 76.2 | 76.2 |
| 2015 | 94.5 | 81.8 | 45.5 | 45.1 | 22.6 | 25.2 | 19.6 | 31.0 | 17.7 | 67.0 | S/D | 22.2 | 94.5 |
| 2016 | 30.5 | 24.4 | 46.3 | 40.5 | 27.8 | 9.8 | 14.7 | 64.0 | 81.5 | 91.8 | S/D | 41.9 | 91.8 |
| 2017 | S/D | 90.5 | 58.8 | 20.4 | 25.0 | 36.6 | 8.1 | 29.6 | 46.2 | 41.2 | 56.1 | 12.4 | 90.5 |
| 2018 | 66.2 | 55.0 | 39.5 | 160.0 | S/D | 31.0 | 28.5 | 14.0 | 39.7 | 85.4 | 36.7 | 60.1 | 160.0 |
| 2019 | 21.6 | 30.0 | S/D | 27.5 | 52.4 | 22.8 | 36.2 | 8.5 | 27.4 | 49.2 | 55.2 | 52.7 | 55.2 |
| 2020 | 25.8 | 21.8 | S/D | S/D | S/D | S/D | S/D | 19.8 | 62.4 | 33.8 | 50.5 | 16.1 | 62.4 |
| 2021 | 19.2 | 66.4 | 37.8 | 92.4 | 35.5 | 30.0 | 11.0 | 28.5 | 23.4 | 57.8 | 44.2 | 23.9 | 92.4 |
| 2022 | 19.9 | S/D | 35.6 | 35.9 | 24.1 | 33.7 | 18.3 | 17.2 | 63.8 | 58.9 | 15.2 | 6.4 | 63.8 |

Nota. Datos obtenidos del SENAMHI- Tarapoto

Análisis estadístico de datos hidrológicos

El proceso de selección para obtener la función de distribución de mejor ajuste fue la comprobación estadística, mediante el Software Hydrognomon, resultados que se muestran en la figura 63, en la que se estableció que el menor valor de D_{\max} fue la distribución de Pearson III alcanzando el menor delta teórico 0.08698, para proceder a calcular los períodos de retorno.

Figura 63

Prueba de Kolmogórov-Smirnov para determinar la bondad de ajuste con las probabilidades entre sí

| Kolmogorov-Smirnov | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
|--------------------|--------|--------|--------|------------|---------|
| Normal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 86.17% | 0.08824 |
| LogNormal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 60.68% | 0.11212 |
| Gamma | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 84.67% | 0.08988 |
| Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 87.28% | 0.08698 |
| Log Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 18.77% | 0.16062 |
| EV1-Max (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 69.25% | 0.10453 |
| EV1-Min (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 31.50% | 0.14166 |

Nota. Elaboración propia.

Luego de haber determinado cual distribución se ajustó con la probabilidad entre sí, se procedió a procesar los datos en el Software Hydrognomon, del cual se tiene las precipitaciones máximas con la distribución Pearson III, es por ello que se muestra en la tabla 26, los resultados de la aplicación del factor de corrección 1.13, aplicable en datos registrados diarios, dado por la Organización Meteorológica Mundial.

Tabla 26

Precipitaciones máximas por cada tiempo de retorno

| T (años) | Pearson III | Factor de Corrección |
|----------|-------------|----------------------|
| 50 | 139.9 | 158.09 |
| 100 | 152.25 | 172.04 |
| 200 | 164.13 | 185.47 |
| 500 | 179.25 | 202.55 |

Nota. Elaboración propia

Período de retorno

En la tabla 27, se muestran las intensidades máximas diarias representadas en mm/min, para 04 períodos de retorno de 50,100,200 y 500 años, resultados obtenidos posterior a la aplicación del modelo Dick y Peschke (1978), cuya intensidad máxima en 50 años fue 66.05 mm/h, en 100 años fue 73.49 mm/h, en 200 años fue 81.77 mm/h y en 500 años fue 94.16 mm/h.

Tabla 27

Intensidades máximas por cada tiempo de retorno

| Duración min | Tiempo (años) | I (mm/h) | Tiempo (años) | I (mm/h) | Tiempo (años) | I (mm/h) | Tiempo (años) | I (mm/h) |
|-----------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
| 60 | 50 | 66.05 | 100 | 73.49 | 200 | 81.77 | 500 | 94.16 |
| 120 | 50 | 39.55 | 100 | 44.00 | 200 | 48.96 | 500 | 56.38 |
| 180 | 50 | 29.30 | 100 | 32.60 | 200 | 36.27 | 500 | 41.76 |
| 240 | 50 | 23.68 | 100 | 26.34 | 200 | 29.31 | 500 | 33.76 |
| 300 | 50 | 20.07 | 100 | 22.33 | 200 | 24.85 | 500 | 28.62 |
| 360 | 50 | 17.54 | 100 | 19.52 | 200 | 21.71 | 500 | 25.01 |
| 420 | 50 | 15.65 | 100 | 17.41 | 200 | 19.37 | 500 | 22.31 |
| 480 | 50 | 14.18 | 100 | 15.77 | 200 | 17.55 | 500 | 20.21 |
| 540 | 50 | 12.99 | 100 | 14.46 | 200 | 16.09 | 500 | 18.52 |
| 600 | 50 | 12.02 | 100 | 13.37 | 200 | 14.88 | 500 | 17.13 |
| 660 | 50 | 11.20 | 100 | 12.46 | 200 | 13.87 | 500 | 15.97 |
| 720 | 50 | 10.50 | 100 | 11.68 | 200 | 13.00 | 500 | 14.97 |
| 780 | 50 | 9.90 | 100 | 11.01 | 200 | 12.25 | 500 | 14.11 |
| 840 | 50 | 9.37 | 100 | 10.43 | 200 | 11.60 | 500 | 13.36 |
| 900 | 50 | 8.90 | 100 | 9.91 | 200 | 11.02 | 500 | 12.69 |
| 960 | 50 | 8.49 | 100 | 9.44 | 200 | 10.51 | 500 | 12.10 |
| 1020 | 50 | 8.12 | 100 | 9.03 | 200 | 10.05 | 500 | 11.57 |
| 1080 | 50 | 7.78 | 100 | 8.66 | 200 | 9.63 | 500 | 11.09 |
| 1140 | 50 | 7.47 | 100 | 8.32 | 200 | 9.25 | 500 | 10.66 |
| 1200 | 50 | 7.20 | 100 | 8.01 | 200 | 8.91 | 500 | 10.26 |
| 1260 | 50 | 6.94 | 100 | 7.72 | 200 | 8.59 | 500 | 9.90 |
| 1300 | 50 | 6.78 | 100 | 7.55 | 200 | 8.40 | 500 | 9.67 |
| 1320 | 50 | 6.71 | 100 | 7.46 | 200 | 8.30 | 500 | 9.56 |
| 1380 | 50 | 6.49 | 100 | 7.22 | 200 | 8.03 | 500 | 9.25 |
| 1440 | 50 | 6.29 | 100 | 7.00 | 200 | 7.78 | 500 | 8.96 |

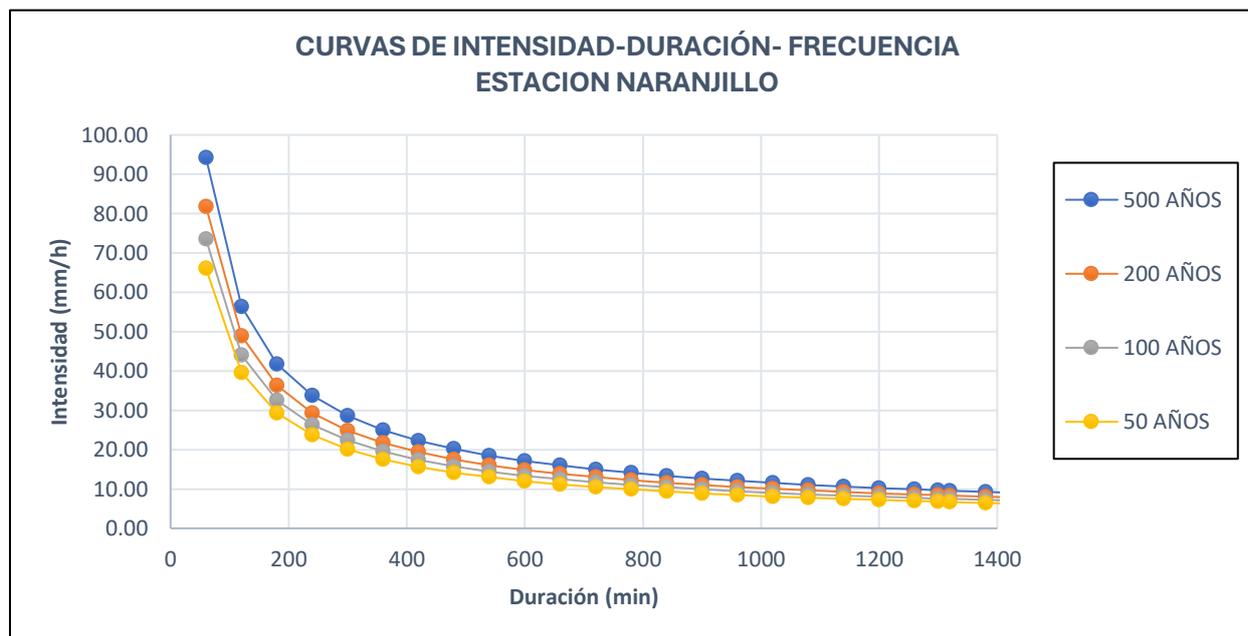
Nota. Elaboración propia

Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF)

En la figura 64, se muestra de manera gráfica las curvas IDF, donde se analizó la relación que existe entre la intensidad, duración y frecuencia para períodos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años, en la subcuenca Yuracyacu.

Figura 64

Curvas de Intensidad Frecuencia para período de retorno 50-100-200 y 500 años.



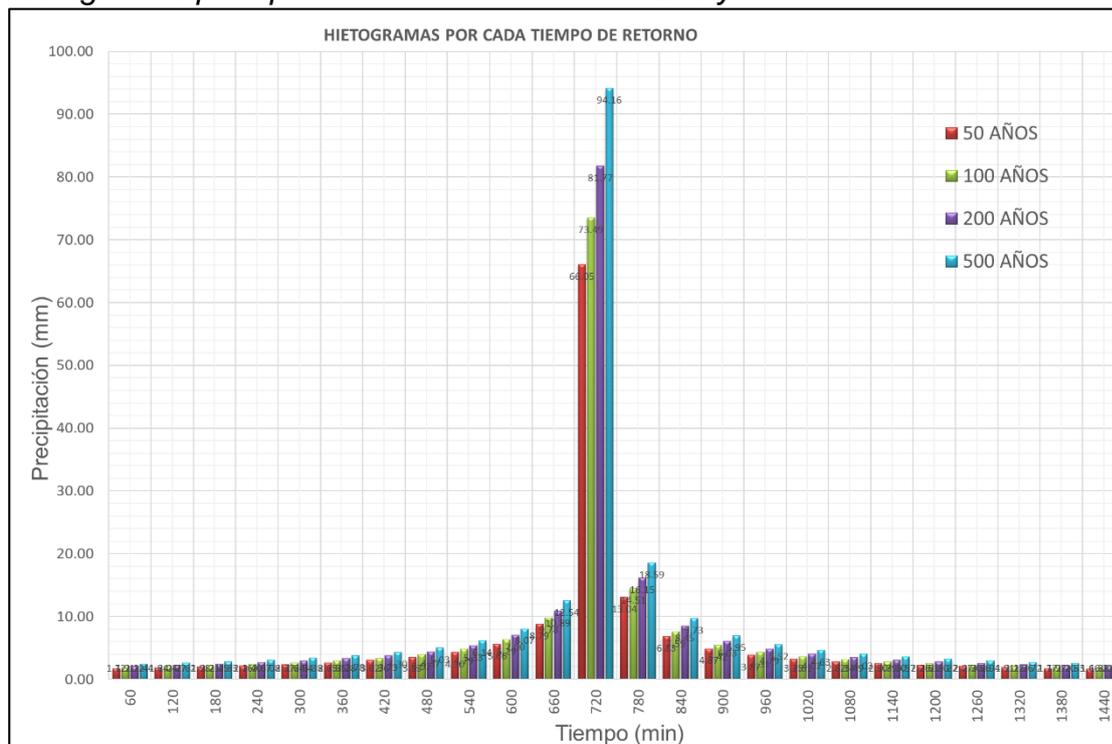
Nota. Elaboración propia.

Hietogramas.

En la figura 65, se muestran los hietogramas que han sido procesados con las intensidades de las precipitaciones máximas de la estación de Naranjillo y el tiempo en que ocurre, se ha utilizado el método del bloque alterno, en los que se ha requerido la información que presenta las curvas IDF, en las que se precisan la precipitación en intervalos de 60 min hasta 1440 min, siendo un total de 24 h.

Figura 65

Hietogramas para período de retorno 50-100-200 y 500 años.



Nota. Elaboración propia

Tiempo de Concentración

Para determinar el tiempo de concentración, se utilizó la ecuación empírica de Kirpich, en donde se estableció la pendiente de la cuenca y la longitud del canal aguas arriba, mediante la visita de campo, obtenido como resultado que el TC=5.97 h.

Caudal de diseño

En la tabla 28, se presenta el caudal de diseño por cada tiempo de retorno, utilizando el método racional modificado, debido a que la subcuenca del río Yuracyacu es menor a 770 km², en los resultados se tuvo que para un tiempo de retorno de 50 años el caudal es de 423.31 m³/s, para un tiempo de retorno de 100 años el caudal es 499.77 m³/s, para un tiempo de retorno de 200 años el caudal es 576.83 m³/s y para un tiempo de retorno de 500 años el caudal es 679.20 m³/s.

Tabla 28

Caudal de diseño para un período de retorno de 50-100-200-500 años.

| Tiempo de Retorno | Tiempo de concentración | Coefficiente de simultaneidad o Factor reductor (kA) | Precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P) | Intensidad de Precipitación (I) | Coefficiente de Escorrentía | Coefficiente de Uniformidad | Caudal de diseño |
|-------------------|-------------------------|--|--|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 50 | | | 134.57 | 18.84 | 0.34 | | 423.31 |
| | | | mm | mm/h | | | m ³ /s |
| 100 | | | 146.44 | 20.5 | 0.37 | | 499.77 |
| | | | mm | mm/h | | | m ³ /s |
| 200 | 5.97 h | 0.8512 | 157.87 | 22.1 | 0.39 | 1.4 | 576.83 |
| | | | mm | mm/h | | | m ³ /s |
| 500 | | | 172.41 | 24.14 | 0.42 | | 679.2 m ³ /s |
| | | | mm | mm/h | | | |

Nota. Elaboración propia

d. Cálculos de ecuaciones empíricas

Los resultados de la profundidad de socavación, fueron realizados mediante el procesamiento de diferentes métodos de cálculo, los cuales se detallan a continuación:

- Método de Larras (1963).

En la tabla 29, se muestra la profundidad de socavación mediante el uso de método de Larras, basado en el ancho del pilar, la forma del pilar, que para la presente investigación se ha visualizado en campo que la pila fue de nariz cuadrada y el ángulo de ataque de la corriente fue 0°, el cual después de procesarlo nos arrojó una

profundidad de socavación de 1.25 m del pilar central, para todos los tiempos de retorno dado que no considera caudales.

Tabla 29

Método de Larras

| Forma | Factor de corrección (K) | Ancho del pilar | Profundidad de socavación(y_s) |
|--------------|---------------------------------|------------------------|--|
| Rectangular | 1.55 | 0.7 | 1.25 |

Nota. Elaboración propia

- Método de Arunachalam (1963-1965).

En la tabla 30, se muestra la profundidad de socavación mediante el uso de método de Arunachalam, basado en el caudal unitario y el ancho del pilar, datos que después de procesarlos para un período de retorno de 50 años nos arrojó una profundidad de socavación de 2.35 m del pilar central, para un período de retorno de 100 años nos arrojó una profundidad de socavación de 2.42 m del pilar central, para un período de retorno de 200 años nos arrojó una profundidad de socavación de 2.48 m del pilar central, para un período de retorno de 500 años nos arrojó una profundidad de socavación de 2.53 m del pilar central.

Tabla 30

Método de Arunachalam

| Período de retorno | Caudal de diseño | Ancho de la sección aguas arriba | Caudal unitario | Ancho del pilar | Profundidad de socavación(y_s) |
|---------------------------|--------------------------|---|------------------------|------------------------|--|
| 50 | 423.31 m ³ /s | | 13.29 | | 2.35 m |
| 100 | 499.77 m ³ /s | | 15.69 | | 2.42 m |
| 200 | 576.83 m ³ /s | 31.86 m | 18.11 | 0.7 | 2.48 m |

| | | | |
|-----|--------------------------|-------------------------------|--------|
| 500 | 679.20 m ³ /s | 21.32 m ³ /s- m | 2.53 m |
|-----|--------------------------|-------------------------------|--------|

Nota. Elaboración propia

- Método de Maza – Sánchez (1968)

En la tabla 31, se muestra la profundidad de socavación mediante el uso de método de Maza - Sánchez, basado en parámetros hidráulicos, geométricos y adimensionales, considerando entre ellos el caudal de diseño para un período de retorno de 500 años, el ancho del pilar, la velocidad media, el ángulo de ataque de flujo que es 0, dado que el flujo del agua es paralelo a la ubicación del pilar, el número de Froude, la profundidad de agua y profundidad de sección socavada, datos que después de procesarlos para un período de retorno de 50 años nos arrojó una profundidad de socavación de 2.28 m del pilar central, para un período de retorno de 100 años nos arrojó una profundidad de socavación de 2.42 m del pilar central, para un período de retorno de 200 años nos arrojó una profundidad de socavación de 2.23 m del pilar central, para un período de retorno de 500 años nos arrojó una profundidad de socavación de 2.52 m del pilar central.

Tabla 31

Método de Maza – Sánchez (1968).

| Parámetros | 50 años | 100 años | 200 años | 500 años |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Caudal de Diseño (Qd) | 423.31 | 499.77 | 576.83 | 679.2 |
| | m ³ /s | m ³ /s | m ³ /s | m ³ /s |
| Velocidad media del flujo (V) | 4.02 m/s | 4.14 m/s | 4.23 m/s | 4.29 m/s |
| Profundidad promedio aguas arriba (Hs) | 4.09 m | 4.44 m | 4.77 m | 5.18 m |
| Aceleración de la gravedad (g) | 9.81 m/s ² | 9.81 m/s ² | 9.81 m/s ² | 9.81 m/s ² |
| Ancho del pilar (a) | 0.7 m | 0.7 m | 0.7 m | 0.7 m |

| | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|
| Angulo de ataque del flujo en pilas (\emptyset) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| factor de corrección f_c | 1 | 1 | 1 | 1 |
| número de Froude | 0.40 | 0.39 | 0.38 | 0.36 |
| Ancho de pilar proyectado a' | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| Relación de profundidad de agua con ancho de pilar proyectado | 5.84 | 6.34 | 6.81 | 7.4 |
| Profundidad de sección socavada desde el nivel de superficie de agua | 6.37 | 6.86 | 7 | 7.7 |
| Relación de profundidad de sección socavada con ancho de pilar proyectado | 9.1 | 9.8 | 10 | 11 |
| Profundidad de socavación (y_s) | 2.28 m | 2.42 m | 2.23 m | 2.52 m |

Nota. Elaboración propia

- Método de Universidad Estatal de Colorado.

En la figura 66, se muestra la profundidad de socavación mediante el uso de método de Universidad Estatal de Colorado, basado en parámetros hidráulicos, geométricos, geotécnicos y adimensionales, considerando entre ellos el caudal de diseño, el ancho del pilar, la velocidad media, el ángulo de ataque de flujo que es 0, dado que el flujo del agua es paralelo a la ubicación del pilar, el número de Froude, y factores de corrección por la forma de la pila, por el ángulo de ataque por la forma de lecho y por acorazamiento, datos que después de procesarlos para un período de retorno de 50 años arrojó una profundidad de socavación de 2.58 m del pilar central, para 100 años arrojó una profundidad de socavación de 2.65 m del pilar central, para 200 años arrojó una profundidad de socavación de 2.70 m del pilar central, para 500 años arrojó una profundidad de socavación de 2.74 m del pilar central.

Figura 66

Socavación por el método de Universidad de Colorado.

| Parámetros | 50 años | 100 años | 200 años | 500 años |
|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Caudal de Diseño (Q_d) | 423.31 m ³ /s | 499.77 m ³ /s | 576.83 m ³ /s | 679.2 m ³ /s |
| Velocidad media del flujo (V) | 4.02 m/s | 4.14 m/s | 4.23 m/s | 4.29 m/s |
| Profundidad promedio aguas arriba (Hs) | 4.09 m | 4.44 m | 4.77 m | 5.18 m |
| Aceleración de la gravedad (g) | 9.81 m/s ² | 9.81 m/s ² | 9.81 m/s ² | 9.81 m/s ² |
| Ancho del pilar (a) | 0.7 m | 0.7 m | 0.7 m | 0.7 m |
| Longitud del pilar | 1.2 m | 1.2 m | 1.2 m | 1.2 m |
| Angulo de ataque del flujo en pilas (\emptyset) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D50 | 3.48m | 3.48m | 3.48m | 3.48m |
| Factor de corrección por la forma del pilar | Rectangular – 1.1 | Rectangular – 1.1 | Rectangular – 1.1 | Rectangular – 1.1 |
| Factor de corrección por el ángulo de ataque | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Factor de corrección por la forma del lecho | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| Factor de corrección por acorazamiento | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Numero de Froude | 0.63 | 0.63 | 0.62 | 0.60 |
| Profundidad de socavación(y_s) | 2.58 m | 2.65 m | 2.70 m | 2.74 m |

Nota. Elaboración propia

e. Cálculos Hidráulicos **Coefficiente de Manning**

En la tabla 32, se muestra los resultados del cálculo de coeficiente de Manning, para el cauce principal del río Yuracyacu cuyo valor de n arrojó 0.054 y para los márgenes del río el valor de n arrojó 0.073.

Tabla 32

Cálculo de Coeficiente de Manning

| Cálculo de Coeficiente de Manning (n) | |
|--|-------|
| Cauce | 0.054 |
| Márgenes | 0.073 |

Nota. Elaboración propia.

En la figura 67, se visualiza las condiciones reales del río Yuracyacu y sus márgenes en las cuales se apreció la superficie del río que corresponde a una grava fina, cuenta con una irregularidad menor, cuya variación de la sección durante su recorrido es ocasional para el cauce y frecuente en los márgenes debido a las fuertes lluvias en temporadas de invierno, la poca vegetación y la obstrucción es baja.

Figura 67

Condiciones para calcular el coeficiente Manning.



Nota. Elaboración propia.

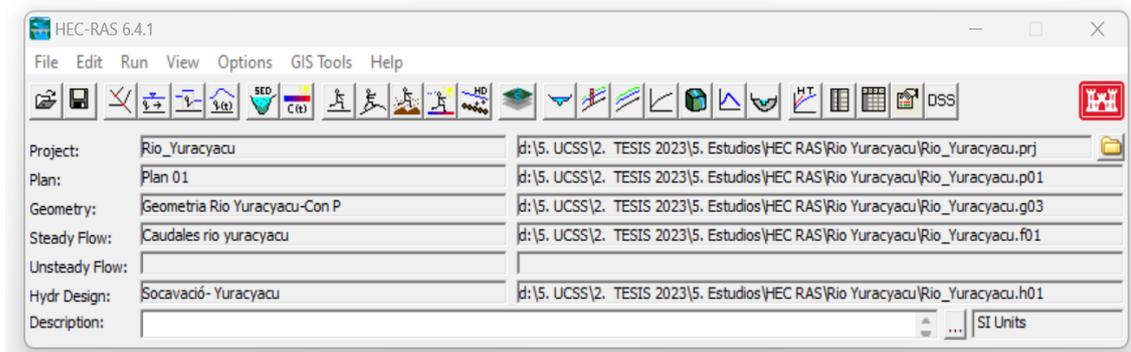
f. Modelamiento con HEC-RAS

Para la modelación de la socavación con el Programa HEC-RAS, fue necesario tener los datos de los parámetros geomorfológicos, geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos, con la finalidad de obtener resultados reales de socavación en las pilas del puente Yuracyacu. Es por ello que, se han seguido los pasos que a continuación se detallan:

En la figura 68, se muestra el inicio de la simulación hidráulica realizada en el HEC-RAS, el cual comprendió un tramo de 1+200 km, con 0+600 km aguas arriba y 0+600 km aguas abajo del puente del río Yuracyacu.

Figura 68

Creación del proyecto de simulación de socavación de las pilas del puente del río Yuracyacu.

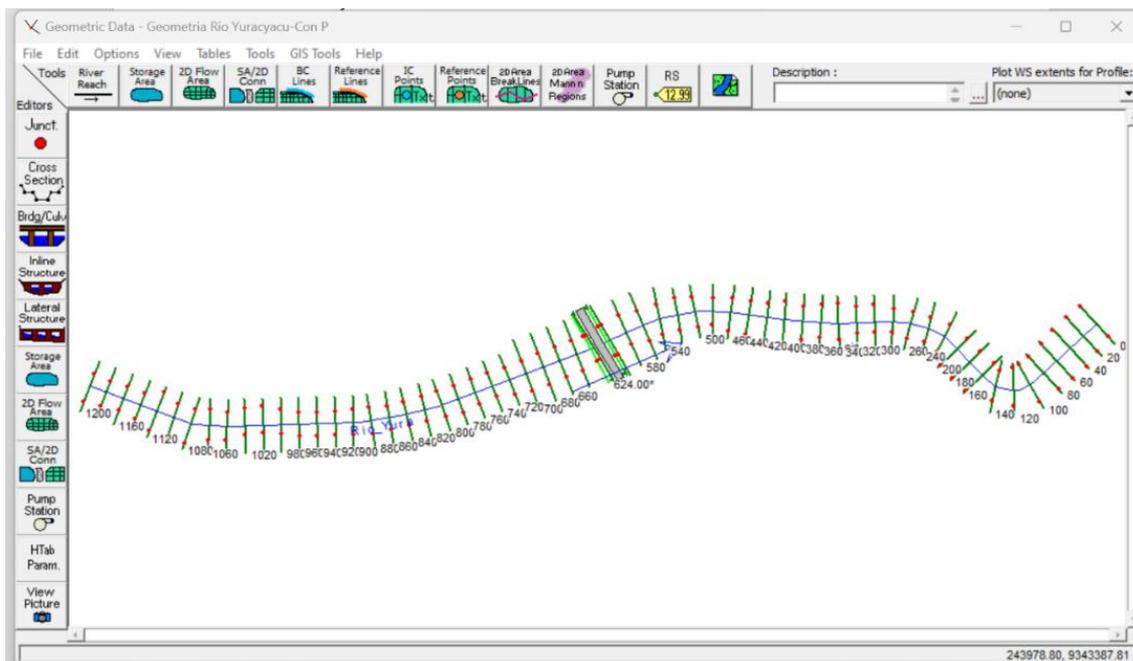


Nota. Elaboración propia.

En la figura 69, se muestra la vista en planta de la geometría del puente y sus respectivas 61 secciones transversales con intervalos de 20 m entre cada uno, seguido del trazo de las secciones transversales se procedió a darle el sentido del flujo desde el km 1+200 al km 0+00.

Figura 69

Geometría del puente y secciones transversales del río Yuracyacu.

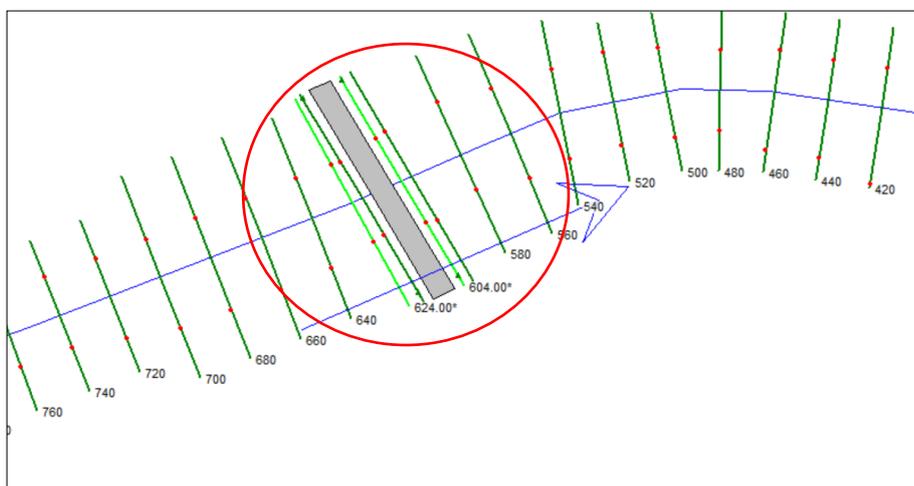


Nota. Elaboración propia.

En la figura 70, se muestra la sección principal en el km 0+600, donde está ubicado el puente Yuracyacu, en el software HEC-RAS.

Figura 70

Sección principal del puente del río Yuracyacu



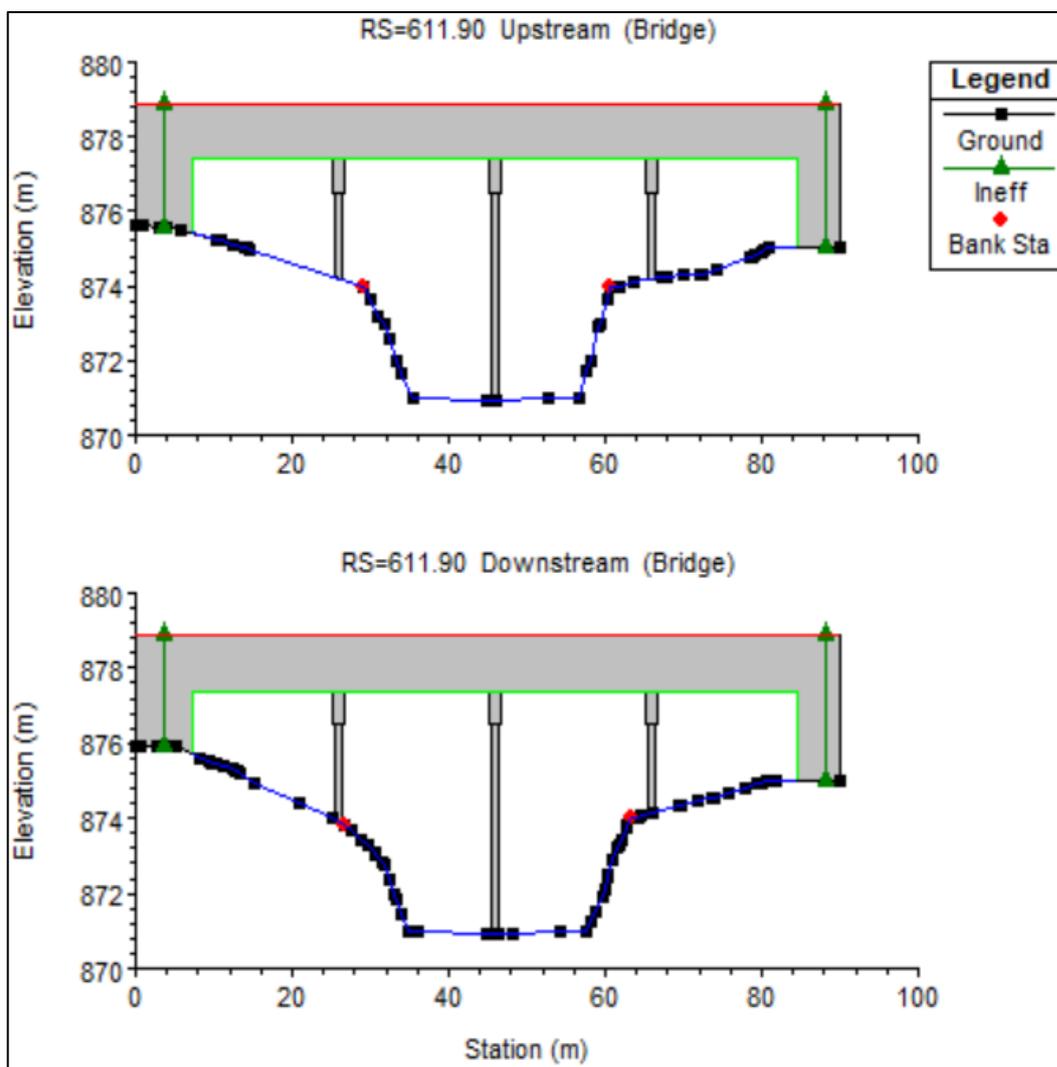
Nota. Elaboración propia

Las características del puente y sus dimensiones fueron ingresadas al HEC-RAS, tales como la longitud del puente que es 80 m, sin embargo, se descuentan 2.55 m correspondiente al ancho de los estribos. Los estribos del puente cada uno tiene un ancho de 1.25 m que se descuentan a la longitud de puente.

En la figura 71, se muestra la vista en elevación del puente del río Yuracyacu aguas arriba, entre los sectores Los Olivos e Imperio y aguas abajo entre los sectores Monterrey y Nueva Cajamarca Centro.

Figura 71

Vista en elevación del puente del río Yuracyacu – Aguas arriba y aguas abajo.

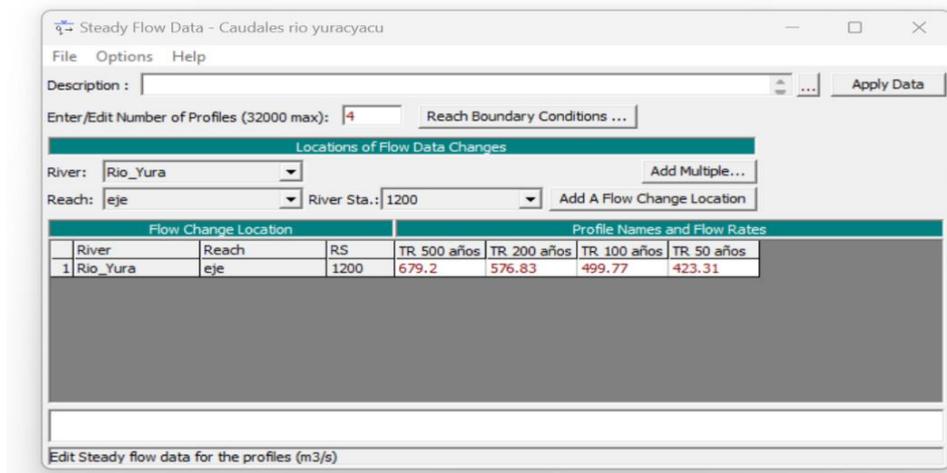


Nota. Elaboración propia.

En la figura 72, se muestra los caudales ingresados al HEC-RAS para los períodos de retorno de 50 años cuyo caudal fue de 423.31 m³/s, de 100 años con un caudal de 499.77m³/s, para 200 años un caudal de 576.83 m³/s y para 500 años un caudal de 679.20 m³/s, calculados por medio del análisis hidrológico del río.

Figura 72

Caudales para cada tiempo de retorno

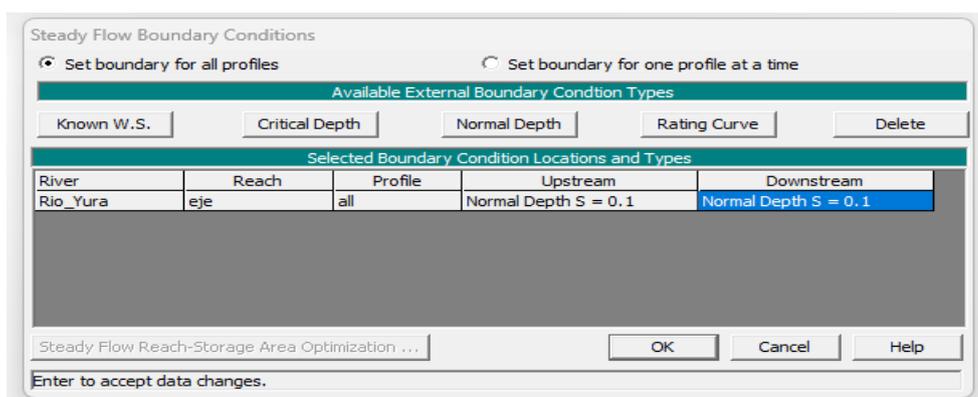


Nota. Elaboración propia

En la figura 73, se muestra la pendiente del cauce principal, que fue 10.21%, equivalente a 0.1 grado.

Figura 73

Pendiente de cauce principal del río Yuracyacu.

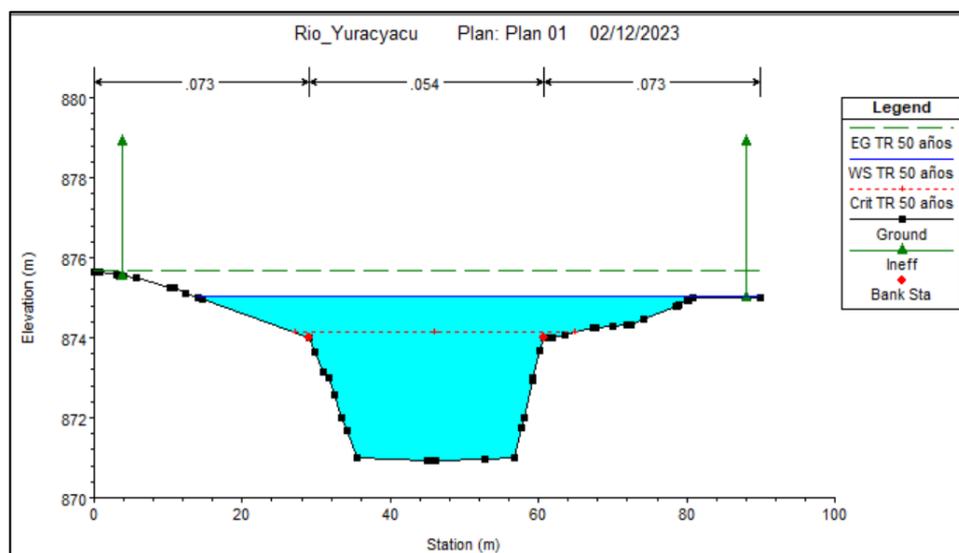


Nota. Elaboración propia

En la figura 74, se aprecia la sección transversal en el km 0+620 aguas arriba del puente, que muestra la crecida del caudal para el TR= 50 años, en el cual se evidenció un desbordamiento del río tanto a su margen derecha e izquierda, ante un caudal máximo de 423.31 m³/s. En anexos de la presente tesis se encuentran las secciones transversales del río para los cuatro períodos de retorno trabajados en esta investigación.

Figura 74

Sección transversal Km 0+620, para TR =50 años.

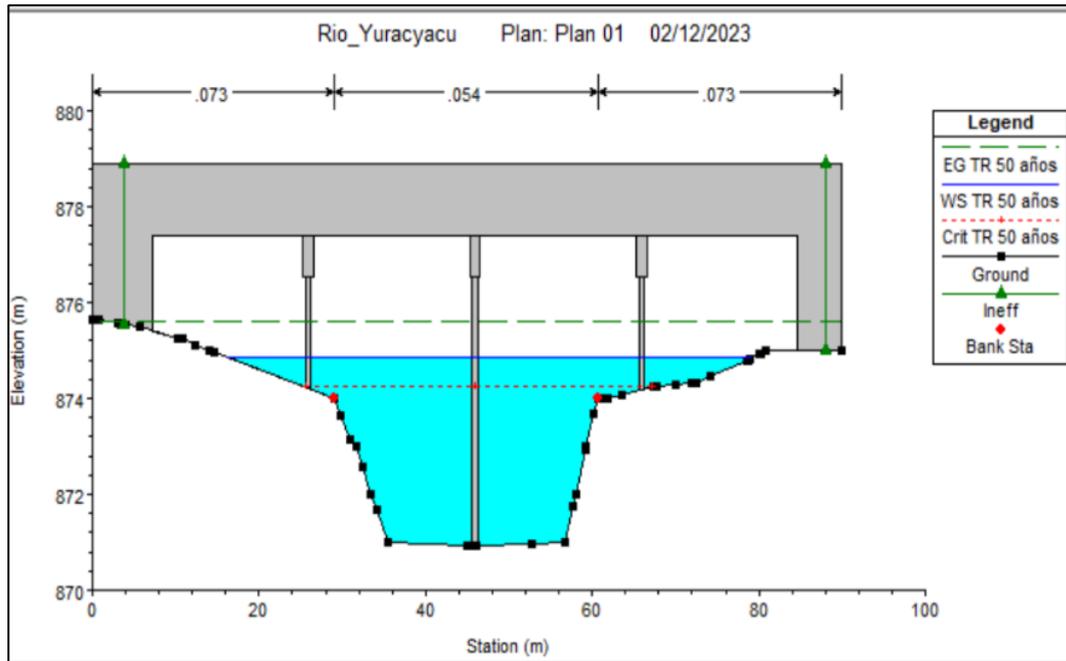


Nota. Elaboración propia.

En la figura 75, se aprecia la sección transversal en el km 0+611.90, eje del puente aguas arriba, que muestra que, en un período de retorno de 50 años, se evidenció un desbordamiento del río ante máximo caudal modelado de 423.31 m³/s, producto de las frecuentes precipitaciones pluviales del río Yuracyacu, donde se observa que el flujo del agua cubre los pilares centrales del puente.

Figura 75

Sección transversal Km 0+611.90, ubicación del puente aguas arriba, para TR =50 años.

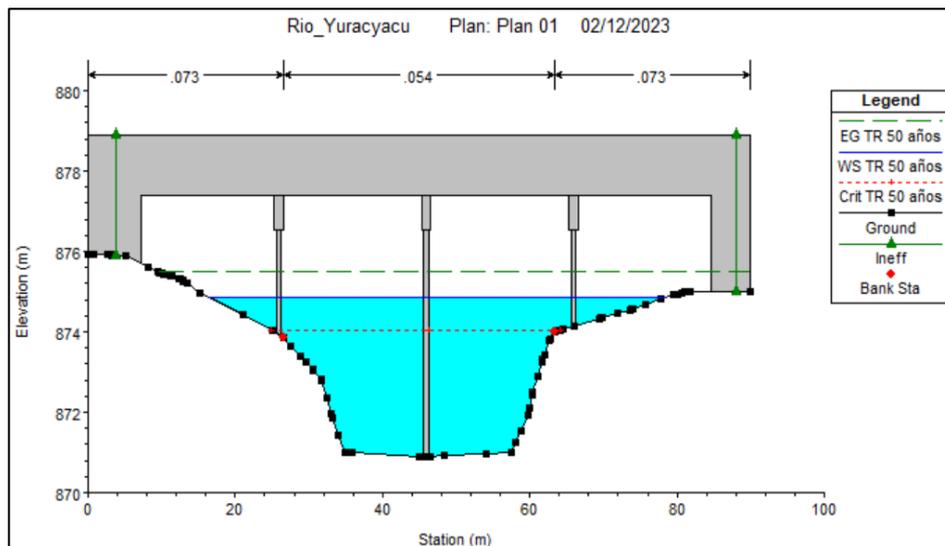


Nota. Elaboración propia

En la figura 76, se aprecia la sección transversal en el km 0+611.90, donde se observan el pilar central y los dos pilares laterales dentro de la sección en planta del río Yuracyacu para el máximo caudal modelado con el HEC-RAS, pudiéndose apreciar la crecida del caudal de 423.31 m³/s para el TR= 50 años, en el cual se evidencia que el flujo del agua se encuentra cerca a los estribos del puente, lo que representa un desbordamiento del río, ante una avenida máxima en períodos lluviosos.

Figura 76

Sección transversal Km 0+611.90, ubicación del puente aguas abajo, para TR =50 años.

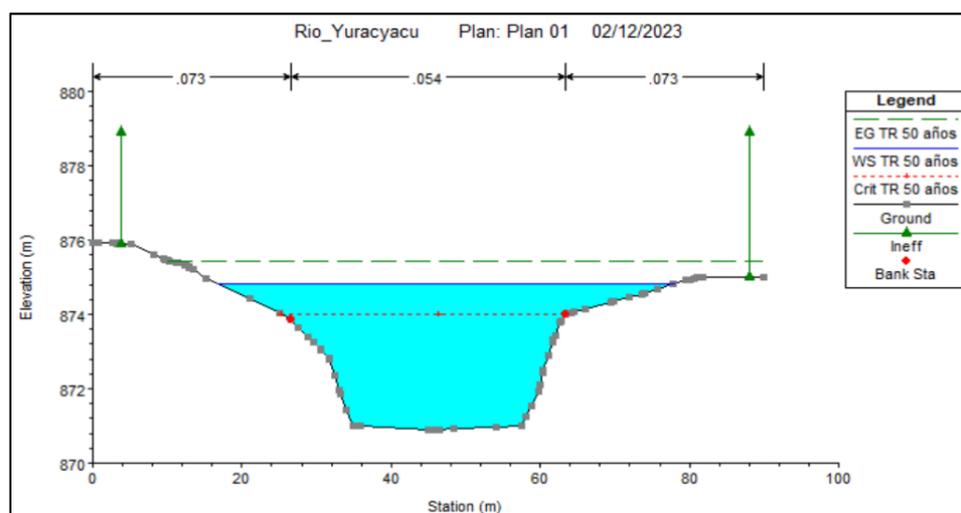


Nota. Elaboración propia.

En la figura 77, se aprecia la sección transversal en el km 0+604 aguas abajo del puente, que muestra la crecida del caudal de $423.31 \text{ m}^3/\text{s}$ para el $\text{TR} = 50$ años, evidenciándose una inundación en los sectores ubicados en la parte baja del Distrito. Donde encontramos poblaciones vulnerables a las inundaciones en ambas márgenes del río Yuracyacu. En los anexos de la presente investigación se ha modelado un caudal de $499.77 \text{ m}^3/\text{s}$ para un TR de 100 años, un caudal de $576.83 \text{ m}^3/\text{s}$ para TR de 200 años y un caudal de $679.20 \text{ m}^3/\text{s}$ para un TR 500 años.

Figura 77

Sección transversal Km 0+604, para $\text{TR} = 50$ años.

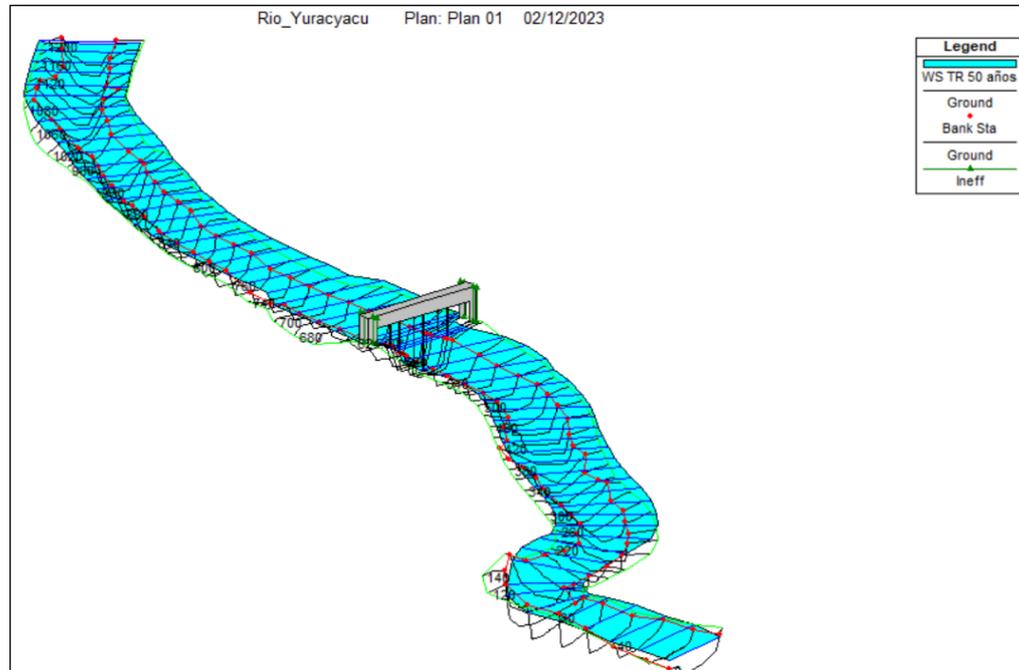


Nota. Elaboración propia.

Además, se puede visualizar en la Figura 78, el flujo de agua en el puente del río Yuracyacu, tanto aguas arriba como aguas abajo, según el caudal de 423.31 m³/s, para un tiempo de retorno de 50 años, modelado con el software HEC-RAS.

Figura 78

Flujo en cauce del río Yuracyacu en 3D, para un TR de 50 años.



Nota. Elaboración propia.

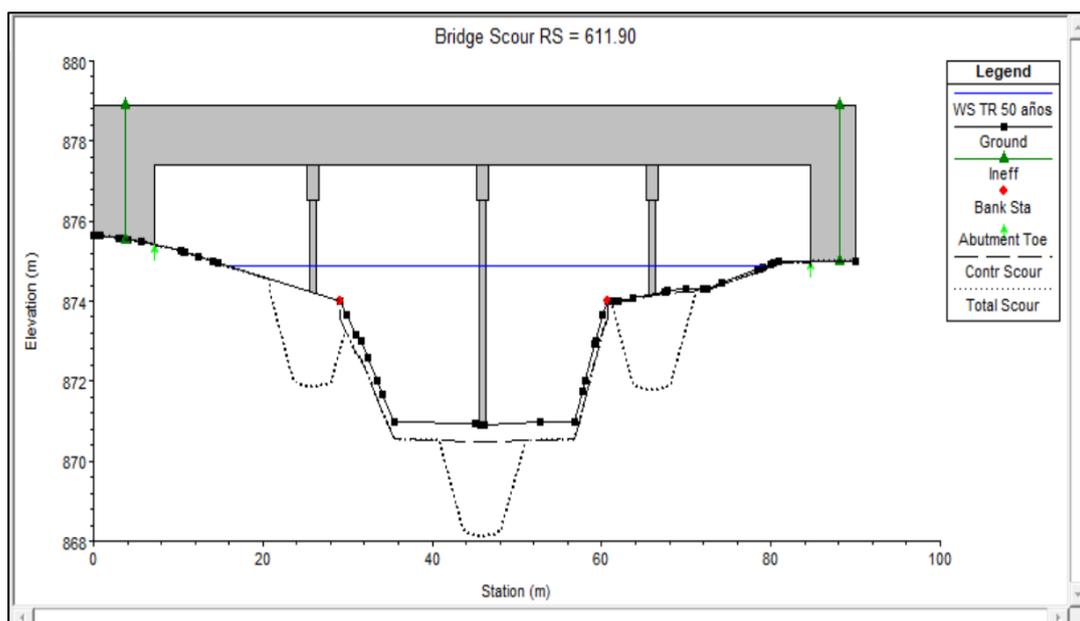
Como resultado del procesamiento de datos hidrológicos, geotécnicos, hidráulicos y geomorfológicos, descritos en los párrafos precedentes en el presente capítulo, fueron calculados automáticamente por el software HEC-RAS. Se han calculado las profundidades de socavación para los tiempos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años.

En la figura 79, se aprecia la socavación en las pilas del puente del río Yuracyacu para un tiempo de retorno de 50 años. En la pila central del puente arrojó una socavación de 2.58 m hasta el fondo de lecho de río, obtenidas mediante el método de Universidad Estatal de Colorado, asimismo se puede visualizar que en las pilas laterales se encontró con una socavación de 1.09 m, siendo esta poco

representativa debido a que se encuentran protegidas con defensa ribereña. Sin embargo, el estudio de socavación se realizó solo al pilar central, dado que, al estar ubicado en el sentido de la corriente del río, al aumento de la velocidad debido a la pérdida de la sección y la turbulencia generan la acción de fenómenos turbulentos alrededor de la pila central y ello trae consigo el proceso de socavación.

Figura 79

Socavación para un TR de 50 años.



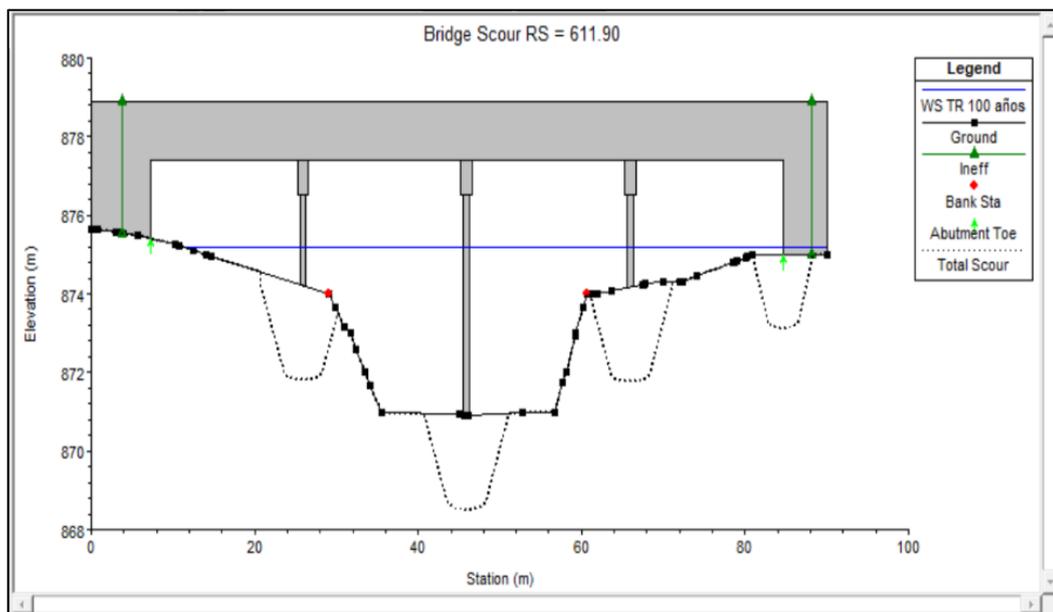
Nota. Elaboración propia

En la figura 80, se aprecia la socavación en las pilas del puente del río Yuracyacu para un tiempo de retorno de 100 años. En la pila central del puente arrojó una socavación de 2.65 m hasta el fondo de lecho de río, por el método de Universidad Estatal de Colorado, asimismo se puede visualizar que en la pila lateral izquierda se tuvo una socavación de 1.24 m y la pila lateral derecha una socavación de 1.33 m, aunque de la misma manera del período de retorno anterior menos evidenciada la socavación; así como también se observó que con período de retorno de 100 años con un caudal de 499.77 m³/s se evidenció la socavación del estribo

derecho. Sin embargo, el estudio de socavación se realizó solo al pilar central, dado que se encuentra expuesto en el sentido del flujo del agua y con el aumento de la velocidad y la turbulencia genera la socavación de la pila central, lo que no ocurre con los pilares laterales y el estribo derecho, que se encuentran cubiertos con material de defensa ribereña.

Figura 80

Socavación para un TR de 100 años.



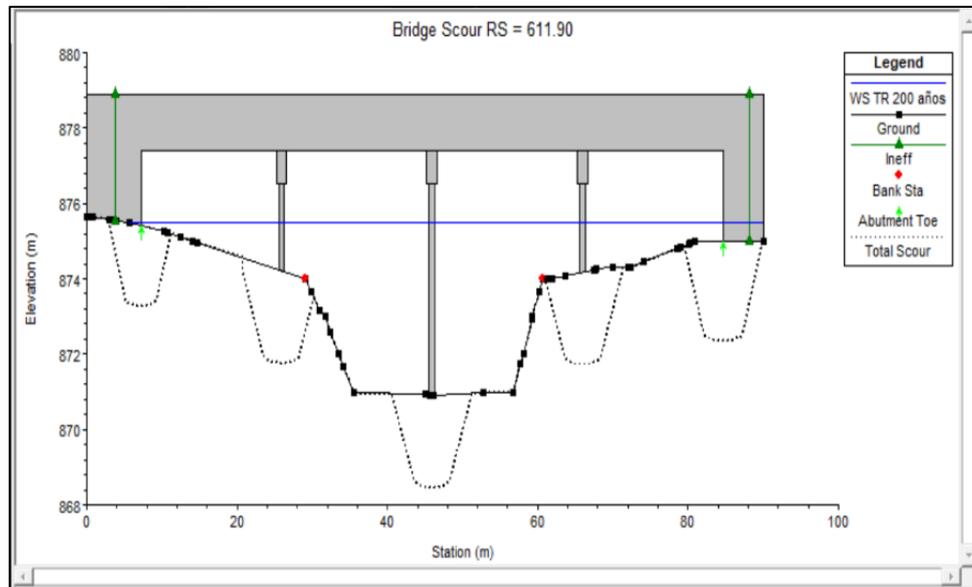
Nota. Elaboración propia

En la figura 81, se aprecia la socavación en las pilas del puente del río Yuracyacu para un tiempo de retorno de 200 años. En la pila central del puente arrojó una socavación de 2.70 m hasta el fondo de lecho de río por el método de Universidad Estatal de Colorado, asimismo se visualizó en la pila lateral izquierda una socavación de 1.38 m y en la pila lateral derecha arrojó una socavación de 1.47 m, para este período de retorno de 200 años ya se evidencia socavación en ambos estribos. Sin embargo, el estudio de socavación se realizó solo al pilar central, dado en los pilares

laterales, estribos izquierdo y derecho no son afectados actualmente por la velocidad y turbulencia de la corriente.

Figura 81

Socavación para un TR de 200 años.

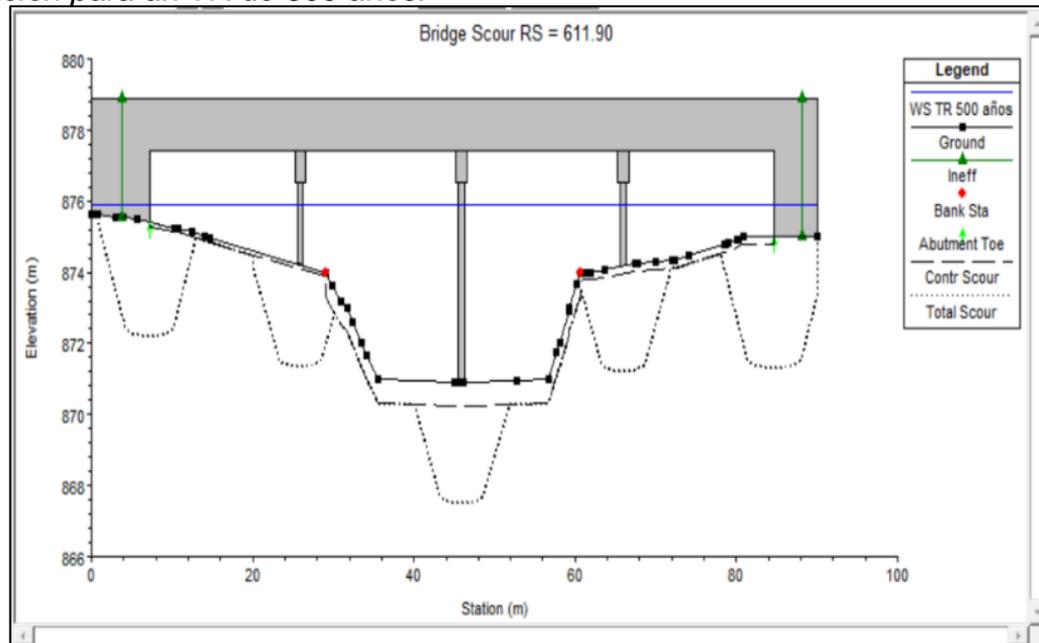


Nota. Elaboración propia

En la figura 82, se aprecia la socavación en las pilas del puente del río Yuracyacu para un tiempo de retorno de 500 años. En la pila central del puente arrojó una socavación de 2.74 m hasta el fondo de lecho de río, por el método de Universidad Estatal de Colorado, con un caudal de $679.20 \text{ m}^3/\text{s}$, asimismo, al ser este período para cálculo de socavación en los diseños de los puentes, se puede visualizar la socavación en las pilas laterales, razón por la cual, durante la simulación en el software HEC-RAS arrojó una socavación para el pilar lateral izquierdo de 1.55 m y para el pilar lateral derecho arrojó una socavación de 1.61 m así como también en ambos estribos. Sin embargo, el estudio de socavación se realizó solo al pilar central, dado que se encuentra expuesto en el sentido del flujo, afectado directamente por la velocidad de la corriente y la turbulencia generada.

Figura 82

Socavación para un TR de 500 años.



Nota. Elaboración propia

En la tabla 33, se muestran los resultados del procesamiento de datos de las máximas profundidades de socavación alcanzadas para los períodos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años obtenidas con el software HEC-RAS, además de otros parámetros que se han tenido en consideración para la corrida numérica. Se demostró la exactitud del software HEC-RAS y de la ecuación de la Universidad Estatal de Colorado, evidenciando resultados prácticamente iguales con la ecuación empírica y el modelo numérico corrido.

Tabla 33

Datos de resultados de socavación en el HEC-RAS.

| Datos | TR= 50 años | TR= 100 años | TR= 200 años | TR= 500 años |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Forma del pilar | Nariz cuadrada | Nariz cuadrada | Nariz cuadrada | Nariz cuadrada |
| Ancho de la pila (m) | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.7 |
| Tamaño de grano D50 (mm) | 3.48 | 3.48 | 3.48 | 3.48 |

| | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|
| Profundidad aguas arriba (m) | 4.09 | 4.44 | 4.77 | 5.18 |
| Velocidad aguas arriba (m/s) | 4.02 | 4.14 | 4.23 | 4.29 |
| K1 – forma de nariz | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| Angulo de la pila | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Longitud de la pila (m) | 1 | 8.7 | 8.7 | 8.7 |
| K2 – Coeficiente de ángulo | 1 | 1 | 1 | 1 |
| K3- Coeficiente de forma de lecho | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| Diámetro de grano D90 (mm) | 16.8 | 16.8 | 16.8 | 16.8 |
| K4 – Coeficiente de acorazamiento | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Resultados | | | | |
| Scour Depth Ys (m) | 2.58 | 2.65 | 2.70 | 2.74 |
| Froude | 0.63 | 0.63 | 0.62 | 0.6 |

Nota. Elaboración propia

En la figura 83, se aprecia la socavación en la pila del puente Yuracyacu, llegando a visualizarse la zapata, dado que, al haberse construido en el año 1974, a la fecha cuenta con 49 años, es por ello que, se realizó la valoración para un tiempo de retorno de 50 años, con el propósito de comprobar dicha socavación en campo. Durante las visitas a campo a las pilas del puente del río Yuracyacu, se evidenció una socavación de 1.25 m a la fecha, obtenidas con wincha y comparadas con los planos de la infraestructura elaborados por el MTC. En la imagen izquierda mostrada se tomó en período poco lluvioso donde se observa la cimentación en la pila central fuera del caudal del río, sin embargo, a la actualidad en la figura de la derecha, se observa el caudal del río aumentado, por lo que, la cimentación del pilar se encuentra cubierta.

Figura 83

Pila de puente Yuracyacu socavado vs pilas del puente con caudal promedio en períodos lluviosos.



Nota. Elaboración propia.

g. Propuestas de obra de protección

Mediante el método de Maza – Álvarez, se muestra en la tabla 34, que el diámetro de la roca a utilizar en la propuesta del enrocado del pilar central del río Yuracyacu será de 0.14 m. Se tuvo en cuenta que la roca a utilizar es roca de cantera Naranjillo que se encuentra cerca al lugar de estudio, cuyo peso específico es 2200 kg/m^3 , al obtener un resultado con un diámetro mínimo y siendo que en períodos lluviosos el caudal aumenta y por lo tanto aumenta la velocidad de la corriente, generando más turbulencia.

Finalmente, no se consideró este diámetro de este método, dado que, según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, indica que los diámetros deben ser mayores para que no puedan ser arrastrados por la corriente del flujo de río, para no colocar filtros o geotextiles que puedan reducir la sección del río, ya que ello, traería

consigo incremento de la velocidad, alteraciones de la forma en planta del cauce, además de incremento de la socavación.

Tabla 34

Diámetro de la roca- método de Maza – Álvarez.

| Datos | Fórmula | Resultados |
|------------------------------|---|------------------------|
| Velocidad media del flujo | | 2.48 m/s |
| Tirante de flujo | D_m | 5.18 m |
| Peso específico del material | $= \frac{135V}{\gamma_s^{1.03} \left(h^{1/(2+h)} \right) - 0.15V}$ | 2200 kg/m ³ |
| Diámetro de roca | | 0.14 m |

Nota. Elaboración propia.

Mediante el método HEC-18 (1993), se muestra en la tabla 35, que el diámetro de la roca a utilizar en la propuesta del enrocado del pilar central del río Yuracyacu será de 0.65 m. Por lo cual se acogió este diámetro porque es mayor, la misma que se colocará al contorno del pilar.

Tabla 35

Diámetro de la roca- método de HEC-18 (1993).

| Datos | Fórmula | Resultados |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Velocidad media del flujo | | 2.48 m/s |
| Coeficiente de forma de los pilares. | D_{50} | 1.7 – nariz rectangular |
| Densidad relativa de la roca | | 2.65 |
| Aceleración de la gravedad | $= \frac{0.692(KV)^2}{2g (G_s - 1)}$ | 9.81 m/s ² |
| Diámetro de la roca | | 0.65 m |

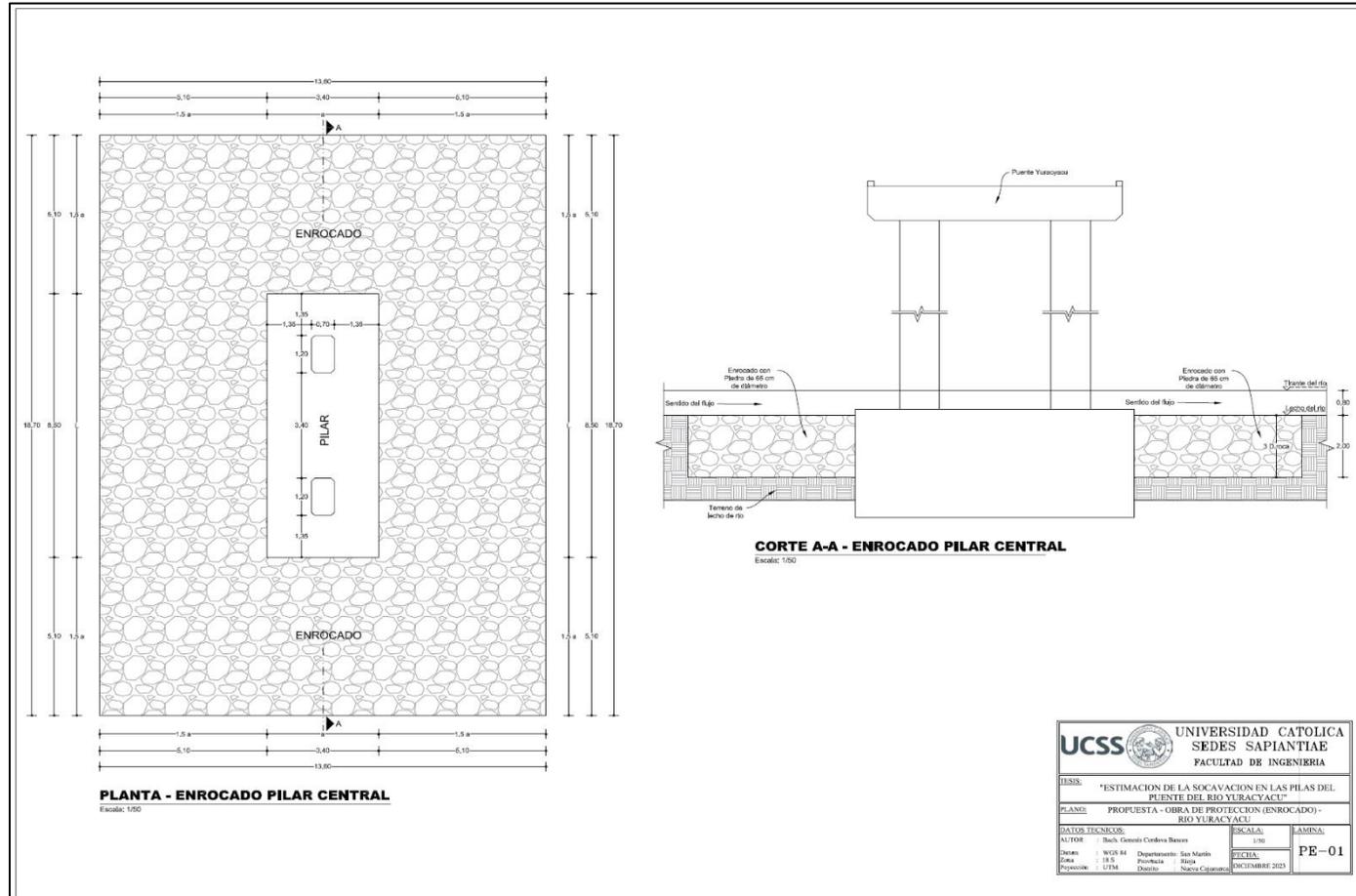
Nota. Elaboración propia.

En la figura 84, se muestra el tamaño de la roca que se tomará para la protección en un período de retorno de 50 años, mediante el método de Hec-18 (1993), que será de 0.65 m, se colocará en el contorno del pilar central. Para lo cual

la altura del enrocado será 03 veces el diámetro de la roca que viene a ser 2.00 m según el Manual de Hidrología e Hidráulica, asimismo, la longitud del enrocado en sentido del flujo se extenderá 1.5 el ancho de la pila con un aproximado de 18.70 m de enrocado en el sentido del flujo del río y para un ancho opuesto al flujo del río de 13.60 m de enrocado.

Figura 84

Propuesta de obra de protección – enrocado para TR = 50 años.



Nota. Elaboración propia

En la tabla 36, se muestra el metrado realizado del enrocado para la protección del pilar del puente en un período de retorno de 50 años, mediante el método de Hec-18 (1993), que se colocará en el contorno del pilar central, con un total de 426.36 m³ de enrocado.

Tabla 36

Metrado para enrocado de protección – 50 años.

| Enrocado de protección de pilar central de río Yuracyacu | | | |
|--|--|----------------|--------|
| Partida | Descripción | Unidad | Total |
| 01 | Enrocado Pilar central - Puente Yuracyacu | | |
| 01.01 | <u>Obras provisionales y preliminares</u> | | |
| 01.01.01 | Alquiler de almacén provisional para la obra | mes | 1.00 |
| 01.01.02 | Seguridad en obra | Glb | 1.00 |
| 01.01.03 | Cartel de identificación de obra | Und | 1.00 |
| 01.01.04 | Trazo, nivel y replanteo preliminar | M2 | 242.08 |
| 01.02 | <u>Movimiento de tierras y enrocado</u> | | |
| 01.02.01 | Excavación masiva con maquinaria (retroexcavadora s/llantas) | m ³ | 426.36 |
| 01.02.02 | Enrocado para la protección del pilar con equipo | m ³ | 426.36 |
| 01.02.03 | Eliminación de material excedente | m ³ | 511.63 |

Nota. Elaboración propia

En la tabla 37, se muestra el presupuesto que arrojó el software S10, luego del procesamiento del metrado y análisis de precios unitarios, para la protección del pilar del puente en el río Yuracyacu, que se colocará en el contorno del pilar central, ascendiendo a un monto total de 71,581.16 (Setenta y un mil quinientos ochenta y uno con 16 /100 soles).

Tabla 37*Presupuesto para enrocado de protección – 50 años.*

| Descripción | Und. | Metrado | Precio | Parcial |
|--|----------------|----------------|---------------|------------------|
| | | | S/ | S/ |
| Enrocado pilar central - puente | | | | 65,073.78 |
| Yuracyacu | | | | |
| Obras provisionales y trabajos preliminares | | | | 4,163.17 |
| Alquiler de almacén, oficina y guardianía | mes | 1 | 500 | 500 |
| Cartel de identificación de obra 3.60x2.40m | und | 1 | 919.92 | 919.92 |
| Seguridad en obra | glb | 1 | 1,620.00 | 1,620.00 |
| Trazo, nivel y replanteo preliminar | m ² | 242.08 | 4.64 | 1,123.25 |
| Excavación masiva con maquinaria (retroexcavadora s/llantas) | m ³ | 426.36 | 19.08 | 8,134.95 |
| Enrocado para la protección del pilar con equipo | m ³ | 426.36 | 104.69 | 44,635.63 |
| Eliminación de material excedente | m ³ | 511.63 | 15.91 | 8,140.03 |
| Costo directo | | | | 65,073.78 |
| Gastos administrativos (10%cd) | | | | 6,507.38 |
| Presupuesto total | | | | 71,581.16 |

Nota. Elaboración propia

Asimismo, fue necesario considerar el riesgo de falla admisible del puente Yuracyacu, dado que, según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, los valores de riesgo y vida útil ya están predeterminados, donde se señala que la vida útil para un puente es mínimo 40 años; además, el riesgo admisible es de 25%. Mientras que, para la estimación de la socavación, el MTC recomienda 500 años de período de retorno.

$$R = 1 - \left(\frac{1}{T}\right)^n$$

Donde:

R: Riesgo de falla

T: Tiempo de retorno

N: Vida útil de la estructura.

Por tanto, en la tabla 38, se consideró un riesgo admisible de falla del 25%, asimismo una vida útil de 100 años, sin embargo, al haber transcurrido 49 años desde su construcción, se calcula la obra de protección para una vida útil de 50 años arrojándonos un período de retorno de 177.8 años, según el cálculo realizado que se denota a continuación:

Tabla 38

Período de retorno por falla admisible – 200 años.

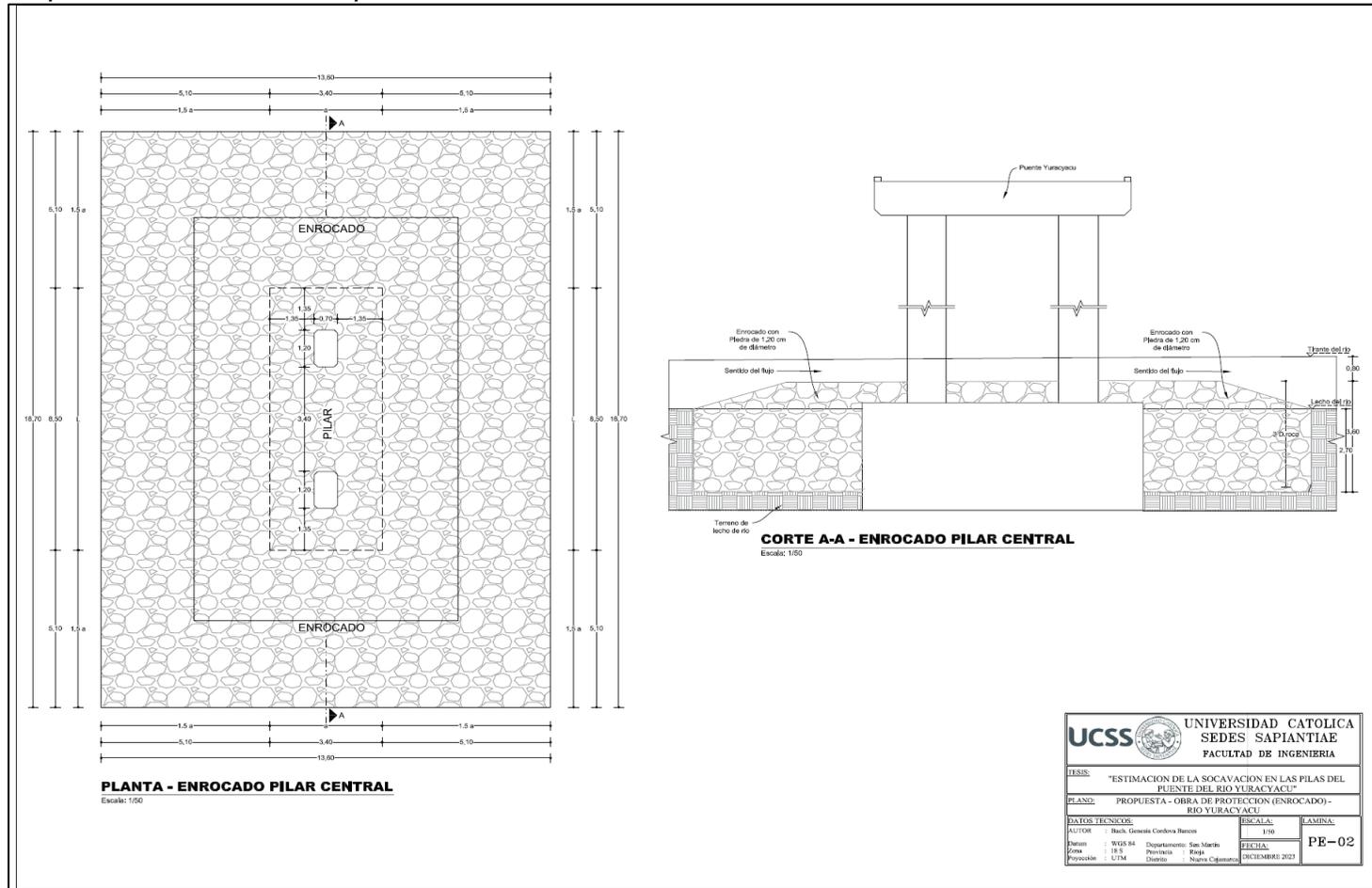
| Descripción | Resultado |
|------------------------|------------------|
| Riesgo | 0.25 |
| Vida Útil | 100 años |
| Vida Útil Transcurrida | 49 años |
| Vida útil para TR | 51 años |
| Período de Retorno | 177.8 años |

Nota. Elaboración propia

En la figura 85, se muestra el tamaño de la roca que se tomará para la protección en un período de retorno de 200 años, mediante el método de Hec-18 (1993), que será de 1.20 m, se colocará en el contorno del pilar central. Para lo cual, según el Manual de Hidrología e Hidráulica, la altura del enrocado será tres veces el diámetro de la roca, obteniéndose un enrocado de 3.60 m. Se consideró la forma de enrocado de forma trapezoidal con el fin de no generar que la corriente del río se acumule alrededor de la pila y provoque desbordamiento.

Figura 85

Propuesta de obra de protección – enrocado para TR=200 años.



Nota. Elaboración propia.

En la tabla 39, se muestra el metrado del enrocado para la protección del pilar del puente en un período de retorno de 200 años, mediante el método de Hec-18 (1993), que se colocará en el contorno del pilar central, con un total de 539.22 m³ de enrocado.

Tabla 39

Metrado para enrocado de protección – 200 años.

| Enrocado de protección de pilar central de río Yuracyacu | | | |
|---|--|----------------|--------|
| Partida | Descripción | Unidad | Total |
| 01 | Enrocado Pilar central - Puente Yuracyacu | | |
| 01.01 | <u>Obras provisionales y preliminares</u> | | |
| 01.01.01 | Alquiler de almacén provisional para la obra | mes | 1.00 |
| 01.01.02 | Seguridad en obra | glb | 1.00 |
| 01.01.03 | Cartel de identificación de obra | Und | 1.00 |
| 01.01.04 | Trazo, nivel y replanteo preliminar | M ² | 242.08 |
| 01.02 | <u>Movimiento de tierras y enrocado</u> | | |
| 01.02.01 | Excavación masiva con maquinaria (retroexcavadora s/llantas) | m ³ | 575.59 |
| 01.02.02 | Enrocado para la protección del pilar con equipo | m ³ | 802.79 |
| 01.02.03 | Eliminación de material excedente | m ³ | 690.70 |

Nota. Elaboración propia.

En la tabla 40, se muestra el presupuesto que arrojó el software S10, luego del procesamiento del metrado y análisis de precios unitarios, para la protección del pilar del puente en el río Yuracyacu, que se colocará en el contorno del pilar central, ascendiendo a un monto total de S/. 139,740.87 (Ciento treinta y nueve mil setecientos cuarenta con 87/100 soles).

Tabla 40

Presupuesto para enrocado de protección – 200 años.

| Descripción | Und. | Metrad o | Precio S/ | Parcial S/ |
|--|------|-------------|--------------|------------------------|
| Enrocado pilar central - puente Yuracyacu | | | | 127,037.1 5 |

| | | | | | |
|--|----------------|--------|----------|------------|------------|
| Obras provisionales y trabajos preliminares | | | | | 4,163.17 |
| Alquiler de almacén, oficina y guardianía | mes | 1 | 500 | 500 | |
| Cartel de identificación de obra 3.60x2.40m | und | 1 | 919.92 | 919.92 | |
| Seguridad en obra | glb | 1 | 1,620.00 | 1,620.00 | |
| Trazo, nivel y replanteo preliminar | m ² | 242.08 | 4.64 | 1,123.25 | |
| | | | | | 122,873.98 |
| Excavación masiva con maquinaria (retroexcavadora s/llantas) | m ³ | 575.59 | 19.08 | 10,982.26 | |
| Enrocado para la protección del pilar con equipo | m ³ | 802.79 | 125.69 | 100,902.68 | |
| Eliminación de material excedente | m ³ | 690.70 | 15.91 | 10,989.04 | |
| Costo directo | | | | | 127,037.15 |
| Gastos administrativos (10%cd) | | | | | 12,703.72 |
| Presupuesto total | | | | | 139,740.87 |

Nota. Elaboración propia.

6.2. *Contrastación de Hipótesis*

6.2.1. *Contrastación de hipótesis general.*

- La estimación de la profundidad de socavación será menor a 1.50 m en las pilas del puente del río Yuracyacu en Nueva Cajamarca.

A partir de los estudios topográficos, hidrológicos y modelación en el HEC-RAS, así como mediante el desarrollo de los modelos matemáticos Maza-Sánchez, Larras, Universidad Estatal de Colorado y Arunachalam, se ha logrado estimar la profundidad de socavación más representativa y precisa con el método de Universidad Estatal de Colorado, el cual arrojó para un período de retorno de 50 años un valor de 2.58 m y para un período de retorno de 500 años un valor de 2.74 m, prácticamente igual a lo obtenido en el software HEC-RAS. Por lo tanto, la hipótesis general se sobre cumplió,

debido a que la profundidad de socavación actual de las pilas del puente Yuracyacu, es mayor a la planteado.

6.2.2. Contrastación de hipótesis específicas

Hipótesis específica 1. El estudio de suelos permite obtener las características físicas y mecánicas del área de estudio y la planimetría será accidentada aguas arriba y aguas abajo del puente Yuracyacu.

- Respecto a la hipótesis específica 1, se obtuvo las características geotécnicas de las muestras de dos calicatas realizadas en el área de estudio, arrojando un tipo de suelo normal con arenas mal graduadas, con muestras medianamente compactas compuestas por un promedio de 42.58% de grava, 56.42% de arena y 1% de limo. Asimismo, se obtuvo las características geométricas con una pendiente topográfica plana. Por lo expuesto, la hipótesis se cumplió en su totalidad.

Hipótesis específica 2. El análisis de los cálculos hidrológicos e hidráulicos permitirán determinar la influencia de los máximos caudales del río para mitigar los daños que puedan producirse sobre el puente Yuracyacu.

- Respecto a la hipótesis específica 2. Los cálculos hidrológicos determinaron los parámetros morfométricos, de forma, de relieve y red hídrica, obteniéndose un área de la subcuenca 170.58 km² cuyo factor de forma de 0.21 la definió como estrecha, con una pendiente de cauce principal de 10.21% y una longitud de del río principal de 28.53 km. Se obtuvo los caudales máximos para cuatro períodos de retorno, entre los más representativos se tiene para 50 años un caudal 423.31 m³/s y para 500 años con un caudal de 679.20 m³/s, permitiendo realizar posteriormente la

propuesta de protección en los pilares del puente del río Yuracyacu. Por lo tanto, se considera el cumplimiento total de la hipótesis.

Hipótesis específica 3. La obra de protección permitirá controlar la socavación del pilar central del puente Yuracyacu.

- Respecto a la hipótesis específica 3. La obra de protección planteada del enrocado en pilares permitirá controlar la socavación del pilar central del puente Yuracyacu, con un bajo costo de S/. 71,581.16 (Setenta y un mil quinientos ochenta y uno con 16 /100 soles) y de fácil ejecución por encontrar el material cerca de la zona de estudio. Por lo expuesto, se justifica el cumplimiento en su totalidad de la hipótesis.

6.3. Conclusiones

- Se obtuvo las características geotécnicas de las muestras de dos calicatas ubicadas aguas arriba y aguas abajo del río, la clasificación de estas se realizó por las normas AASHTO, obteniendo un tipo de suelo normal con arenas mal graduadas, con un promedio de contenido de humedad de 10.43%. Se obtuvieron muestras medianamente compactas compuestas por un promedio de 42.58% de grava, 56.42% de arena y 1% de limo.
- El levantamiento topográfico del puente Yuracyacu permitió obtener las características geométricas, trazándose las secciones transversales, lo que determinó que la pendiente topográfica es plana, con un valor de 0.67%.
- Los cálculos hidrológicos se determinaron con una base de datos de 45 años (1978-2022) de la estación Naranjillo, que se encuentra dentro de la subcuenca Yuracyacu. Se calculó los parámetros morfométricos, de forma,

de relieve y red hídrica, obteniéndose un área de la subcuenca 170.58 km² cuyo factor de forma de 0.21 la definió como estrecha, con una pendiente de cauce principal de 10.21% y una longitud de del río principal de 28.53 km. Asimismo, se realizó el análisis estadístico donde la función de Pearson III resultó la función de mejor ajuste con la prueba Kolmogorov – Smirnov (k-s). Se obtuvieron las curvas IDF aplicando el modelo potencial de Aparicio (1992) y los hietogramas de frecuencia mediante el método de bloques alternos, lo que permitió obtener los caudales máximos para cuatro períodos de retorno: para 50 años un caudal 423.31 m³/s, para 100 años un caudal de 499.77 m³/s, para 200 años un caudal de 576.83 m³/s y para un tiempo de retorno de 500 años con un caudal de 679.20 m³/s.

- La socavación de las pilas del puente del río Yuracyacu, se determinó por cuatro métodos: Maza-Sánchez, Larras, Universidad Estatal de Colorado y Arunachalam, los cuales se compararon con el modelo numérico del HEC-RAS, obteniéndose la socavación más representativa y precisa con el método de Universidad Estatal de Colorado, el cual arrojó para un período de retorno de 50 años un valor de 2.58 m, para 100 años un valor de 2.65 m, para 200 años un valor de 2.70 m y para 500 años un valor de 2.74 m, prácticamente igual a lo obtenido en el software HEC-RAS, demostrando la similitud, exactitud y precisión entre ambos métodos para los cuatro períodos de retorno evaluados.
- Para contrarrestar la socavación de la pila central del río Yuracyacu, se propuso una obra de protección denominada enrocado que no reduce la sección del río, se adecua al costo y funcionabilidad del mismo, además es de fácil ejecución, por encontrar el material cerca de la zona, por lo que, la

primera propuesta se realizó para un período de retorno de 50 años cuya socavación asciende a 2.58 m, donde se propuso colocar rocas con diámetro de 65 cm. Asimismo, se consideró una vida útil de 100 años para el puente por haber transcurrido 49 años de su construcción.

- Se calculó la obra de protección para una vida útil de 51 años con un riesgo admisible de falla del 25%, obteniéndose un período de retorno de 200 años, siendo esta la propuesta dos que se realizó en este estudio para combatir la socavación de las pilas centrales del puente Yuracyacu, considerándose un diámetro de la roca de 1.20 m, para una socavación de 2.70 m.
- El presupuesto de ejecución de la propuesta del enrocado para un período de retorno de 50 años fue de S/. 71,581.16 (Setenta y un mil quinientos ochenta y uno con 16 /100 soles) y para un período de retorno de 200 años fue de S/. 101,772.85 (Ciento y un mil setecientos setenta y dos con 85/100 soles).

6.4. Recomendaciones

- Para los estudios de suelos se recomienda que los equipos e instrumentos de laboratorio deben utilizarse secos y limpios para desarrollar de forma correcta los ensayos y que proporcionen resultados adecuados.
- En relación a los estudios topográficos se recomienda que todo el equipamiento debe estar en buenas condiciones y calibrado para una mayor precisión, en tal sentido para futuros estudios se recomienda poder utilizar el dron.
- Se recomienda para futuras investigaciones, combinar los modelos hidráulicos físicos de campo y el software HEC-RAS en el análisis

hidráulico y de socavación, ya que este programa nos permite representar flujos de cauces naturales, incluyendo las estructuras establecidas y logrando una mayor precisión del modelo numérico, permitiendo determinar los caudales, las velocidades, tirantes y socavación entre otros parámetros.

- Se recomienda utilizar la ecuación numérica de la Universidad Estatal de Colorado por ser una ecuación que arroja valores muy similares a los del HEC-RAS de altura de socavación.
- Se recomienda realizar estudios detallados de capacidad portante del suelo donde se ubican los pilares del puente, las cimentaciones y realizar sondeos para el refuerzo de las cimentaciones en los pilares del puente Yuracyacu, empleando equipamiento de mayor precisión; así como también a las entidades correspondientes que realicen revisiones periódicas de la estructura para su mantenimiento respectivo.
- Se recomienda realizar estudios a profundidad del transporte de sedimentos a nivel de laboratorio y poderlo comparar para flujos unidimensionales con el programa HEC-RAS.
- Se recomienda para futuras investigaciones poder evaluar la propuesta de protección con muro de gavión caja en progresivas inundables 0+620 km, 0+611.90 km, 0+604 km y progresivas aguas abajo para prevenir las inundaciones a los sectores de Los Olivos, Monterrey, San Nicolas, Nueva Cajamarca I y II etapa, ante el incremento del caudal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agredo, A., Sarmiento, S., & Viviescas, A. (2016). Evaluación de la rigidez a flexión de puentes de viga y losa en concreto presforzado a partir de pruebas de carga. Caso de estudio: Puente La Parroquia vía La Renta- San Vicente de Chucurí. Revista UIS Ingenierías, 15(2), 145-159. Obtenido de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistauisingenierias/article/view/145-159/7424>
- Aguinaga, H. (2019). Estudio de la socavación en los estribos del puente Cascajal - Olmos ante máximas avenidas. Pimentel: Universidad Señor de Sipán.
- Aigues de Mataró. (27 de Marzo de 2023). El ciclo del agua. Obtenido de Aiguesmataro.com: <https://www.aiguesmataro.com/es/el-ciclo-del-agua>
- Alcántara, A., & Castro, A. (2021). Determinación de zonas inundables con HEC-RAS en zonas de la cordillera de los andes. Microcuenca del río Saraus - río la LLanga. Revista de investigación Fac. Minas Metal Ciencia y Geografía, 24(48), 181-187. doi:<https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.19852>
- ANA. (2017). Estudio hidrológico. Autoridad Nacional del Agua.
- Arias, J. (2020). Proyecto de tesis. Guía para la elaboración. Canadá: Universidad de Columbia Británica.
- Arias, J. (2021). Diseño y metodología de la investigación. Enfoques Consulting EIRL.
- Arriola, G., Bejarano, L., Arbulú, J., Coronado, O., & Sotomayor, G. (2017). Influencia del proceso de acorazamiento en la socavación de los pilares del puente Reque. Revista USS, 4(2), 1-15. Retrieved from <https://doi.org/10.26495/icti.v4i2.730>
- ASSHTO. (2022). Standard Method of Test for determining the Plastic Limit and Plasticity Index of Soils. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation. Obtenido de <https://standards.globalspec.com/standards/references?docId=14554262>
- Boiero, A. (23 de Marzo de 2023). Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS) en la Ingeniería Geotécnica. Obtenido de <https://geo-webonline.com/sistema-unificado-de-clasificacion-del-suelo/>
- Borja, M. (2016). Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo.
- Bowles, J. (2015). Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. California: McGraw - Hill. Obtenido de

<https://stehven.files.wordpress.com/2015/08/josephe-e-bowles-manual-de-laboratorio-de-suelos.pdf>

- Calvo, B. (2022). Estudio hidrológico e hidráulico para evaluar el impacto de amenazas hidrometeorológicas extremas en la gestión de las plantas hidroeléctricas Bijagua y Canalete ubicadas en la Cuenca de Río Zapote, Alajuela, Costa Rica. Universidad Nacional de Costa Rica. Obtenido de <https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/23348/Documento%20final%20Calvo-Siles.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Candebat, D., Godinaz, G., Caballero, L., & Rivera, Z. (2017). Influencia del suelo en el diseño sismoresistente de puentes en Cuba. *Revista RCI*, 7 (3): 25-34, 7(3), 25-34. Obtenido de rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/469
- Cañas, E. (2018). Estudio de la socavación local en pilas circulares de puentes en lechos no cohesivos con modelación física en laboratorio. Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito.
- Castelló, D. (2020). Elaboración del perfil longitudinal. Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/143685>
- Ccora, J. (2019). Proceso constructivo del puente tipo arco atirantado en la CC.NN Lagarto, distrito Palcazú- Pasco. Huancayo: Universidad Peruana de los Andes. Obtenido de <https://bit.ly/3tStpk4>
- Chirinos, F. (2017). Estudio de socavación de la subestructura de puente y análisis de estabilidad –caso puente Nicolás Dueñas de la ciudad de Lima en el 2017. Lima: Universidad César Vallejo.
- Clausi, M. (2020). Análisis de la Cuenca Hidrográfica del río Cosquín: evaluación del uso del bosque nativo en la localidad de Bialet Massé, Provincia de Córdoba (Argentina). Argentina: Universidad Nacional de la Plata. Obtenido de <https://bit.ly/3BdpB1c>
- Colegio de Ingenieros, D. P. (1998). Informe de Fenómeno del Niño. Perú.
- Duque, P., Patiño, D., & López, X. (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. *Información tecnológica*, 30(6), 351-362. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600351>
- Durán, L. (2021). Modelación numérica bidimensional de la socavación local en pilas de puente incluyendo efectos de flujo secundario. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

- Elvira, M., & Álvarez, G. (2021). Socavación en puentes: Evaluación, instrumentación y cálculo. Editorial Universidad del Cauca.
- Escuela técnica superior de ingeniería de Bilbao. (27 de Marzo de 2023). Metrología del acabado superficial. Obtenido de https://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/745_ca.pdf
- FAO. (2023). Consistencia del Suelo. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: [https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm#:~:text=L%C3%ADmite%20I%C3%ADquido%20\(LL\),consistencia%20pl%C3%A1stica%20a%20la%20I%C3%ADquida](https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm#:~:text=L%C3%ADmite%20I%C3%ADquido%20(LL),consistencia%20pl%C3%A1stica%20a%20la%20I%C3%ADquida).
- Fernández, C. L., & Rodríguez, Y. (2020). Influencia del coeficiente de rugosidad de Manning en las áreas de inundación del río Yanucay en Cuenca. Ingeniería hidráulica y ambiental, 41(1), 115-126. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v41n1/1680-0338-riha-41-01-115.pdf>
- Geosensori. (23 de 03 de 2023). O uso das curvas de nível. Obtenido de <https://www.geosensori.com.br/2019/05/20/curvas-de-nivel-ponto-crucial-em-um-projeto/>
- Guevara, E. (2015). Métodos para el análisis de variables hidrológicas y ambientales. Autoridad Nacional del Agua. Obtenido de <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3940/ANA0002522.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guevara, M. (2021). Socavación en puentes: evaluación, instrumentación y cálculo. Colombia: Biblioteca Nacional de Colombia. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=gExhEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=socavaci%C3%B3n+general+pdf&ots=wpuVQS3UR3&sig=Oi7hzF3VKXpMH_nLWu027ob2n7c#v=onepage&q=socavaci%C3%B3n%20general%20pdf&f=false
- Hernández, A., Arganis, M., Dominguez, R., Carrizosa, E., & Pavon, I. (2018). Hidrogramas de diseño obtenido con análisis de escurrimientos y de precipitaciones en cuencas de Mexico. XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, (p. 2). Buenos Aires.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw Hill.

- Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2018). Morfología de las cuencas hidrográficas. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia. Retrieved from <https://bit.ly/3eeyvT6>
- Jaramillo, P., & Reyes, J. (2020). Evaluación del efecto del paramento inclinado de pilares en la socavación local. *Tecnología y ciencias del agua*, 10 (5).
- Jiménez, G., Garzón, J., & Londoño, D. (2017). Introducción a la altimetría. Quindío: Universidad del Quindío.
- Koutsoyiannis, D. (2020). Revisiting the global hydrological cycle: is it intensifying? *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(8), 3899-39-32. doi:<https://doi.org/10.5194/hess-24-3899-2020>
- Kumar, M., Singh, R., Singh, A., Pravesh, R., Majid, S., & Tiwari, A. (2023). Referencing and Coordinate Systems in GIS. *Geographic Information Systems in Urban Planning and Management*, 25-46. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-19-7855-5_2
- LAS ENCINAS. (24 de 11 de 2022). [ieslasencinas.org](https://bit.ly/3icYfBv). Obtenido de <https://bit.ly/3icYfBv>
- Mantilla, F. (2019). Identificación de áreas inundables mediante modelamiento hidráulico de la quebrada Chinchinmarca - Sector 24 (Villa huacariz) - Cajamarca. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <https://bit.ly/3PoyBVi>
- Márquez, F. (2017). Topografía: planimetría, agrimensura, altimetría.
- Martínez, M., Lana, X., Serra, C., Rodríguez, R., Roca, J., & Arellano, B. B. (2019). Episodios de intensidad extrema de precipitación en Barcelona: riesgo de inundaciones súbitas. *International conference Virtual City and Territory* (p. 107). Barcelona: Universidad Politecnica de Catalunya. Retrieved from <http://revistes.upc.edu/index.php/CTV/article/view/8315>
- Matovalle, C. (2021). Analisis de la influencia de la altitud en los eventos de máxima precipitación en una cuenca del Pacífico: Tendencias y variabilidad. *Informacion tecnológica*, 3-12. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642021000600003&script=sci_arttext&tlng=en
- Meza, M., Rodríguez, A., Corvacho, O., & Tapia, A. (2014). Análisis morfométrico de microcuencas afectadas por flujos de detritos bajo precipitación intensa en la

- quebrada de Camiña, Norte Grande de Chile. *Dialogo andino*(44). Retrieved from <https://bit.ly/3pj0zXO>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2011). *Curso de Formulación y Evaluación en PIP del sector Saneamiento*. Lima: Ministerio de Economía y Finanzas. Obtenido de https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/capacidades/capac/Aspectos_Tecnicos_Saneamiento.pdf
- Moncada, A. (2018). Estudio comparativo de ecuaciones que predicen la socavación local en pilas de puentes con datos de campo y laboratorio. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 39(2), 125-135. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5075/507557606003/>
- Moncada, A., Aguirre, J., & Moncada, M. (2017). Reduction of scour around circular piers. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 38(1), 3-11. Retrieved from http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702015000100002&lng=es&nrm=iso
- Moreira et al. (2020). Manejo integrado de cuencas hidrográficas: posibilidades y avances en los análisis de uso y cobertura de la tierra. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 69-85. doi:<https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.76232>.
- MTC. (2012). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima: Ministerio de Transportes y comunicaciones.
- MTC. (2012). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima: Ministerio de transportes y comunicaciones. Obtenido de <https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2011/Octubre/10/RD-20-2011-MTC-14.pdf>
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima: Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- MTC. (2016). *Manual de Puentes*. Lima: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- MTC. (2018). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Obtenido de <https://bit.ly/3GBGrdo>

- MTC. (2018). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Lima: Ministerio de transporte y comunicaciones.
- MTC. (2018). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Lima: Ministerio de transporte y comunicaciones.
- MTC. (2018). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Lima: Ministerio de transporte y comunicaciones.
- Muñoz, D. (2011). Ingeniería de Puentes Tomo I: Reseña histórica, tipología, diagnóstico y recuperación. Tomo II: Colapso, inspección especial, socavación, vulnerabilidad sísmica y capacidad de carga. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Obtenido de <https://bit.ly/3V7c172>
- Muñoz, E., & Valbuena, E. (2004). Evaluación de los puentes de acero de la red vial nacional de Colombia. Boletín Técnico, 42(3), 1-32. Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723X2004000300001
- MVCS. (2006). Consideraciones Básicas de Diseño de Infraestructura Sanitaria. Lima: Normas Legales. Obtenido de <https://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>
- Nureña, D., & Vásquez, W. (2020). Identificación de áreas inundables mediante modelamiento hidráulico del Río Moche, tramo Puente Moche - desembocadura playa Buenos Aires, Trujillo-2019. Universidad Cesar Vallejo.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población de estudio. International Journal of Morphology, 35(1), 227-232.
- Peñaloza, F., Caamaño, D., & Villagrán, M. (2017). Estudio comparativo de métodos de cálculo de socavación local en una cepa circular en río de lecho arenoso. Universidad Católica de la Santísima Concepción. Retrieved from <http://repositoriodigital.ucsc.cl/handle/25022009/1427>
- Peralta, J., Cordero, M., & Jaramilo, J. (2020). Topografía I. Alicante: Area de innovación y desarrollo, S.L. doi:<https://doi.org/10.17993/CcyLI.2020.34>
- Pinto, A., & Torres, R. (2015). Incidencia de la norma AASHTO LRFD bridge design specifications en el análisis y diseño de tableros de puentes de concreto reforzado. Revista Ciencia e Ingeniería, 36(3), 131-140. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507550629002>
- Pro Vías Nacional. (2020). Programa Nacional de Puentes 2012 - 2020. Ministerio de Transportes y Comunicaciones .

- Rahardjo, H., Kim, Y., & Satyanaga. (2019). Role of unassaturated soil mechanics. International Journal of Geo - Engineering.
- Reyes, C., & Reyes, J. (2020). Determinación de la socavación para las pilas del puente localizado en el Municipio de Ríosucio Caldas. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24573>
- Rincon, J., Pérez, M., Delfin, G., Freitez, C., & Martínez, F. (2017). Comparative Analysis between HEC-RAS models and IBER in the Hydraulic Assessment of bridges. Revista Gaceta Técnica.
- Rivasplata, L. (2019). Generación de escorrentía superficial a partir de información climática en la cuenca de la quebrada Huertas - Chilete, Cajamarca. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <https://bit.ly/3dzSBah>
- Rodriguez, A. (2020). Puentes. Con AASHTO LRFD 2017.
- Silva, A., & Martins, C. (2020). Mechanical behavior of dowel connection for timber-concrete composite rural bridges. Revista Maderas. Ciencia y tecnología, 22(1), 69-82. doi:dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000107
- Socavación en puentes. (2014). Colombia: Universidad de Cauca. Obtenido de <https://www.yumpu.com/es/document/read/24188066/t-tipos-de-socavacion-universidad-del-cauca>
- Sociedad geográfica de Lima. (2011). ¿Que es una cuenca hidrográfica? Lima: Global Water Partnership. Obtenido de <https://bit.ly/2GZghjl>
- Toapaxi, J., Galiano, L., Castro, M., Hidalgo, X., & Valencia, N. (2017). Análisis de la socavación en cauces naturales. Revista Politécnica, 35(3), 83-83. Retrieved from https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/368
- Torres, L. (2019). Análisis experimental de la socavación local en pilas de sección circular en puentes. Modelo en laboratorio. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Vizcarra, J. (2019). Topografía I. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín. Obtenido de <https://bit.ly/3C7Jho5>
- Wolf, P., & Ghilani, C. (2018). Topografía. Wisconsin: Alfaomega. Obtenido de <https://bit.ly/3AjuUM9>

- Yang, D., Yang, Y., & Xia, J. (2021). Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and Sustainability*, 2(2), 115-122. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.003>
- Zhang, C., Yan, Q., & Zhao, J. (2020). Formulation of ultimate bearing capacity for strip foundations based on the Meyerhof theory and unsaturated soil mechanics. *Computers and Geotechnics*, 126, 103734.

ANEXOS

Anexo 1. Cronograma de actividades de la investigación.

Figura 86

Cronograma de actividades realizadas durante la investigación.

| N° | Descripción de actividades | 2023 | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-----------|---------|-----------|-----------|---|--|---|---|
| | | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Setiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | | | | |
| 1 | Desarrollo de la Investigación | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Búsqueda de información y recopilación de datos | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Planteamiento del Problema | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Marco Teórico | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Hipótesis y Variables de la Investigación | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| 6 | Diseño de la Investigación | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 7 | Trabajo de campo | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| 8 | Ensayos de laboratorio | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | |
| 9 | Procesamiento de datos | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | |
| 10 | Análisis de datos | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 11 | Obtención de resultados | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | | |
| 12 | Propuesta de diseño | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | | |
| 13 | Resultados y Discusión | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | |
| 14 | Conclusiones y Recomendaciones | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| 15 | Referencias bibliográficas | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| 16 | Anexos | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| 17 | Revisión de la investigación | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| 18 | Levantamiento de observaciones | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| 19 | Revisión final | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |

Nota. Elaboración propia.

ANEXO 2. Presupuesto estimado de la investigación**Tabla 41***Detalle de presupuesto incurrido durante la investigación.*

| Detalle de presupuesto | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|--------|----------|----------------|-----------------|
| N° | Descripción | Und | Cantidad | Costo Unitario | Subtotal |
| 1 | Material Bibliográfico | Glb | 4 | 80.00 | 320.00 |
| 2 | Materiales e insumos | | | | 88.00 |
| 2.1 | Lapicero | Und | 5 | 1.00 | 5.00 |
| 2.2 | Papel Bond | Millar | 1 | 28.00 | 28.00 |
| 2.3 | Libreta de campo | Und | 1 | 5.00 | 5.00 |
| 2.4 | Otros | Glb | 1 | 50.00 | 50.00 |
| 3 | Servicios | | | | 441.00 |
| 3.1 | Impresión | Mes | 500 | 0.50 | 250.00 |
| 3.2 | Instalación de software | Und | 2 | 20.00 | 40.00 |
| 3.3 | Ploteos | Und | 5 | 15.00 | 75.00 |
| 3.4 | Transporte | Glb | 1 | 76.00 | 76.00 |
| 4 | Equipos e instrumentos | | | | 508.50 |
| 4.1 | Estación Total | Glb | 1 | 500.00 | 500.00 |
| 4.2 | Spray | Und | 1 | 5.00 | 5.00 |
| 4.3 | Clavos | Kg | 1 | 3.50 | 3.50 |
| 5 | Estudio de suelos | | | | 1,450.00 |
| 5.1 | Calicatas | Glb | 2 | 500.00 | 1,000.00 |
| 5.2 | Ensayos de laboratorio | Glb | 1 | 450.00 | 450.00 |
| 6 | Recursos Humanos | | | | 1,740.00 |
| 6.1 | Personal para campo | Und | 3 | 80.00 | 240.00 |
| 6.2 | Asesoramiento | Glb | 1 | 1500.00 | 1,500.00 |
| | TOTAL | | | | 4,547.50 |

Nota. Elaboración propia.

Anexo 3. Matriz de consistencia de la investigación

Tabla 42

Matriz de consistencia de la investigación.

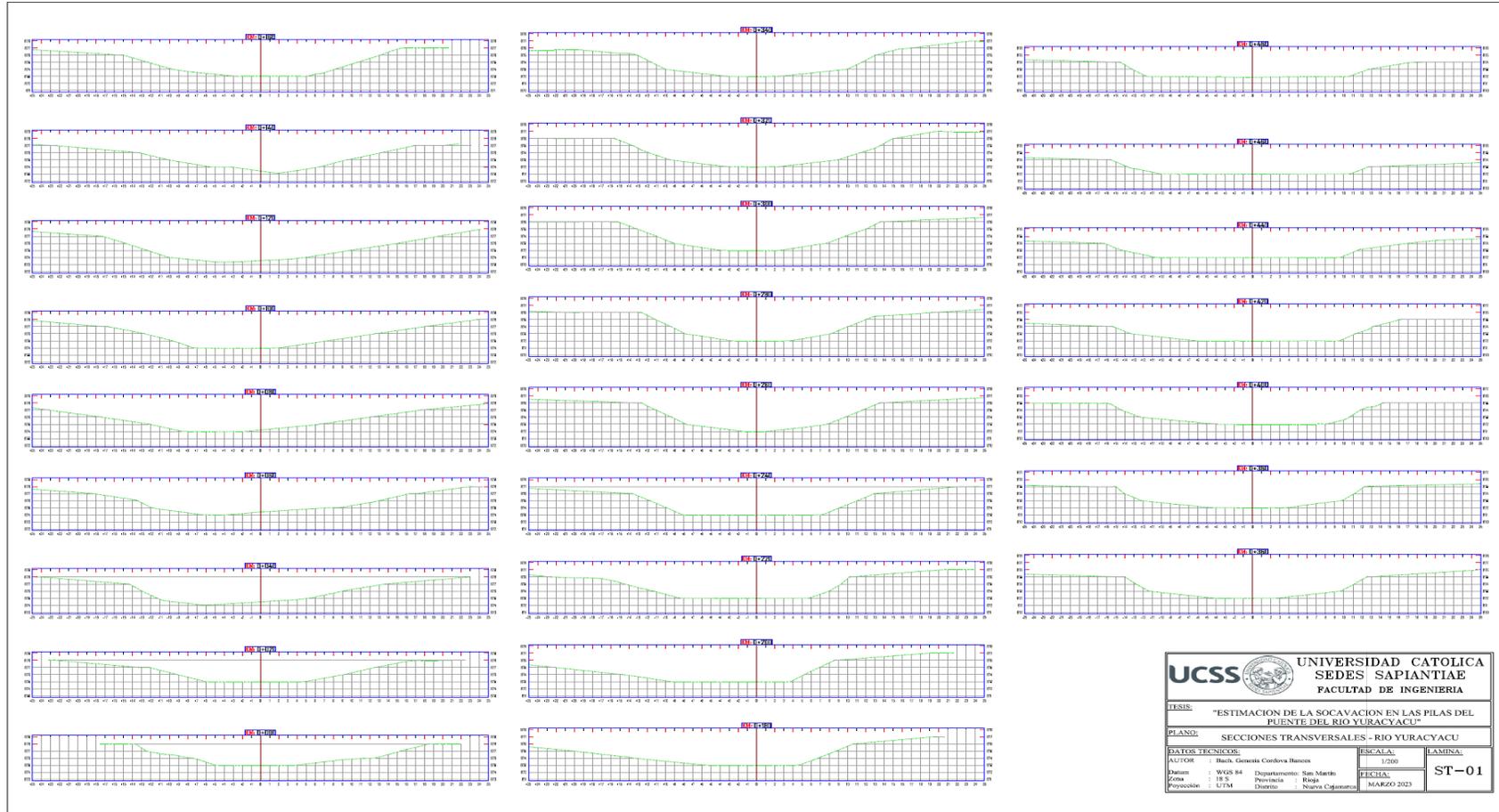
| Problema General | Objetivo General | Hipótesis General | Metodología |
|---|--|--|--|
| ¿Cuál es el nivel de socavación en las pilas del puente del Río Yuracyacu en Nueva Cajamarca? | Estimar la socavación en las pilas del puente del Río Yuracyacu en Nueva Cajamarca | Se estimará la profundidad de socavación, la cual es menor a 1.50 m en las pilas del puente del Río Yuracyacu en Nueva Cajamarca. | <p>Tipo de investigación: Aplicada con enfoque cuantitativo</p> <p>Enfoque de investigación: Cuantitativo</p> <p>Método de investigación: Método científico.</p> <p>Alcance de investigación: Descriptivo</p> <p>Población: Puentes en Nueva Cajamarca</p> <p>Muestra: Pilas de puente del Río Yuracyacu en Nueva Cajamarca.</p> |
| Problemas específicos | Objetivos específicos | Hipótesis específicas | |
| ¿Cuáles son las características geotécnicas y topográficas aguas arriba y abajo del puente Yuracyacu? | Realizar un estudio de suelos y levantamiento topográfico aguas arriba y abajo del puente Yuracyacu. | El estudio de suelos permitirá obtener las características físicas y mecánicas del área de estudio y la topografía se realizará aguas arriba y aguas abajo del puente Yuracyacu. | |
| ¿Cuáles son las condiciones hidrológicas e hidráulicas del cauce que recorre el puente Yuracyacu? | Determinar los cálculos hidrológicos e hidráulicos y sus posibles influencias en la socavación de las pilas del puente Yuracyacu, mediante los modelos matemáticos Maza-Sánchez, Larras, Universidad Estatal de Colorado y Arunachalam y el HEC-RAS. | El análisis de los cálculos hidrológicos e hidráulicos permitirán determinar su influencia de los máximos caudales del río para mitigar los daños que puedan producirse sobre el puente Yuracyacu. | |
| ¿Qué medidas de protección es necesaria implementar en las pilas del puente Yuracyacu? | Proponer una obra de protección para controlar el problema de socavación en las pilas del puente Yuracyacu. | La obra de protección permitirá controlar la socavación del pilar central del puente Yuracyacu. | |

Nota: Elaboración propia

Anexo 4. Resultados de la topografía – secciones transversales

Figura 87

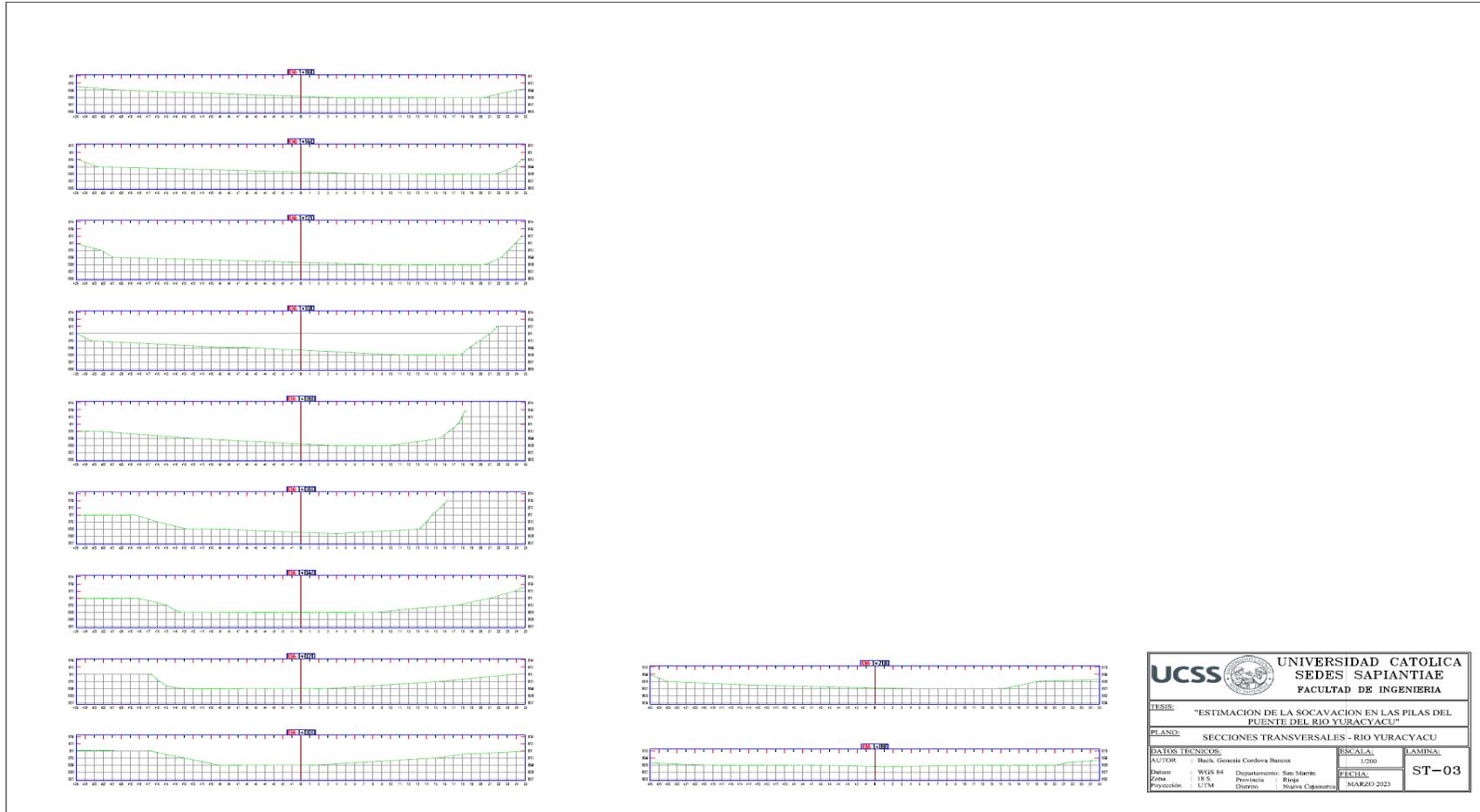
Secciones transversales desde el km 0+00 al km 0+480.



| | | | |
|---|---------------------------------|--|---------|
| UCSS | | UNIVERSIDAD CATOLICA SEDES SAPIENTIAE FACULTAD DE INGENIERIA | |
| TESIS: "ESTIMACION DE LA SOCAVACION EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RIO YURACYACU" | | | |
| PLANO: SECCIONES TRANSVERSALES - RIO YURACYACU | | | |
| DATOS TECNICOS: | | ESCALA: | LAMINA: |
| AUTOR : | Bach. Giovanni Cordova Bances | 1/200 | ST-01 |
| Estado : | WVS-04 Departamento: San Martín | FECHA: | |
| Zona : | 18 S Provincia: Huánuco | MARZO 2023 | |
| Proyección : | UTM Distrito: Nueva Cajamarca | | |

Nota: Elaboración propia

Figura 89
 Secciones transversales desde el km 1+000 al km 1+200.



| | | | | |
|---|-----------------------------|--|-------------------|-----------------|
| UCSS | | UNIVERSIDAD CATOLICA SEDES SAPIANTIAE FACULTAD DE INGENIERIA | | |
| TESIS: "ESTIMACION DE LA SOCAVACION EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RIO YURACYACU" | | | | |
| PLANO: SECCIONES TRANSVERSALES - RIO YURACYACU | | | | |
| DATOS TECNICOS: | | ESCALA: | LAMINA: | |
| AUTOR : | Bach. Genesis Cordova Bunco | 1/200 | ST-03 | |
| Datum : | WGS 84 | Departamento: | | San Martín |
| Zona : | 11 S | Provincia : | | Rioja |
| Proyección : | UTM | Duero : | | Nueva Cajamarca |
| | | | FECHA: MARZO 2023 | |

Nota: Elaboración propia.

Anexo 5. Certificado de calibración

Figura 90

Certificado de calibración de equipo para estudios de topografía.



DHAYI
AMPLIANDO HORIZONTES EN TOPOGRAFIA Y GEODESIA

VENTA - ALQUILER - REPARACIÓN - MANTENIMIENTO
DE EQUIPOS TOPOGRÁFICOS, GEODÉSICOS Y
DE EXPLORACIÓN



SOUTH
Target your success

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Mant. General Reparación Calibración Garantía Nuevo

Nº **3871**

CLIENTE : CONSTRUCTORA INMOBILIARIA RB S.A.C

EQUIPO : **Estacion Total**
 MARCA : SOUTH
 MODELO : NTS-362R6
 Nº SERIE : T265513
 CODIGO INTERNO : -----

FECHA DE CALIBRACION : 15 de diciembre de 2022
 FECHA DE VENCIMIENTO : 15 de junio de 2023

DHAYI S.A.C. Certifica que el equipo topografico arriba descrito cumple con las especificaciones tecnicas de fabrica y los standares internacionales establecidos (DIN 18723)

EQUIPO DE CALIBRACION UTILIZADO

| EQUIPO/MODELO | MARCA | MODELO | SERIE |
|-----------------------|-------|--------|--------|
| SET COLIMADORES NCS-1 | SOUTH | NCS-1 | 282107 |

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION

Por medio del cierre angular en directa y en transito con el enfoque al infinito a través de un set de Colimadores.

RESULTADOS :

| ANGULOS | VALOR DEL PATRON | VALOR LEIDO EN EL INSTRUMENTO | ERROR | INCERTIDUMBRE |
|------------|------------------|-------------------------------|-------|---------------|
| VERTICAL | 90°00'00" | 90°00'00" | 0" | ± 7" |
| HORIZONTAL | 00°00'00" | 180°00'00" | 0" | ± 7" |

CERTIFICADO POR :

Yitzhak Castillo A.
Técnico

FIRMA :



FECHA DE EMISION :

15-dic-22



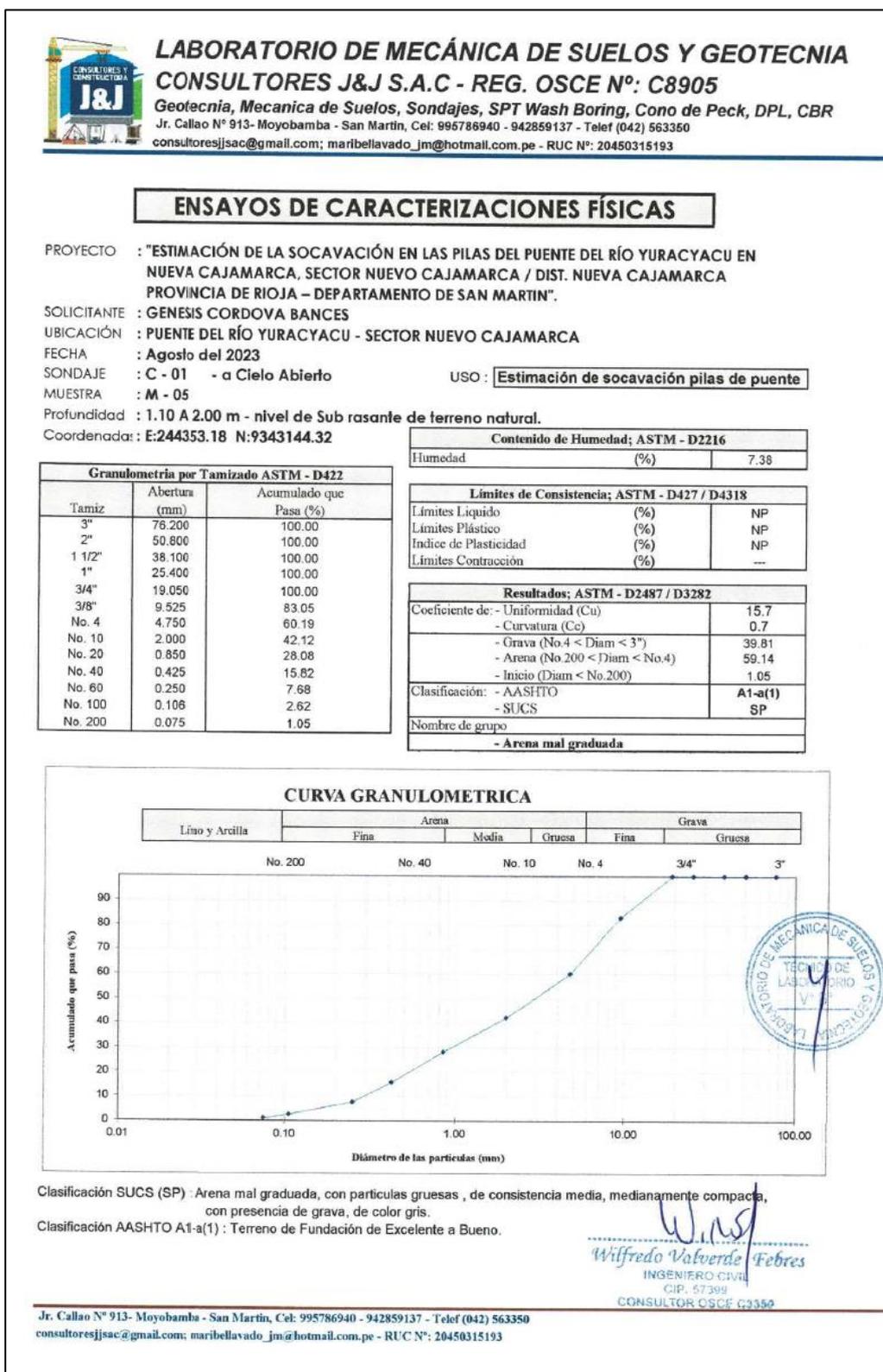



Nota. Informe de estudios de suelos.

Anexo 6. Resultados de estudio de suelos

Figura 91

Características físicas- Calicata 1.



Nota. Informe de estudios de suelos.

Figura 92**Contenido de humedad del suelo- Calicata 1.**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA
CONSULTORES J&J S.A.C - REG. OSCE N°: C8905
Geotecnia, Mecánica de Suelos, Sondajes, SPT Wash Boring, Cono de Peck, DPL
 Jr. Callao N° 913- Moyobamba - San Martín, Cel: 942859137 - Telef (042) 342727 - RPM *764224 ; cel. #995786940
 email: consultoresjjsac@gmail.com, maribellavado_jm@hotmail.com.pe - RUC N°: 20450315193

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RÍO YURACYACU EN NUEVA CAJAMARCA. SECTOR NUEVO CAJAMARCA / DIST. NUEVA CAJAMARCA. PROVINCIA DE RIOJA – DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN".

SOLICITANTE : GENESIS CORDOVA BANCES

UBICACIÓN : PUENTE DEL RÍO YURACYACU - SECTOR NUEVO CAJAMARCA.

FECHA : Agosto del 2023

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO
(MTC E - 108)

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : MATERIAL EXTRAIDO - CALICATA 01 / MUESTRA 05 (PROF. 2.00 MTS.)

USO DEL MATERIAL : PARA ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN EN LAS PILAS DE PUENTE

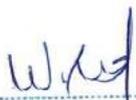
CANTIDAD : 2 Kg. aprox.

| Humedad (ASTM - D2216) | | | | |
|--------------------------|-----|-------|-------|-------|
| No. Tara | | T-10 | T-11 | T-12 |
| Peso Tara | (g) | 13.51 | 13.50 | 13.49 |
| Peso Tara + Suelo Húmedo | (g) | 75.73 | 75.75 | 75.77 |
| Peso Tara + Suelo Seco | (g) | 71.60 | 71.48 | 71.33 |
| Peso del Agua | (g) | 4.13 | 4.27 | 4.44 |
| Peso del Suelo Seco | (g) | 58.09 | 57.98 | 57.84 |
| Humedad | (%) | 7.11 | 7.36 | 7.68 |
| Humedad Promedio | (%) | 7.38 | | |

| MUESTRA | CONTENIDO DE HUMEDAD (%) |
|-------------------------|--------------------------|
| ARENA MAL GRADUADA (SP) | 7.38 |

NOTA : El ensayo fué elaborado teniendo en cuenta y respetando los procedimientos del Manual de Ensayo de Materiales del MTC vigente, norma MTC E - 108 (ASTM D 2216).





Wilfredo Valverde Febres
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 57389
 CONSULTOR OSCE C3350

Jr. Callao N° 913- Moyobamba - San Martín, Cel: 942859137 - Telef (042) 342727 - RPM *764224 ; cel. 995786940 - maribellavado_jm@hotmail.com.pe - RUC N°: 20450315193.

Nota. Informe de estudios de suelos.

Figura 93**Peso específico- Calicata 1.**



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA
CONSULTORES J&J S.A.C - REG. OSCE N°: C8905
Geotecnia, Mecánica de Suelos, Sondajes, SPT Wash Boring, Cono de Peck, DPL
 Jr. Callao N° 913- Moyobamba - San Martín, Cel: 942859137 - Telef (042) 342727 - RPM *764224 ; cel. #995786940
 email: consultoresjjsac@gmail.com, maribellavado_jm@hotmail.com.pe - RUC N°: 20450315193

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RÍO YURACYACU EN NUEVA CAJAMARCA, SECTOR NUEVO CAJAMARCA / DIST. NUEVA CAJAMARCA PROVINCIA DE RIOJA – DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN".

SOLICITANTE : GENESIS CORDOVA BANCES

UBICACIÓN : PUENTE DEL RÍO YURACYACU - SECTOR NUEVO CAJAMARCA

FECHA : Agosto del 2023

ENSAYO DE PESO ESPECIFICO
(MTC E 205)

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : MATERIAL EXTRAIDO - CALICATA 01 / MUESTRA 05 (PROF. 2.00 MTS.)

USO DEL MATERIAL : PARA ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN EN LAS PILAS DE PUENTE

CANTIDAD : 2 Kg. aprox.

| DATOS PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO (N° 4<FINOS>N°200) | |
|---|-------|
| Peso del Suelo Seco SSS, g | 101.3 |
| Peso de frasco + agua w, g | 671.1 |
| Peso de frasco + agua + Agregado Fino SSS, g | 713.1 |
| Temperatura en T° C. | 25.1 |
| Peso del volumen desplazado, g | 59.3 |
| PESO ESPECÍFICO (g/cm3) | 1.707 |

| MUESTRA | PESO ESPECÍFICO (g/cm3) |
|-------------------------|-------------------------|
| ARENA MAL GRADUADA (SP) | 1.71 |



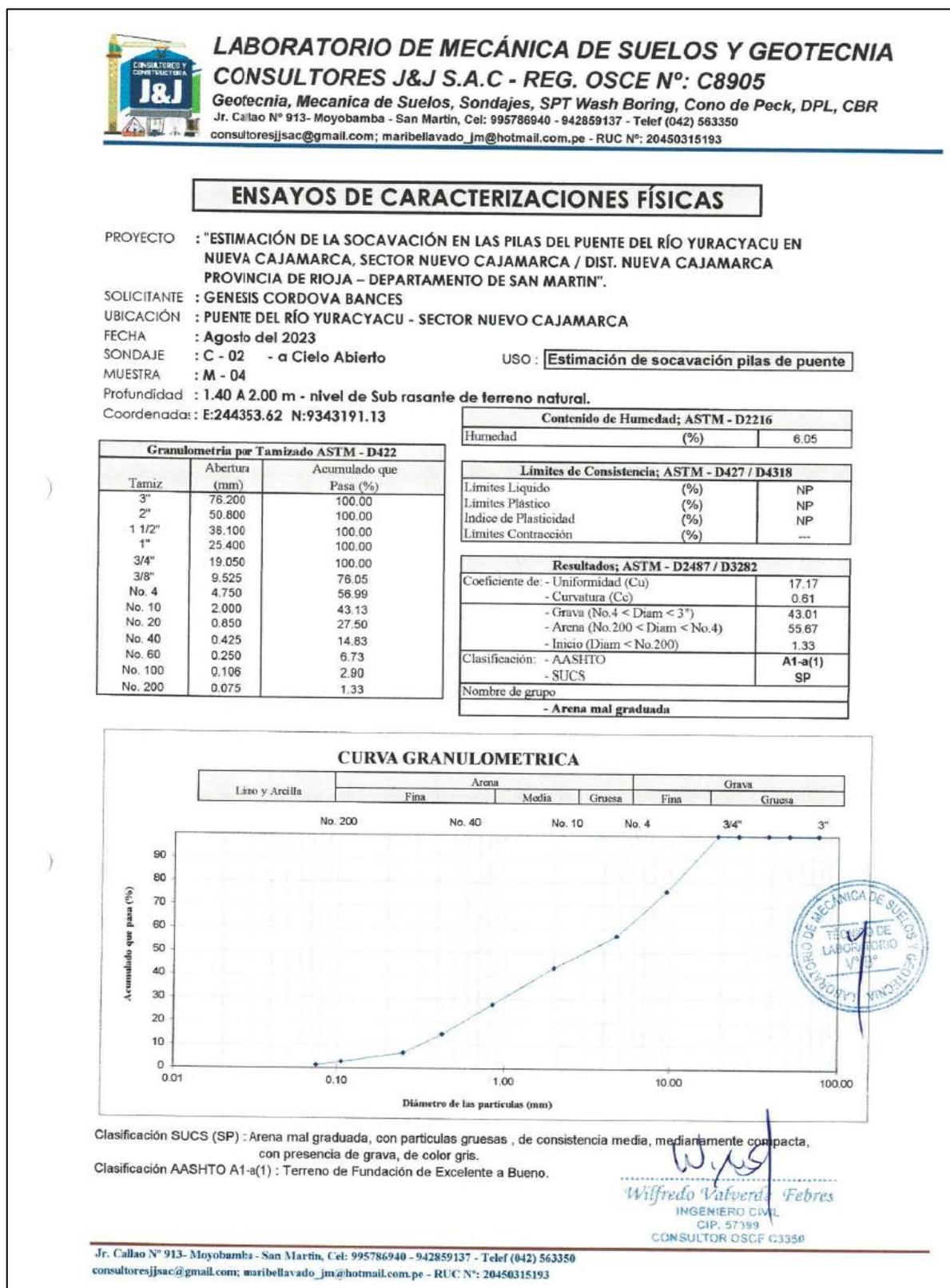


Wilfredo Valverde Febres
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 57399
 CONSULTOR OSCE C3350

Jr. Callao N° 913- Moyobamba - San Martín, Cel: 942859137 - Telef (042) 342727 - RPM *764224 ; cel. 995786940 - maribellavado_jm@hotmail.com.pe - RUC N°: 20450315193.

Nota. Informe de estudios de suelos.

Figura 94
Características físicas- Calicata 2.



Nota. Informe de estudios de suelos.

Figura 95
Contenido de humedad del suelo- Calicata 2.



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA
CONSULTORES J&J S.A.C - REG. OSCE N°: C8905
Geotecnia, Mecánica de Suelos, Sondajes, SPT Wash Boring, Cono de Peck, DPL
 Jr. Callao N° 913- Moyobamba - San Martín, Cel: 942859137 - Telef (042) 342727 - RPM *764224 ; cel. #995786940
 email: consultoresjjsac@gmail.com, maribellavado_jm@hotmail.com.pe - RUC N°: 20450315193

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : "ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RÍO YURACYACU EN NUEVA CAJAMARCA, SECTOR NUEVO CAJAMARCA / DIST. NUEVA CAJAMARCA PROVINCIA DE RIOJA – DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN".

SOLICITANTE : GENESIS CORDOVA BANCES

UBICACIÓN : PUENTE DEL RÍO YURACYACU - SECTOR NUEVO CAJAMARCA

FECHA : Agosto del 2023

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO
(MTC E - 108)

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : MATERIAL EXTRAIDO - CALICATA 02 / MUESTRA 04 (PROF. 2.00 MTS.)

USO DEL MATERIAL : PARA ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN EN LAS PILAS DE PUENTE

CANTIDAD : 2 Kg. aprox.

| Humedad (ASTM - D2216) | | | | |
|--------------------------|-----|-------|-------|-------|
| No. Tara | | T-07 | T-08 | T-09 |
| Peso Tara | (g) | 13.36 | 13.42 | 13.33 |
| Peso Tara + Suelo Húmedo | (g) | 74.73 | 74.65 | 74.83 |
| Peso Tara + Suelo Seco | (g) | 71.30 | 71.28 | 71.12 |
| Peso del Agua | (g) | 3.43 | 3.37 | 3.71 |
| Peso del Suelo Seco | (g) | 57.94 | 57.86 | 57.79 |
| Humedad | (%) | 5.92 | 5.82 | 6.42 |
| Humedad Promedio | (%) | 6.05 | | |

| MUESTRA | CONTENIDO DE HUMEDAD (%) |
|-------------------------|--------------------------|
| ARENA MAL GRADUADA (SP) | 6.05 |

NOTA : El ensayo fué elaborado teniendo en cuenta y respetando los procedimientos del Manual de Ensayo de Materiales del MTC vigente, norma MTC E - 108 (ASTM D 2216).



W. V.

Wilfredo Valverde Febres
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 57399
 CONSULTOR OSCE C3350

Jr. Callao N° 913- Moyobamba - San Martín, Cel: 942859137 - Telef (042) 342727 - RPM *764224 ; cel. 995786940 - maribellavado_jm@hotmail.com.pe - RUC N°: 20450315193.

Nota. Informe de estudios de suelos.

Figura 96
Peso específico- Calicata 2.



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA
CONSULTORES J&J S.A.C - REG. OSCE N°: C8905
Geotecnia, Mecánica de Suelos, Sondajes, SPT Wash Boring, Cono de Peck, DPL
 Jr. Callao N° 913- Moyobamba - San Martín, Cel: 942859137 - Telef (042) 342727 - RPM *764224 ; cel. #995786940
 email: consultoresjjsac@gmail.com, maribellavado_jm@hotmail.com.pe - RUC N°: 20450315193

INFORME DE ENSAYO

PROYECTO : ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RÍO YURACYACU EN NUEVA CAJAMARCA, SECTOR NUEVO CAJAMARCA / DIST. NUEVA CAJAMARCA, PROVINCIA DE RIOJA – DEPARTAMENTO DE SAN MARTÍN.

SOLICITANTE : GENESIS CORDOVA BANCES

UBICACIÓN : PUENTE DEL RÍO YURACYACU - SECTOR NUEVO CAJAMARCA

FECHA : Agosto del 2023

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO
(MTC E 205)

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA : MATERIAL EXTRAIDO - CALICATA 02 / MUESTRA 04 (PROF. 2.00 MTS.)

USO DEL MATERIAL : PARA ESTIMACIÓN DE LA SOCAVACIÓN EN LAS PILAS DE PUENTE

CANTIDAD : 2 Kg. aprox.

| DATOS PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO (N° 4<FINOS>N°200) | |
|---|-------|
| Peso del Suelo Seco SSS, g | 100.2 |
| Peso de frasco + agua w, g | 651.2 |
| Peso de frasco + agua + Agregado Fino SSS, g | 697.1 |
| Temperatura en T° C. | 25.2 |
| Peso del volumen desplazado, g | 54.3 |
| PESO ESPECÍFICO (g/cm ³) | 1.845 |

| MUESTRA | PESO ESPECÍFICO (g/cm ³) |
|-------------------------|--------------------------------------|
| ARENA MAL GRADUADA (SP) | 1.85 |





Wilfredo Valverde Febres
INGENIERO CIVIL
CIP. 57369
CONSULTOR OSCE C3359

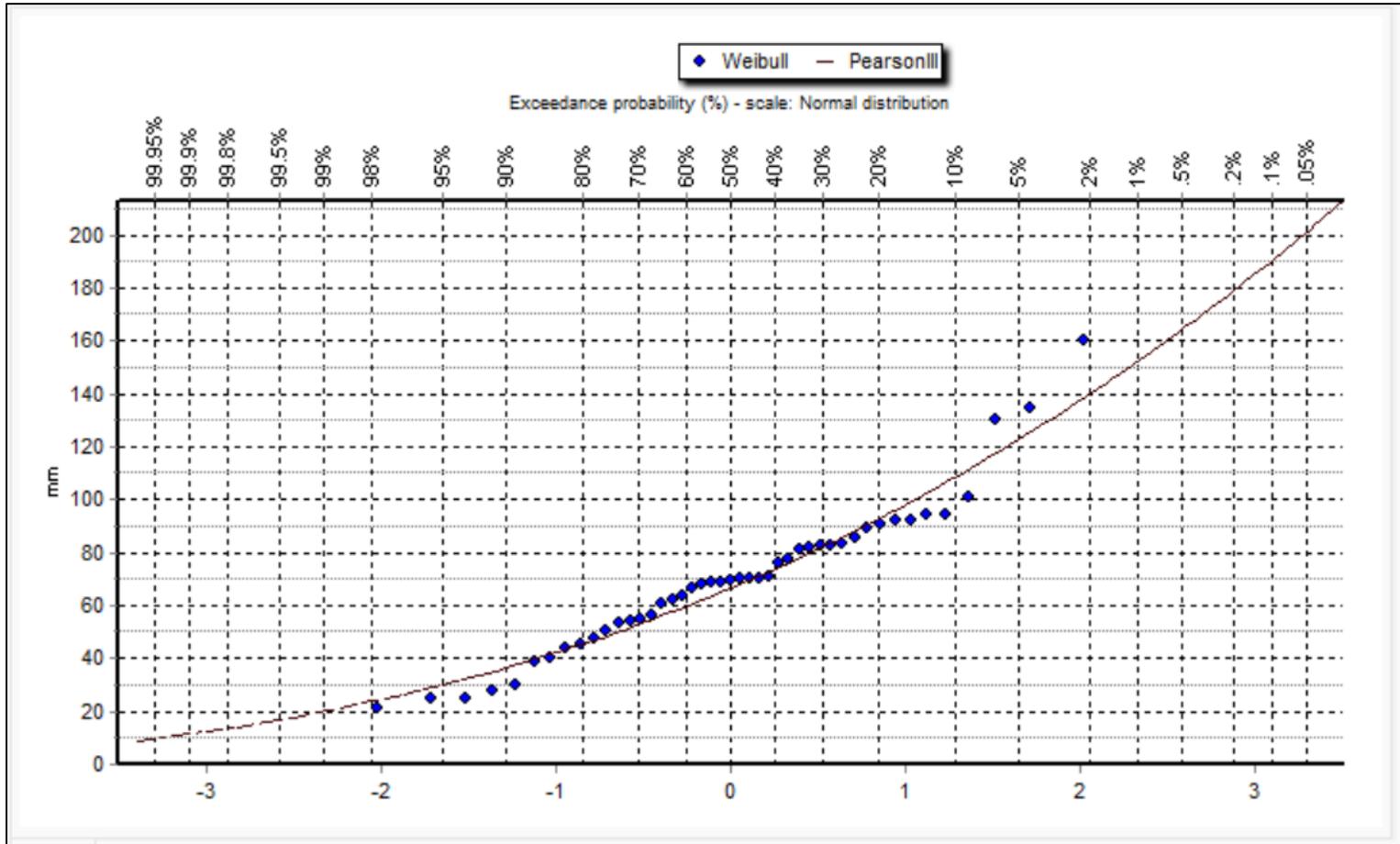
Jr. Callao N° 913- Moyobamba - San Martín, Cel: 942859137 - Telef (042) 342727 - RPM *764224 ; cel. 995786940 - maribellavado_jm@hotmail.com.pe - RUC N°: 20450315193.

Nota. Informe de estudios de suelos.

Anexo 7. Cálculos Hidrológicos

Figura 97

Distribución Pearson III como función de mejor ajuste de la estación Naranjillo



Nota. Elaboración propia.

Anexo 8. Modelo Potencial Aparicio

Tabla 43

Coefficientes de la ecuación lineal múltiple del Modelo Potencial Aparicio (1992).

| No | I (mm/mi n) | T (año s) | D (mi n) | y = log (I) | X ₁ = log (T) | X ₂ = log (D) | No | y | X ₁ | X ₂ | y ² | X ₁ ² | X ₂ ² | y.X ₁ | y.X ₂ | X ₁ .X ₂ |
|----|-------------------|-----------------|----------------|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|----|------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|
| 1 | 460.50 | 50 | 5 | 2.66 | 1.70 | 0.70 | 1 | 2.66 | 1.70 | 0.70 | 7.09 | 2.89 | 0.49 | 4.52 | 1.86 | 1.19 |
| 2 | 273.81 | 50 | 10 | 2.44 | 1.70 | 1.00 | 2 | 2.44 | 1.70 | 1.00 | 5.94 | 2.89 | 1.00 | 4.14 | 2.44 | 1.70 |
| 3 | 202.02 | 50 | 15 | 2.31 | 1.70 | 1.18 | 3 | 2.31 | 1.70 | 1.18 | 5.31 | 2.89 | 1.38 | 3.92 | 2.71 | 2.00 |
| 4 | 162.81 | 50 | 20 | 2.21 | 1.70 | 1.30 | 4 | 2.21 | 1.70 | 1.30 | 4.89 | 2.89 | 1.69 | 3.76 | 2.88 | 2.21 |
| 5 | 65.43 | 50 | 25 | 1.82 | 1.70 | 1.40 | 5 | 1.82 | 1.70 | 1.40 | 3.30 | 2.89 | 1.95 | 3.09 | 2.54 | 2.38 |
| 6 | 57.07 | 50 | 30 | 1.76 | 1.70 | 1.48 | 6 | 1.76 | 1.70 | 1.48 | 3.09 | 2.89 | 2.18 | 2.98 | 2.59 | 2.51 |
| 7 | 71.42 | 50 | 60 | 1.85 | 1.70 | 1.78 | 7 | 1.85 | 1.70 | 1.78 | 3.44 | 2.89 | 3.16 | 3.15 | 3.30 | 3.02 |
| 8 | 18.63 | 50 | 360 | 1.27 | 1.70 | 2.56 | 8 | 1.27 | 1.70 | 2.56 | 1.61 | 2.89 | 6.53 | 2.16 | 3.25 | 4.34 |
| 9 | 15.02 | 50 | 480 | 1.18 | 1.70 | 2.68 | 9 | 1.18 | 1.70 | 2.68 | 1.38 | 2.89 | 7.19 | 2.00 | 3.15 | 4.56 |
| 10 | 12.70 | 50 | 600 | 1.10 | 1.70 | 2.78 | 10 | 1.10 | 1.70 | 2.78 | 1.22 | 2.89 | 7.72 | 1.88 | 3.07 | 4.72 |
| 11 | 11.08 | 50 | 720 | 1.04 | 1.70 | 2.86 | 11 | 1.04 | 1.70 | 2.86 | 1.09 | 2.89 | 8.16 | 1.77 | 2.98 | 4.85 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|-----|----------|----------|------|------|----|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 27 | 237.01 | 200 | 15 | 2.3 7 | 2.30 | 1.18 | 27 | 2.37 | 2.30 | 1.18 | 5.64 | 5.29 | 1.38 | 5.46 | 2.79 | 2.71 |
| 28 | 191.01 | 200 | 20 | 2.2 8 | 2.30 | 1.30 | 28 | 2.28 | 2.30 | 1.30 | 5.20 | 5.29 | 1.69 | 5.25 | 2.97 | 2.99 |
| 29 | 161.57 | 200 | 25 | 2.2 1 | 2.30 | 1.40 | 29 | 2.21 | 2.301 | 1.40 | 4.88 | 5.29 | 1.95 | 5.08 | 3.09 | 3.22 |
| 30 | 140.92 | 200 | 30 | 2.1 5 | 2.30 | 1.48 | 30 | 2.15 | 2.301 | 1.48 | 4.62 | 5.29 | 2.18 | 4.94 | 3.17 | 3.40 |
| 31 | 83.79 | 200 | 60 | 1.9 2 | 2.30 | 1.78 | 31 | 1.92 | 2.30 | 1.78 | 3.70 | 5.29 | 3.16 | 4.43 | 3.42 | 4.09 |
| 32 | 21.86 | 200 | 360 | 1.3 4 | 2.30 | 2.56 | 32 | 1.34 | 2.30 | 2.56 | 1.79 | 5.29 | 6.53 | 3.08 | 3.42 | 5.88 |
| 33 | 17.62 | 200 | 480 | 1.2 5 | 2.30 | 2.68 | 33 | 1.25 | 2.301 | 2.68 | 1.55 | 5.29 | 7.19 | 2.87 | 3.34 | 6.17 |
| 34 | 14.90 | 200 | 600 | 1.1 7 | 2.30 | 2.78 | 34 | 1.17 | 2.301 | 2.78 | 1.38 | 5.29 | 7.72 | 2.70 | 3.26 | 6.39 |
| 35 | 13.00 | 200 | 720 | 1.1 1 | 2.30 | 2.86 | 35 | 1.11 | 2.30 | 2.86 | 1.24 | 5.29 | 8.16 | 2.56 | 3.18 | 6.57 |
| 36 | 7.73 | 200 | 144 0 | 0.8 9 | 2.30 | 3.16 | 36 | 0.89 | 2.30 | 3.16 | 0.79 | 5.29 | 9.98 | 2.04 | 2.80 | 7.27 |
| 37 | 590.03 | 500 | 5 | 2.7 7 | 2.70 | 0.70 | 37 | 2.77 | 2.699 | 0.70 | 7.68 | 7.28 | 0.49 | 7.48 | 1.94 | 1.89 |
| 38 | 350.83 | 500 | 10 | 2.5 5 | 2.70 | 1.00 | 38 | 2.55 | 2.699 | 1.00 | 6.48 | 7.28 | 1.00 | 6.87 | 2.55 | 2.70 |
| 39 | 258.84 | 500 | 15 | 2.4 1 | 2.70 | 1.18 | 39 | 2.41 | 2.70 | 1.18 | 5.82 | 7.28 | 1.38 | 6.51 | 2.84 | 3.17 |
| 40 | 208.61 | 500 | 20 | 2.3 2 | 2.70 | 1.30 | 40 | 2.32 | 2.70 | 1.30 | 5.38 | 7.28 | 1.69 | 6.26 | 3.02 | 3.51 |
| 41 | 176.46 | 500 | 25 | 2.2 5 | 2.70 | 1.40 | 41 | 2.25 | 2.699 | 1.40 | 5.05 | 7.28 | 1.95 | 6.06 | 3.14 | 3.77 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|-----|------|------|------|------|------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 42 | 153.91 | 500 | 30 | 2.19 | 2.70 | 1.48 | 42 | 2.19 | 2.699 | 1.48 | 4.78 | 7.28 | 2.18 | 5.90 | 3.23 | 3.99 |
| 43 | 91.51 | 500 | 60 | 1.96 | 2.70 | 1.78 | 43 | 1.96 | 2.70 | 1.78 | 3.85 | 7.28 | 3.16 | 5.29 | 3.49 | 4.80 |
| 44 | 23.87 | 500 | 360 | 1.38 | 2.70 | 2.56 | 44 | 1.38 | 2.70 | 2.56 | 1.90 | 7.28 | 6.53 | 3.72 | 3.52 | 6.90 |
| 45 | 19.24 | 500 | 480 | 1.28 | 2.70 | 2.68 | 45 | 1.28 | 2.699 | 2.68 | 1.65 | 7.28 | 7.19 | 3.47 | 3.44 | 7.24 |
| 46 | 16.27 | 500 | 600 | 1.21 | 2.70 | 2.78 | 46 | 1.21 | 2.699 | 2.78 | 1.47 | 7.28 | 7.72 | 3.27 | 3.37 | 7.50 |
| 47 | 14.19 | 500 | 720 | 1.15 | 2.70 | 2.86 | 47 | 1.15 | 2.70 | 2.86 | 1.33 | 7.28 | 8.16 | 3.11 | 3.29 | 7.71 |
| 48 | 8.44 | 500 | 1440 | 0.93 | 2.70 | 3.16 | 48 | 0.93 | 2.70 | 3.16 | 0.86 | 7.28 | 9.98 | 2.50 | 2.93 | 8.52 |
| | | | | | | | Suma | 86.33 | 104.39 | 91.44 | 172.94 | 233.59 | 205.78 | 188.77 | 141.10 | 198.86 |
| | | | | | | | Prom | 1.80 | 2.17 | 1.91 | | | | | | |

Nota. Elaboración propia.

Anexo 9. Datos de precipitaciones para diferentes periodos de retorno**Tabla 44***Distribución de precipitaciones para un TR=100 años.*

| Duración (h) | Duración (min) | Intensidad (mm/h) | Profundidad acumulada (mm) | Profundidad Incremental (mm) | Precipitaciones (mm) |
|-------------------------|---------------------------|------------------------------|---|---|---------------------------------|
| 1 | 60 | 66.05 | 66.05 | 66.05 | 1.72 |
| 2 | 120 | 39.55 | 79.09 | 13.04 | 1.84 |
| 3 | 180 | 29.29 | 87.88 | 8.79 | 1.98 |
| 4 | 240 | 23.68 | 94.71 | 6.83 | 2.16 |
| 5 | 300 | 20.07 | 100.37 | 5.66 | 2.37 |
| 6 | 360 | 17.54 | 105.24 | 4.87 | 2.65 |
| 7 | 420 | 15.65 | 109.54 | 4.30 | 3.02 |
| 8 | 480 | 14.18 | 113.41 | 3.87 | 3.53 |
| 9 | 540 | 12.99 | 116.94 | 3.53 | 4.30 |
| 10 | 600 | 12.02 | 120.19 | 3.25 | 5.66 |
| 11 | 660 | 11.20 | 123.20 | 3.02 | 8.79 |
| 12 | 720 | 10.50 | 126.02 | 2.82 | 66.05 |
| 13 | 780 | 9.90 | 128.67 | 2.65 | 13.04 |
| 14 | 840 | 9.37 | 131.18 | 2.50 | 6.83 |
| 15 | 900 | 8.90 | 133.55 | 2.37 | 4.87 |
| 16 | 960 | 8.49 | 135.81 | 2.26 | 3.87 |
| 17 | 1020 | 8.12 | 137.97 | 2.16 | 3.25 |
| 18 | 1080 | 7.78 | 140.03 | 2.07 | 2.82 |
| 19 | 1140 | 7.47 | 142.02 | 1.98 | 2.50 |
| 20 | 1200 | 7.20 | 143.92 | 1.91 | 2.26 |
| 21 | 1260 | 6.94 | 145.76 | 1.84 | 2.07 |
| 22 | 1320 | 6.71 | 147.53 | 1.77 | 1.91 |
| 23 | 1380 | 6.49 | 149.25 | 1.72 | 1.77 |
| 24 | 1440 | 6.29 | 150.91 | 1.66 | 1.66 |

Nota. Elaboración propia.

Tabla 45*Método de bloque alterno para un TR=100 años.*

| Duración (h) | Duración (min) | Intensidad (mm/h) | Profundidad acumulada (mm) | Profundidad Incremental (mm) | Precipitaciones (mm) |
|--------------|----------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| 1 | 60 | 73.49 | 73.49 | 73.49 | 1.91 |
| 2 | 120 | 44.00 | 88.00 | 14.51 | 2.04 |
| 3 | 180 | 32.59 | 97.78 | 9.78 | 2.21 |
| 4 | 240 | 26.34 | 105.38 | 7.59 | 2.40 |
| 5 | 300 | 22.33 | 111.67 | 6.29 | 2.64 |
| 6 | 360 | 19.52 | 117.10 | 5.42 | 2.95 |
| 7 | 420 | 17.41 | 121.88 | 4.79 | 3.36 |
| 8 | 480 | 15.77 | 126.19 | 4.31 | 3.92 |
| 9 | 540 | 14.46 | 130.11 | 3.92 | 4.79 |
| 10 | 600 | 13.37 | 133.73 | 3.61 | 6.29 |
| 11 | 660 | 12.46 | 137.08 | 3.36 | 9.78 |
| 12 | 720 | 11.68 | 140.22 | 3.14 | 73.49 |
| 13 | 780 | 11.01 | 143.17 | 2.95 | 14.51 |
| 14 | 840 | 10.43 | 145.95 | 2.79 | 7.59 |
| 15 | 900 | 9.91 | 148.60 | 2.64 | 5.42 |
| 16 | 960 | 9.44 | 151.11 | 2.51 | 4.31 |
| 17 | 1020 | 9.03 | 153.51 | 2.40 | 3.61 |
| 18 | 1080 | 8.66 | 155.81 | 2.30 | 3.14 |
| 19 | 1140 | 8.32 | 158.01 | 2.21 | 2.79 |
| 20 | 1200 | 8.01 | 160.14 | 2.12 | 2.51 |
| 21 | 1260 | 7.72 | 162.18 | 2.04 | 2.30 |
| 22 | 1320 | 7.46 | 164.15 | 1.97 | 2.12 |
| 23 | 1380 | 7.22 | 166.06 | 1.91 | 1.97 |
| 24 | 1440 | 7.00 | 167.91 | 1.85 | 1.85 |

Nota. Elaboración propia

Tabla 46

Duración, Intensidad y Precipitaciones, para un TR=200 años.

| Duración (h) | Duración (min) | Intensidad (mm/h) | Profundidad acumulada (mm) | Profundidad Incremental (mm) | Precipitaciones (mm) |
|--------------|----------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| 1 | 60 | 81.77 | 81.77 | 81.77 | 2.12 |
| 2 | 120 | 48.96 | 97.91 | 16.15 | 2.27 |
| 3 | 180 | 36.27 | 108.80 | 10.89 | 2.45 |
| 4 | 240 | 29.31 | 117.25 | 8.45 | 2.67 |
| 5 | 300 | 24.85 | 124.25 | 7.00 | 2.94 |
| 6 | 360 | 21.71 | 130.29 | 6.03 | 3.28 |
| 7 | 420 | 19.37 | 135.61 | 5.33 | 3.73 |
| 8 | 480 | 17.55 | 140.41 | 4.79 | 4.37 |
| 9 | 540 | 16.09 | 144.77 | 4.37 | 5.33 |
| 10 | 600 | 14.88 | 148.79 | 4.02 | 7.00 |
| 11 | 660 | 13.87 | 152.53 | 3.73 | 10.89 |
| 12 | 720 | 13.00 | 156.01 | 3.49 | 81.77 |
| 13 | 780 | 12.25 | 159.30 | 3.28 | 16.15 |
| 14 | 840 | 11.60 | 162.39 | 3.10 | 8.45 |
| 15 | 900 | 11.02 | 165.33 | 2.94 | 6.03 |
| 16 | 960 | 10.51 | 168.13 | 2.80 | 4.79 |
| 17 | 1020 | 10.05 | 170.80 | 2.67 | 4.02 |
| 18 | 1080 | 9.63 | 173.36 | 2.56 | 3.49 |
| 19 | 1140 | 9.25 | 175.81 | 2.45 | 3.10 |
| 20 | 1200 | 8.91 | 178.18 | 2.36 | 2.80 |
| 21 | 1260 | 8.59 | 180.45 | 2.27 | 2.56 |
| 22 | 1320 | 8.30 | 182.65 | 2.20 | 2.36 |
| 23 | 1380 | 8.03 | 184.77 | 2.12 | 2.20 |
| 24 | 1440 | 7.78 | 186.82 | 2.06 | 2.06 |

Nota. Elaboración propia

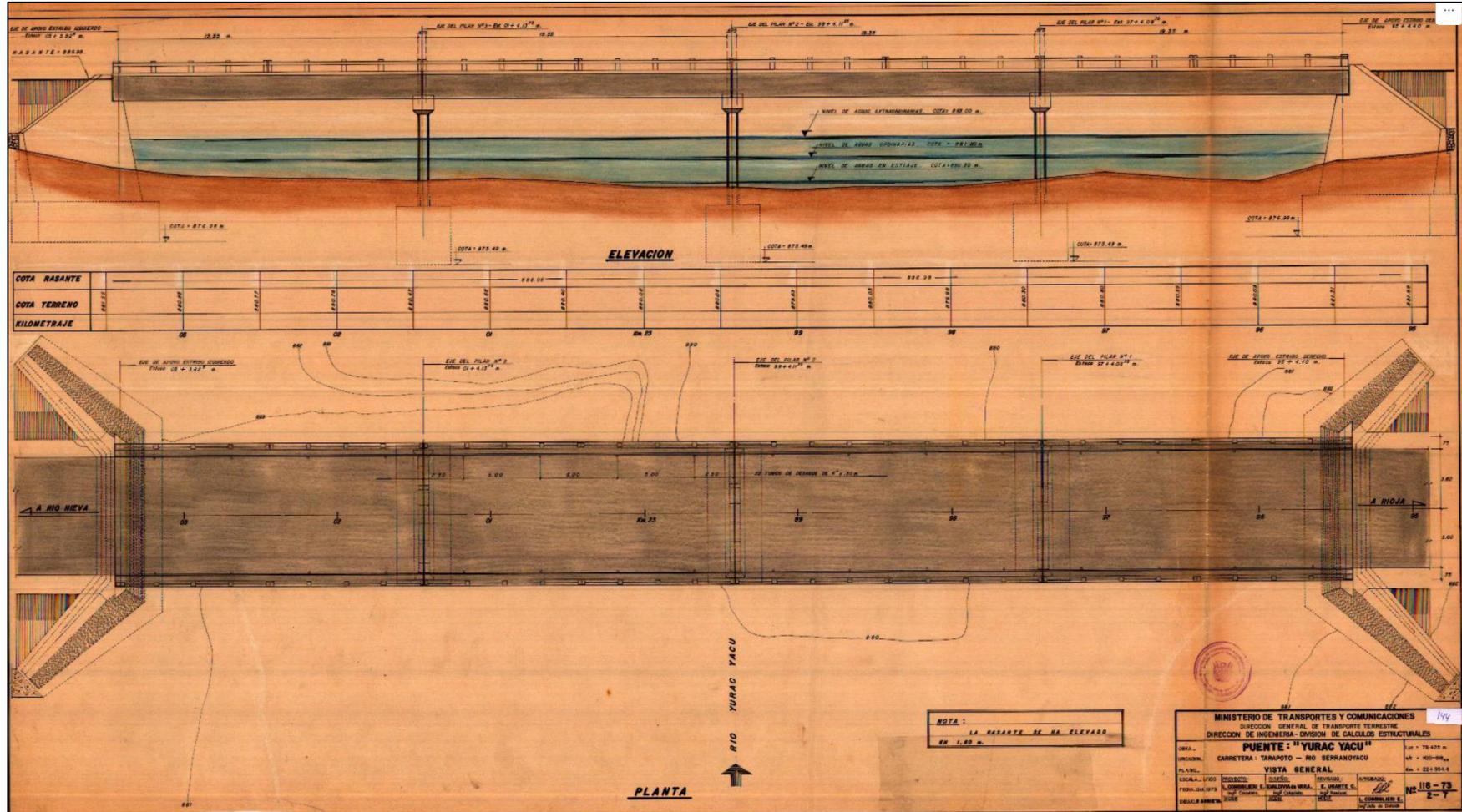
Tabla 47

Resultados de análisis de precipitaciones para un TR=500 años.

| Duración (h) | Duración (min) | Intensidad (mm/h) | Profundidad acumulada (mm) | Profundidad Incremental (mm) | Precipitaciones (mm) |
|--------------|----------------|-------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------|
| 1 | 60 | 94.16 | 94.16 | 94.16 | 2.44 |
| 2 | 120 | 56.38 | 112.75 | 18.59 | 2.62 |
| 3 | 180 | 41.76 | 125.29 | 12.54 | 2.83 |
| 4 | 240 | 33.75 | 135.02 | 9.73 | 3.08 |
| 5 | 300 | 28.62 | 143.09 | 8.07 | 3.38 |
| 6 | 360 | 25.01 | 150.03 | 6.95 | 3.78 |
| 7 | 420 | 22.31 | 156.17 | 6.14 | 4.30 |
| 8 | 480 | 20.21 | 161.68 | 5.52 | 5.03 |
| 9 | 540 | 18.52 | 166.71 | 5.03 | 6.14 |
| 10 | 600 | 17.13 | 171.34 | 4.63 | 8.07 |
| 11 | 660 | 15.97 | 175.64 | 4.30 | 12.54 |
| 12 | 720 | 14.97 | 179.66 | 4.02 | 94.16 |
| 13 | 780 | 14.11 | 183.44 | 3.78 | 18.59 |
| 14 | 840 | 13.36 | 187.01 | 3.57 | 9.73 |
| 15 | 900 | 12.69 | 190.39 | 3.38 | 6.95 |
| 16 | 960 | 12.10 | 193.61 | 3.22 | 5.52 |
| 17 | 1020 | 11.57 | 196.69 | 3.08 | 4.63 |
| 18 | 1080 | 11.09 | 199.63 | 2.94 | 4.02 |
| 19 | 1140 | 10.66 | 202.46 | 2.83 | 3.57 |
| 20 | 1200 | 10.26 | 205.18 | 2.72 | 3.22 |
| 21 | 1260 | 9.90 | 207.80 | 2.62 | 2.94 |
| 22 | 1320 | 9.56 | 210.33 | 2.53 | 2.72 |
| 23 | 1380 | 9.25 | 212.77 | 2.44 | 2.53 |
| 24 | 1440 | 8.96 | 215.14 | 2.37 | 2.37 |

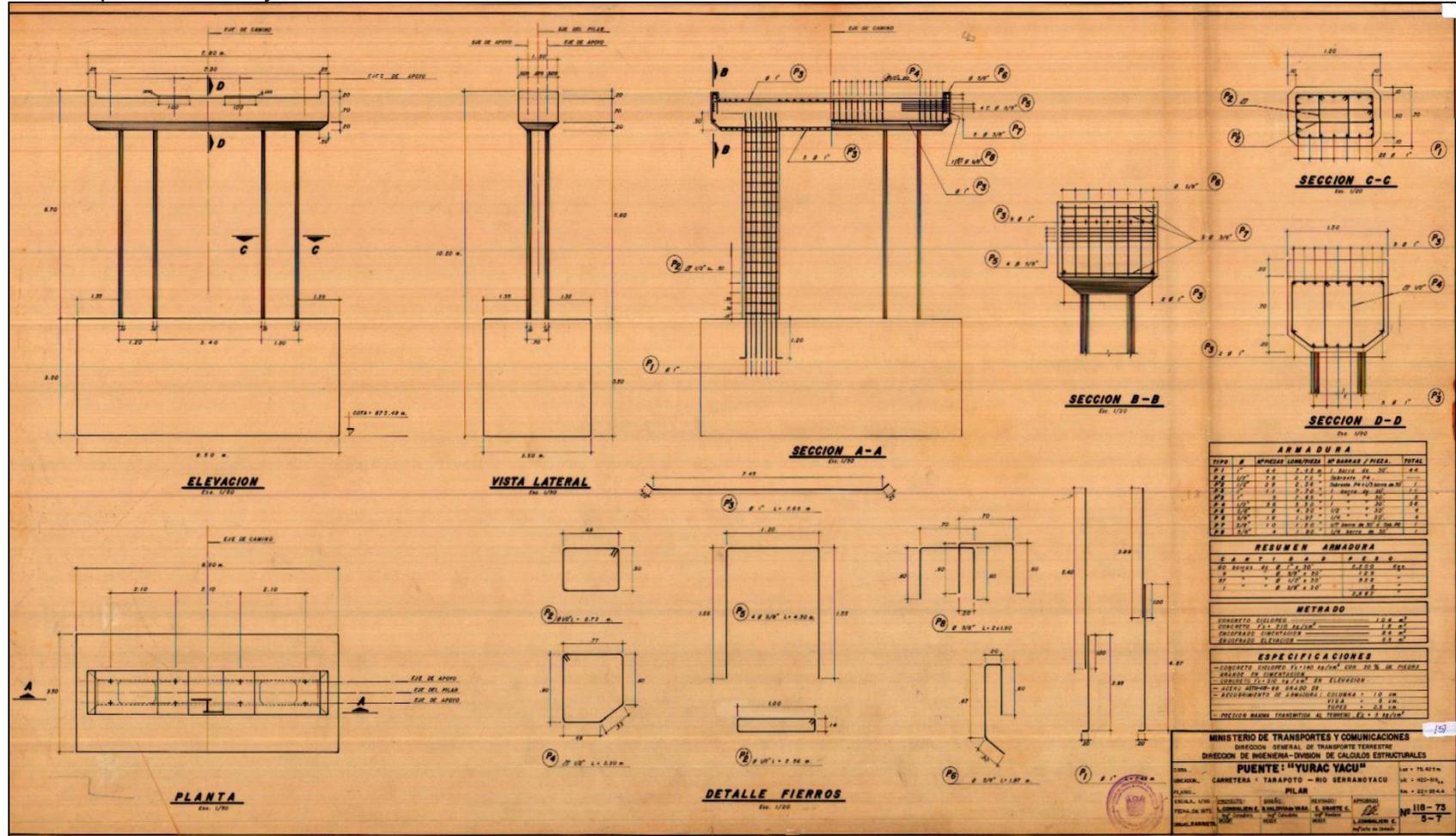
Nota. Elaboración propia.

Figura 99
 Vista General del puente Yuracyacu – MTC.



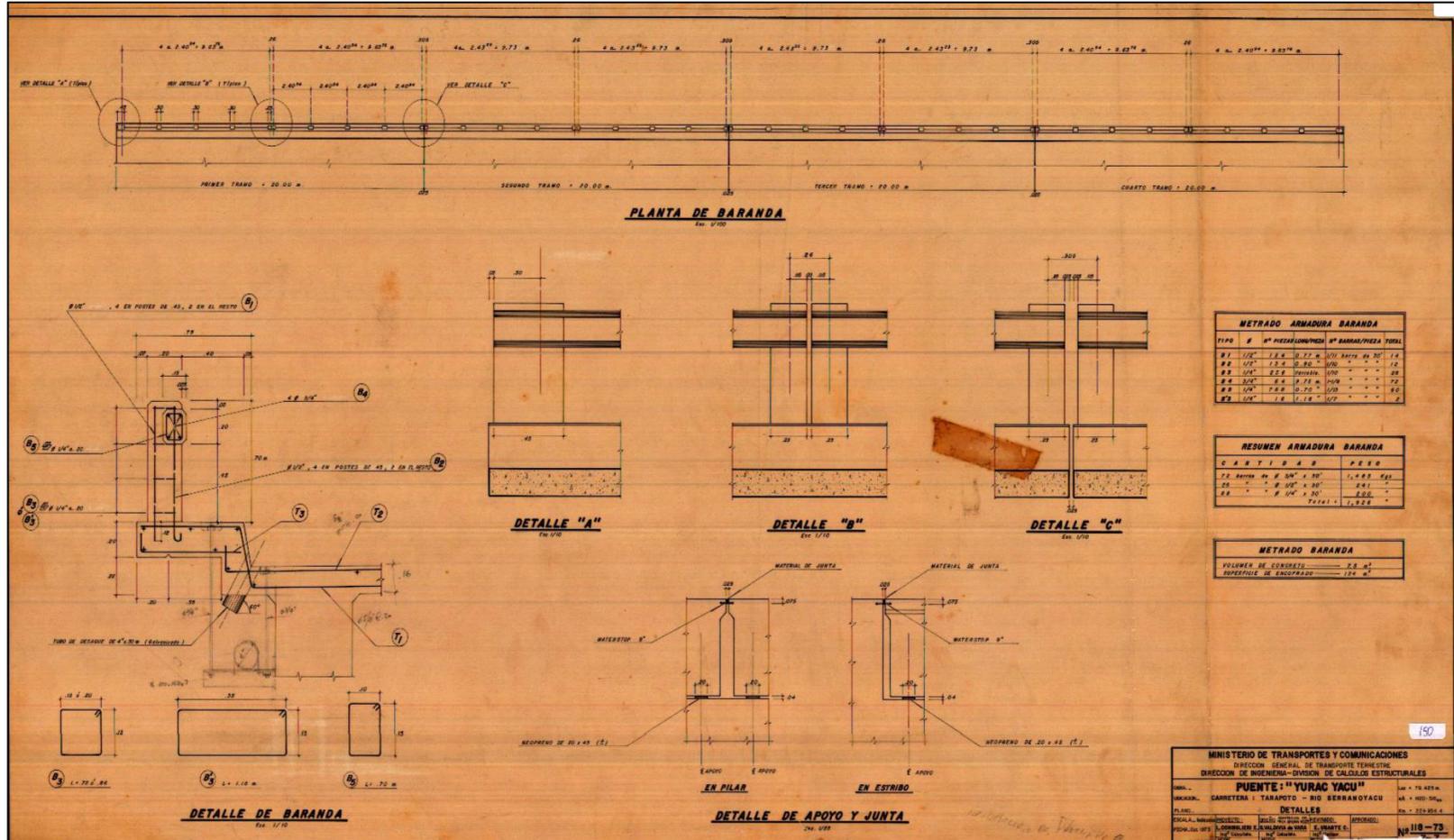
Nota. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Figura 100
Pilares del puente Yuracyacu- MTC.



Nota. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Figura 101
 Detalle de pilares del puente Yuracyacu- MTC.

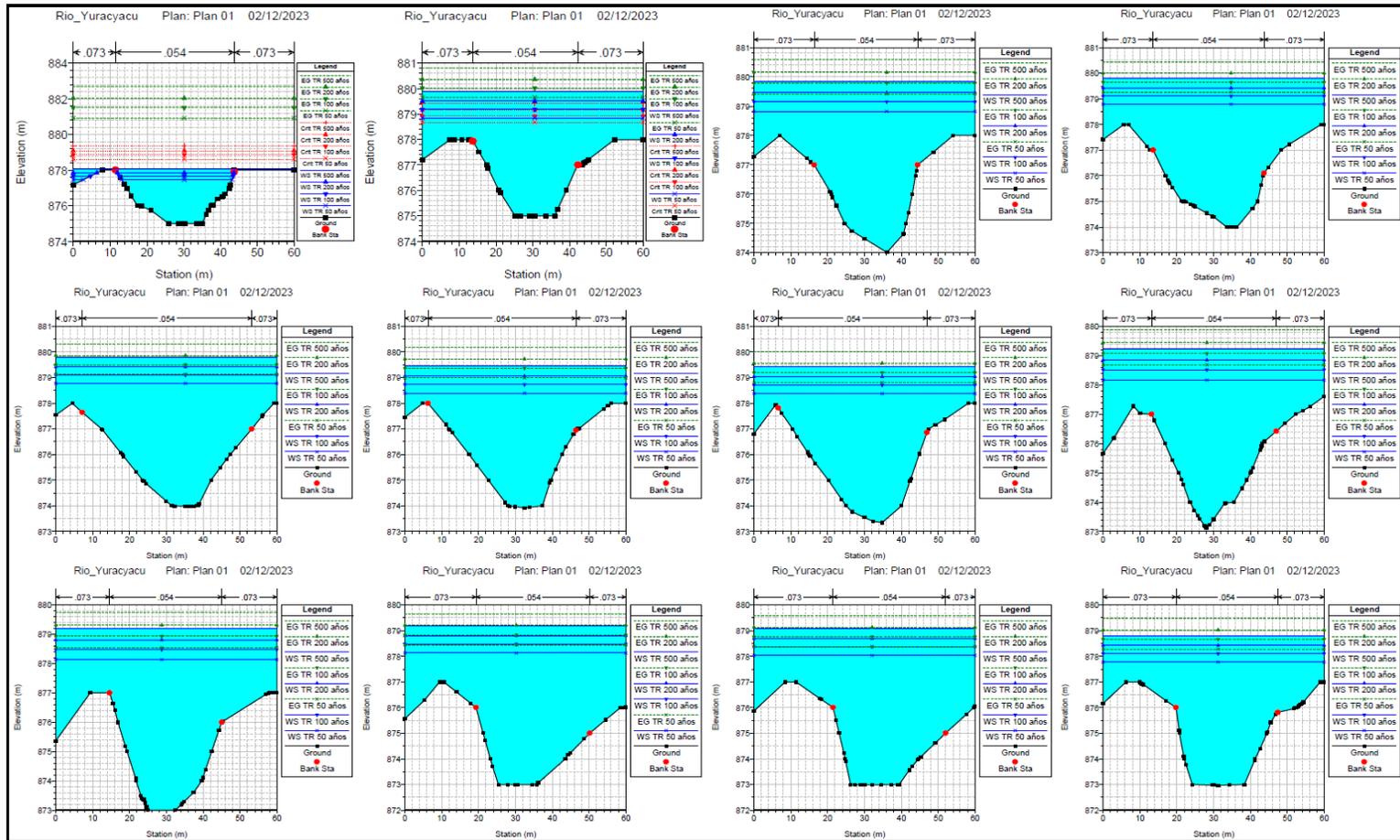


Nota. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Anexo 11. Secciones del HEC-RAS

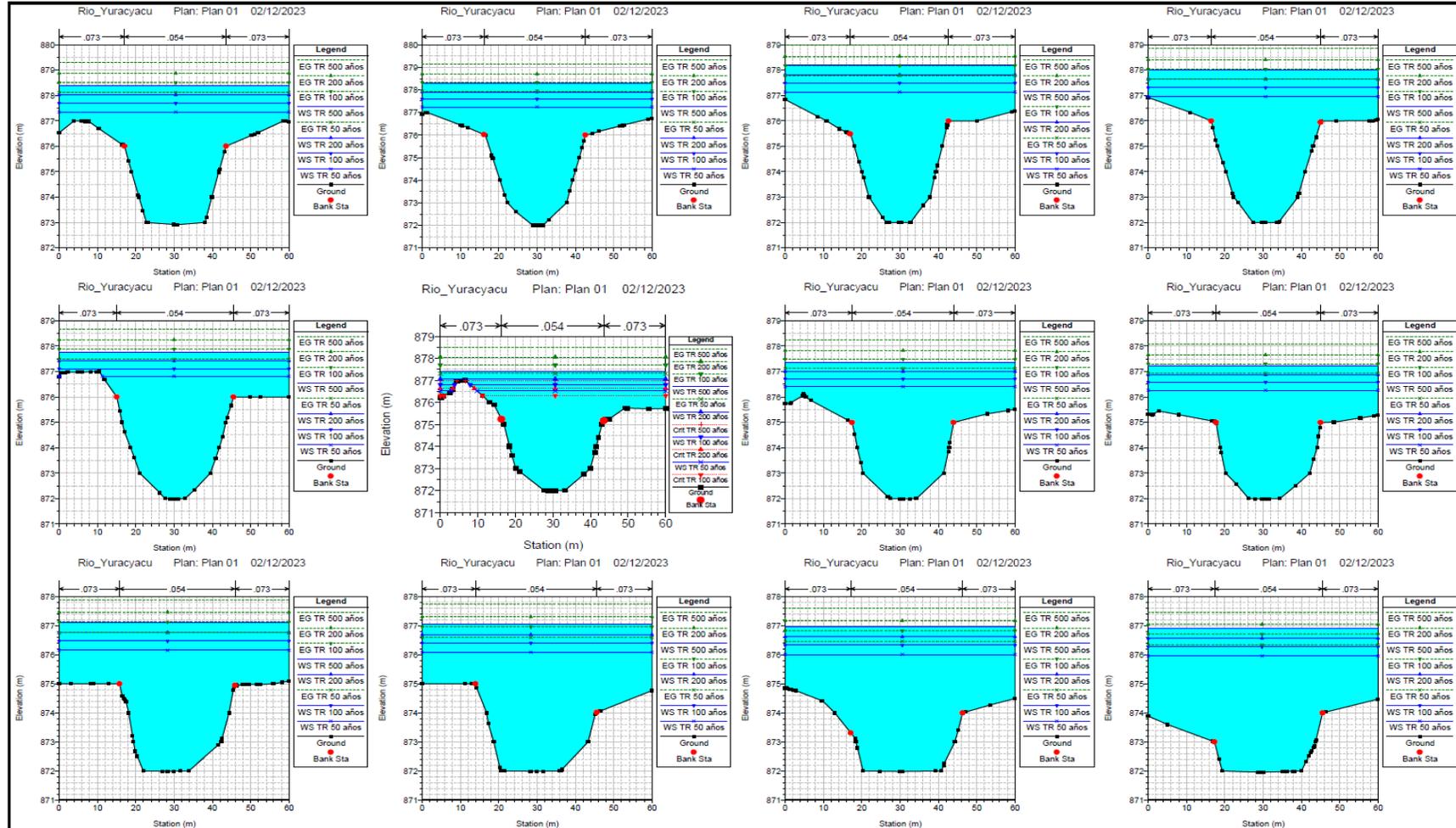
Figura 102

Secciones en HEC-RAS desde el km 0+980 al km 1+200.



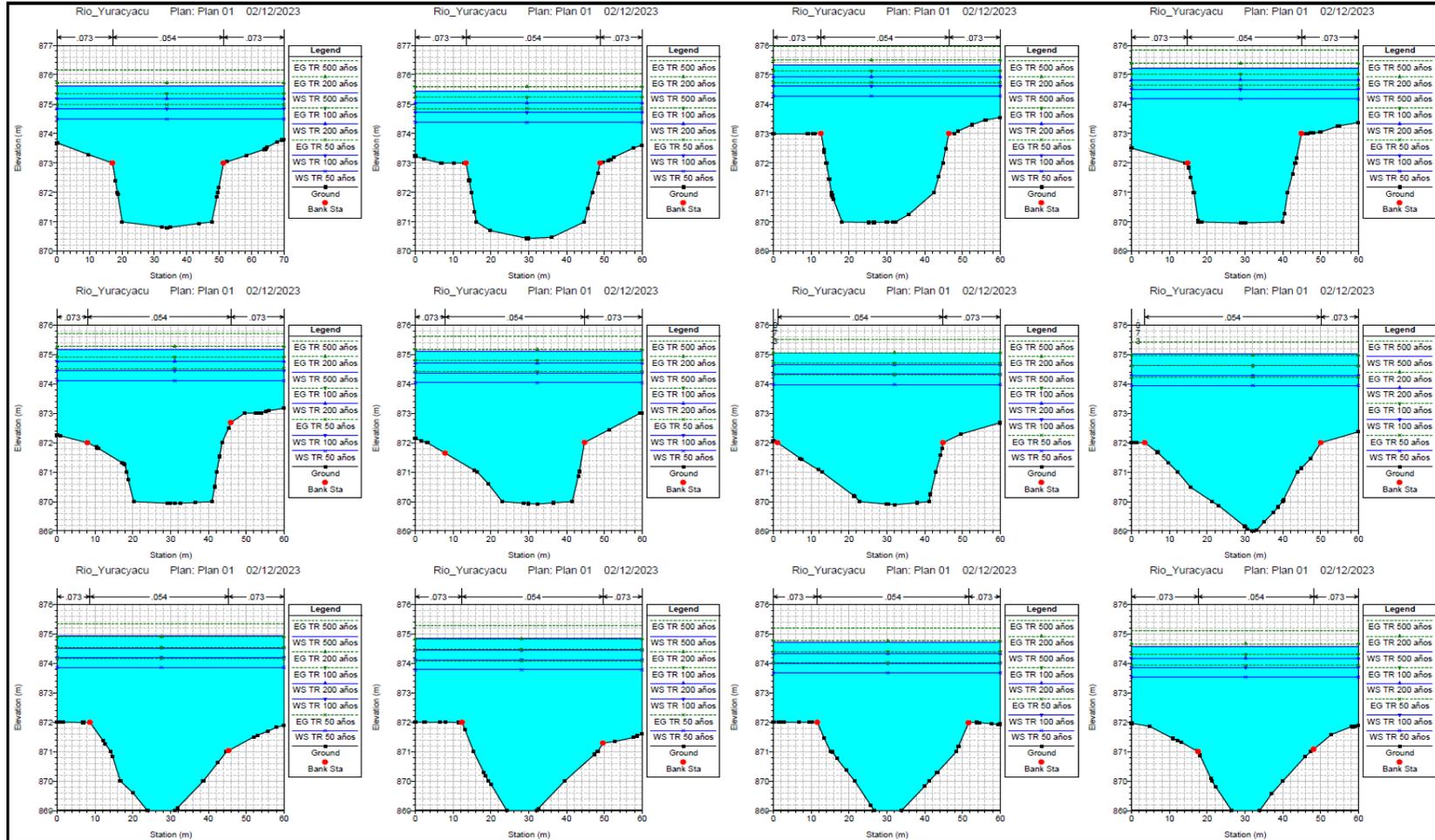
Nota. Elaboración propia.

Figura 103
Secciones en HEC-RAS desde el km 0+740 al km 0+960.



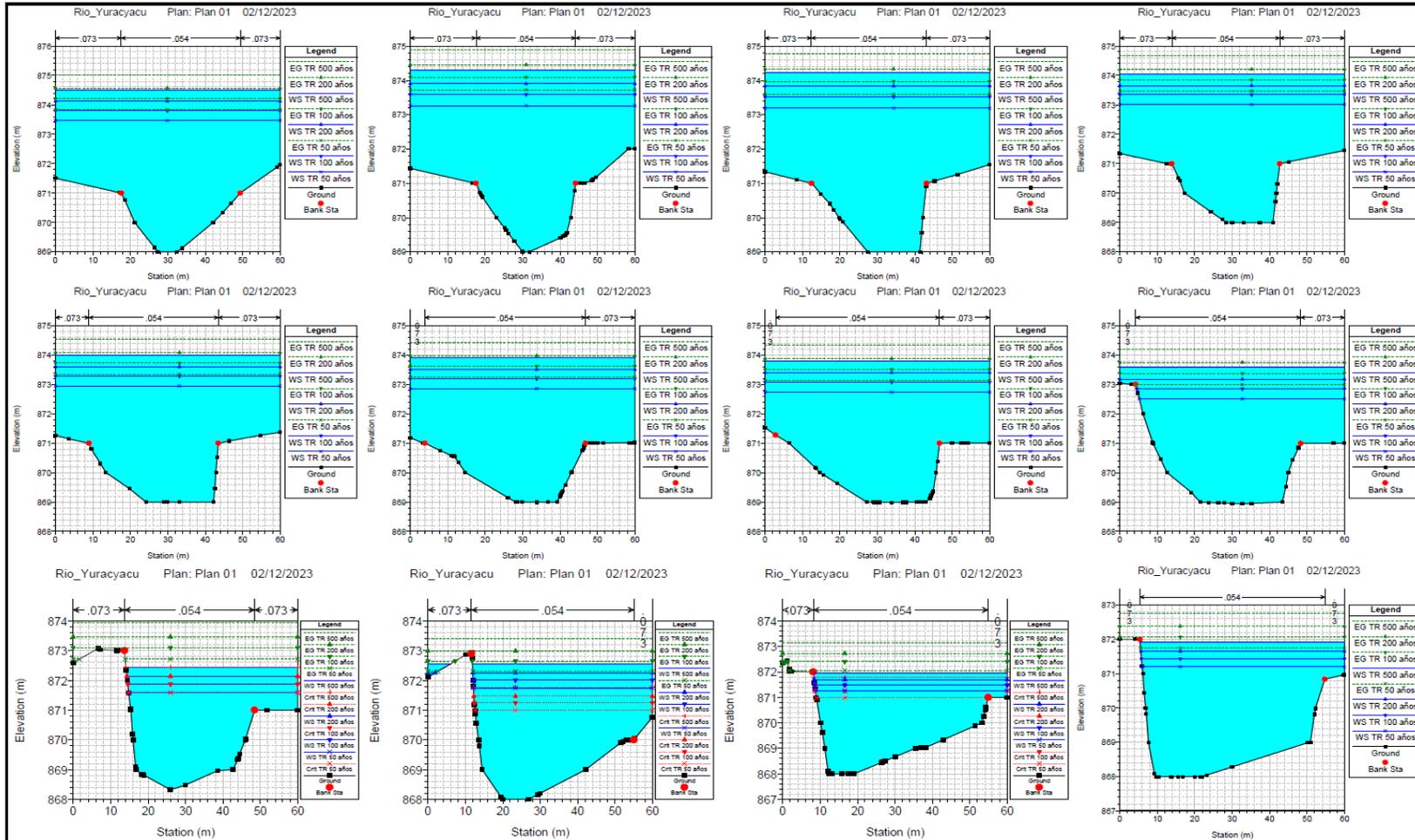
Nota. Elaboración propia.

Figura 105
Secciones en HEC-RAS desde el km 0+320 al km 0+540



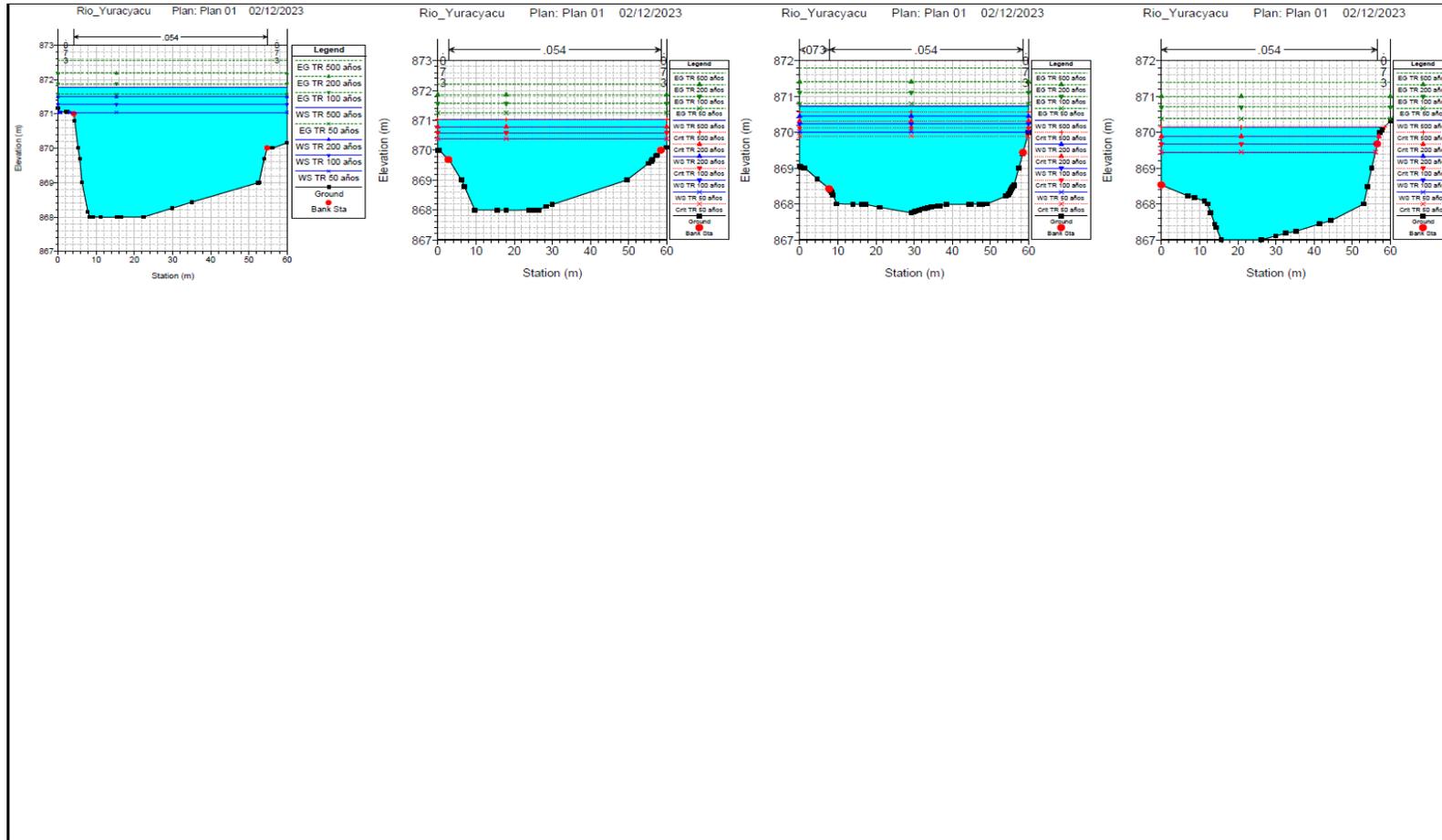
Nota. Elaboración propia

Figura 106
Secciones en HEC-RAS desde el km 0+080 al km 0+300



Nota. Elaboración propia

Figura 107
 Secciones en HEC-RAS desde el km 0+000 al km 0+060



Nota. Elaboración propia.

Anexo 12. Resultados de procesamiento de datos en HEC-RAS

Figura 108

Socavación del pilar 1 en TR= 50 años.

| Contraction Scour | | Left | Channel | Right |
|--------------------------|--|--------------|---------|-------|
| Input Data | | | | |
| Average Depth (m): | | 0.55 | 3.62 | 0.64 |
| Approach Velocity (m/s): | | 0.74 | 3.40 | 0.81 |
| Br Average Depth (m): | | 0.42 | 3.37 | 0.52 |
| BR Opening Flow (m3/s): | | 4.41 | 409.45 | 9.45 |
| BR Top WD (m): | | 12.12 | 30.89 | 18.02 |
| Grain Size D50 (mm): | | 3.48 | 3.48 | 3.48 |
| Approach Flow (m3/s): | | 8.63 | 399.97 | 14.71 |
| Approach Top WD (m): | | 21.11 | 32.43 | 28.27 |
| K1 Coefficient: | | 0.640 | 0.640 | 0.640 |
| Results | | | | |
| Scour Depth Ys (m): | | 0.00 | 0.44 | 0.04 |
| Critical Velocity (m/s): | | 0.85 | 1.16 | 0.87 |
| Equation: | | Clear | Live | Clear |
| Pier Scour | | | | |
| Pier: #1 (CL = 25.89) | | | | |
| Input Data | | | | |
| Pier Shape: | | Round nose | | |
| Pier Width (m): | | 0.70 | | |
| Grain Size D50 (mm): | | 3.48000 | | |
| Depth Upstream (m): | | 0.81 | | |
| Velocity Upstream (m/s): | | 0.89 | | |
| K1 Nose Shape: | | 1.10 | | |
| Pier Angle: | | 0.00 | | |
| Pier Length (m): | | 1.20 | | |
| K2 Angle Coef: | | 1.00 | | |
| K3 Bed Cond Coef: | | 1.10 | | |
| Grain Size D90 (mm): | | 16.80000 | | |
| K4 Armouring Coef: | | 1.00 | | |
| Results | | | | |
| Scour Depth Ys (m): | | 1.09 | | |
| Froude #: | | 0.32 | | |
| Equation: | | CSU equation | | |

Nota. Elaboración propia.

Figura 109

Socavación de pilares 2 y 3 en TR= 50 años

| | | |
|--------------------------|--|--------------|
| Pier: #2 (CL = 45.91) | | |
| Input Data | | |
| Pier Shape: | | Round nose |
| Pier Width (m): | | 0.70 |
| Grain Size D50 (mm): | | 3.48000 |
| Depth Upstream (m): | | 4.10 |
| Velocity Upstream (m/s): | | 4.02 |
| K1 Nose Shape: | | 1.10 |
| Pier Angle: | | 0.00 |
| Pier Length (m): | | 1.20 |
| K2 Angle Coef: | | 1.00 |
| K3 Bed Cond Coef: | | 1.10 |
| Grain Size D90 (mm): | | 16.80000 |
| K4 Armouring Coef: | | 1.00 |
| Results | | |
| Scour Depth Ys (m): | | 2.58 |
| Froude #: | | 0.63 |
| Equation: | | CSU equation |
| Pier: #3 (CL = 65.94) | | |
| Input Data | | |
| Pier Shape: | | Round nose |
| Pier Width (m): | | 0.70 |
| Grain Size D50 (mm): | | 3.48000 |
| Depth Upstream (m): | | 0.84 |
| Velocity Upstream (m/s): | | 0.88 |
| K1 Nose Shape: | | 1.10 |
| Pier Angle: | | 0.00 |
| Pier Length (m): | | 1.20 |
| K2 Angle Coef: | | 1.00 |
| K3 Bed Cond Coef: | | 1.10 |
| Grain Size D90 (mm): | | 16.80000 |
| K4 Armouring Coef: | | 1.00 |
| Results | | |
| Scour Depth Ys (m): | | 1.09 |
| Froude #: | | 0.31 |
| Equation: | | CSU equation |

Nota. Elaboración propia

Figura 110Socavación de estribos en $TR= 50$ años

| Abutment Scour | | Left | Right |
|---|--|--------------------------|-------|
| Input Data | | | |
| Station at Toe (m): | | 7.20 | 84.65 |
| Toe Sta at aprr (m): | | 5.44 | 83.73 |
| Abutment Length (m): | | 0.00 | 4.28 |
| Depth at Toe (m): | | -0.39 | 0.02 |
| K1 Shape Coef: | | 1.00 - Vertical abutment | |
| Degree of Skew (degrees): | | 90.00 | 90.00 |
| K2 Skew Coef: | | 1.00 | 1.00 |
| Projected Length L' (m): | | 0.00 | 4.28 |
| Avg Depth Obstructed Ya (m): | | | 0.16 |
| Flow Obstructed Qe (m3/s): | | | 0.19 |
| Area Obstructed Ae (m2): | | | 0.70 |
| Results | | | |
| Scour Depth Ys (m): | | | 0.08 |
| Froude #: | | | 0.16 |
| Equation: | | Default | HIRE |
| Combined Scour Depths | | | |
| Pier : #1 (CL = 25.89) (Contr + Pier) (m): | | 1.09 | |
| Pier : #2 (CL = 45.91) (Contr + Pier) (m): | | 3.02 | |
| Pier : #3 (CL = 65.94) (Contr + Pier) (m): | | 1.13 | |
| Right abutment scour + contraction scour (m): | | 0.12 | |

Nota. Elaboración propia.

Figura 111

Socavación de pilares 1 y 2 en TR= 100 años.

| | | |
|--------------------------|--|--------------|
| Pier Scour | | |
| Pier: #1 (CL = 25.89) | | |
| Input Data | | |
| Pier Shape: | | Round nose |
| Pier Width (m): | | 0.70 |
| Grain Size D50 (mm): | | 3.48000 |
| Depth Upstream (m): | | 1.16 |
| Velocity Upstream (m/s): | | 1.08 |
| K1 Nose Shape: | | 1.10 |
| Pier Angle: | | 0.00 |
| Pier Length (m): | | 8.70 |
| K2 Angle Coef: | | 1.00 |
| K3 Bed Cond Coef: | | 1.10 |
| Grain Size D90 (mm): | | 16.80000 |
| K4 Armouring Coef: | | 1.00 |
| Results | | |
| Scour Depth Ys (m): | | 1.24 |
| Froude #: | | 0.32 |
| Equation: | | CSU equation |
| Pier: #2 (CL = 45.91) | | |
| Input Data | | |
| Pier Shape: | | Round nose |
| Pier Width (m): | | 0.70 |
| Grain Size D50 (mm): | | 3.48000 |
| Depth Upstream (m): | | 4.45 |
| Velocity Upstream (m/s): | | 4.14 |
| K1 Nose Shape: | | 1.10 |
| Pier Angle: | | 0.00 |
| Pier Length (m): | | 8.70 |
| K2 Angle Coef: | | 1.00 |
| K3 Bed Cond Coef: | | 1.10 |
| Grain Size D90 (mm): | | 16.80000 |
| K4 Armouring Coef: | | 1.00 |
| Results | | |
| Scour Depth Ys (m): | | 2.65 |
| Froude #: | | 0.63 |
| Equation: | | CSU equation |

Nota. Elaboración propia.

Figura 112Socavación de pilar 3 y estribos en $TR= 100$ años

| | | | |
|--|--------------------------|-----------|--|
| Pier: #3 (CL = 65.94) | | | |
| Input Data | | | |
| Pier Shape: | Round nose | | |
| Pier Width (m): | 0.70 | | |
| Grain Size D50 (mm): | 3.48000 | | |
| Depth Upstream (m): | 1.20 | | |
| Velocity Upstream (m/s): | 1.26 | | |
| K1 Nose Shape: | 1.10 | | |
| Pier Angle: | 0.00 | | |
| Pier Length (m): | 8.70 | | |
| K2 Angle Coef: | 1.00 | | |
| K3 Bed Cond Coef: | 1.10 | | |
| Grain Size D90 (mm): | 16.80000 | | |
| K4 Armouring Coef: | 1.00 | | |
| Results | | | |
| Scour Depth Y_s (m): | 1.33 | | |
| Froude #: | 0.37 | | |
| Equation: | CSU equation | | |
| Abutment Scour | | | |
| | Left | Right | |
| Input Data | | | |
| Station at Toe (m): | 7.20 | 84.65 | |
| Toe Sta at appr (m): | 5.44 | 83.73 | |
| Abutment Length (m): | 5.44 | 4.28 | |
| Depth at Toe (m): | -0.04 | 0.37 | |
| K1 Shape Coef: | 1.00 - Vertical abutment | | |
| Degree of Skew (degrees): | 90.00 | 90.00 | |
| K2 Skew Coef: | 1.00 | 1.00 | |
| Projected Length L' (m): | 5.44 | 4.28 | |
| Avg Depth Obstructed Y_a (m): | 0.26 | 0.54 | |
| Flow Obstructed Q_e (m ³ /s): | 0.53 | 1.40 | |
| Area Obstructed A_e (m ²): | 1.44 | 2.30 | |
| Results | | | |
| Scour Depth Y_s (m): | | 1.87 | |
| $Q_e/A_e = V_e$: | | 0.61 | |
| Froude #: | | 0.26 | |
| Equation: | Default | Froehlich | |

Nota. Elaboración propia.

Figura 113

Socavación de pilares 1 y 2 en TR= 200 años

| | | |
|--------------------------|--|--------------|
| Pier Scour | | |
| Pier: #1 (CL = 25.89) | | |
| Input Data | | |
| Pier Shape: | | Round nose |
| Pier Width (m): | | 0.70 |
| Grain Size D50 (mm): | | 3.48000 |
| Depth Upstream (m): | | 1.48 |
| Velocity Upstream (m/s): | | 1.28 |
| K1 Nose Shape: | | 1.10 |
| Pier Angle: | | 0.00 |
| Pier Length (m): | | 8.70 |
| K2 Angle Coef: | | 1.00 |
| K3 Bed Cond Coef: | | 1.10 |
| Grain Size D90 (mm): | | 16.80000 |
| K4 Armouring Coef: | | 1.00 |
| Results | | |
| Scour Depth Ys (m): | | 1.38 |
| Froude #: | | 0.33 |
| Equation: | | CSU equation |
| Pier: #2 (CL = 45.91) | | |
| Input Data | | |
| Pier Shape: | | Round nose |
| Pier Width (m): | | 0.70 |
| Grain Size D50 (mm): | | 3.48000 |
| Depth Upstream (m): | | 4.78 |
| Velocity Upstream (m/s): | | 4.23 |
| K1 Nose Shape: | | 1.10 |
| Pier Angle: | | 0.00 |
| Pier Length (m): | | 8.70 |
| K2 Angle Coef: | | 1.00 |
| K3 Bed Cond Coef: | | 1.10 |
| Grain Size D90 (mm): | | 16.80000 |
| K4 Armouring Coef: | | 1.00 |
| Results | | |
| Scour Depth Ys (m): | | 2.70 |
| Froude #: | | 0.62 |
| Equation: | | CSU equation |

Nota. Elaboración propia.

Figura 114

Socavación de pilar 3 y estribos en TR= 200 años.

| Pier: #3 (CL = 65.94) | | |
|------------------------------|--------------------------|-----------|
| Input Data | | |
| Pier Shape: | Round nose | |
| Pier Width (m): | 0.70 | |
| Grain Size D50 (mm): | 3.48000 | |
| Depth Upstream (m): | 1.52 | |
| Velocity Upstream (m/s): | 1.49 | |
| K1 Nose Shape: | 1.10 | |
| Pier Angle: | 0.00 | |
| Pier Length (m): | 8.70 | |
| K2 Angle Coef: | 1.00 | |
| K3 Bed Cond Coef: | 1.10 | |
| Grain Size D90 (mm): | 16.80000 | |
| K4 Armouring Coef: | 1.00 | |
| Results | | |
| Scour Depth Ys (m): | 1.47 | |
| Froude #: | 0.39 | |
| Equation: | CSU equation | |
| Abutment Scour | | |
| | Left | Right |
| Input Data | | |
| Station at Toe (m): | 7.20 | 84.65 |
| Toe Sta at appr (m): | 5.44 | 83.73 |
| Abutment Length (m): | 5.44 | 4.28 |
| Depth at Toe (m): | 0.29 | 0.70 |
| K1 Shape Coef: | 1.00 - Vertical abutment | |
| Degree of Skew (degrees): | 90.00 | 90.00 |
| K2 Skew Coef: | 1.00 | 1.00 |
| Projected Length L' (m): | 5.44 | 4.28 |
| Avg Depth Obstructed Ya (m): | 0.59 | 0.87 |
| Flow Obstructed Qe (m3/s): | 2.03 | 2.98 |
| Area Obstructed Ae (m2): | 3.23 | 3.71 |
| Results | | |
| Scour Depth Ys (m): | 2.12 | 2.65 |
| Qe/Ae = Ve: | 0.63 | 0.80 |
| Froude #: | 0.26 | 0.27 |
| Equation: | Froehlich | Froehlich |

Nota. Elaboración propia.

Figura 115

Socavación de estribos y pilares 1 y 2 en TR= 500 años.

| Contraction Scour | | Left | Channel | Right |
|--------------------------------------|--|--------------|---------|-------|
| Input Data | | | | |
| Average Depth (m): | | 1.50 | 4.72 | 1.74 |
| Approach Velocity (m/s): | | 1.27 | 3.65 | 1.39 |
| Br Average Depth (m): | | 1.16 | 4.42 | 1.42 |
| BR Opening Flow (m ³ /s): | | 35.64 | 588.44 | 55.13 |
| BR Top WD (m): | | 21.16 | 30.89 | 23.29 |
| Grain Size D50 (mm): | | 3.48 | 3.48 | 3.48 |
| Approach Flow (m ³ /s): | | 52.10 | 558.84 | 68.26 |
| Approach Top WD (m): | | 27.30 | 32.43 | 28.27 |
| K1 Coefficient: | | 0.640 | 0.640 | 0.640 |
| Results | | | | |
| Scour Depth Ys (m): | | 0.12 | 0.67 | 0.22 |
| Critical Velocity (m/s): | | 1.00 | 1.21 | 1.03 |
| Equation: | | Live | Live | Live |
| Pier Scour | | | | |
| Pier: #1 (CL = 25.89) | | | | |
| Input Data | | | | |
| Pier Shape: | | Square nose | | |
| Pier Width (m): | | 0.70 | | |
| Grain Size D50 (mm): | | 3.48000 | | |
| Depth Upstream (m): | | 1.90 | | |
| Velocity Upstream (m/s): | | 1.55 | | |
| K1 Nose Shape: | | 1.10 | | |
| Pier Angle: | | 0.00 | | |
| Pier Length (m): | | 8.70 | | |
| K2 Angle Coef: | | 1.00 | | |
| K3 Bed Cond Coef: | | 1.10 | | |
| Grain Size D90 (mm): | | 16.80000 | | |
| K4 Armouring Coef: | | 1.00 | | |
| Results | | | | |
| Scour Depth Ys (m): | | 1.55 | | |
| Froude #: | | 0.36 | | |
| Equation: | | CSU equation | | |
| Pier: #2 (CL = 45.91) | | | | |
| Input Data | | | | |
| Pier Shape: | | Square nose | | |
| Pier Width (m): | | 0.70 | | |
| Grain Size D50 (mm): | | 3.48000 | | |
| Depth Upstream (m): | | 5.19 | | |
| Velocity Upstream (m/s): | | 4.29 | | |
| K1 Nose Shape: | | 1.10 | | |
| Pier Angle: | | 0.00 | | |
| Pier Length (m): | | 8.70 | | |
| K2 Angle Coef: | | 1.00 | | |
| K3 Bed Cond Coef: | | 1.10 | | |
| Grain Size D90 (mm): | | 16.80000 | | |
| K4 Armouring Coef: | | 1.00 | | |
| Results | | | | |
| Scour Depth Ys (m): | | 2.74 | | |
| Froude #: | | 0.60 | | |
| Equation: | | CSU equation | | |

Nota. Elaboración propia.

Figura 116

Socavación de pilar 3 en TR= 500 años.

| Pier: #3 (CL = 65.94) | | | |
|---|--------------------------|-----------|-------|
| Input Data | | | |
| Pier Shape: | Square nose | | |
| Pier Width (m): | 0.70 | | |
| Grain Size D50 (mm): | 3.48000 | | |
| | | | |
| Depth Upstream (m): | 1.93 | | |
| Velocity Upstream (m/s): | 1.69 | | |
| K1 Nose Shape: | 1.10 | | |
| Pier Angle: | 0.00 | | |
| Pier Length (m): | 8.70 | | |
| K2 Angle Coef: | 1.00 | | |
| K3 Bed Cond Coef: | 1.10 | | |
| Grain Size D90 (mm): | 16.80000 | | |
| K4 Armouring Coef: | 1.00 | | |
| Results | | | |
| Scour Depth Ys (m): | 1.61 | | |
| Froude #: | 0.39 | | |
| Equation: | CSU equation | | |
| Abutment Scour | | | |
| | | Left | Right |
| Input Data | | | |
| Station at Toe (m): | 7.20 | 84.65 | |
| Toe Sta at appr (m): | 5.44 | 83.73 | |
| Abutment Length (m): | 5.44 | 4.28 | |
| Depth at Toe (m): | 0.70 | 1.11 | |
| K1 Shape Coef: | 1.00 - Vertical abutment | | |
| Degree of Skew (degrees): | 90.00 | 90.00 | |
| K2 Skew Coef: | 1.00 | 1.00 | |
| Projected Length L' (m): | 5.44 | 4.28 | |
| Avg Depth Obstructed Ya (m): | 0.99 | 1.26 | |
| Flow Obstructed Qe (m3/s): | 4.53 | 5.26 | |
| Area Obstructed Ae (m2): | 5.38 | 5.40 | |
| Results | | | |
| Scour Depth Ys (m): | 3.09 | 3.47 | |
| Qe/Ae = Ve: | 0.84 | 0.97 | |
| Froude #: | 0.27 | 0.28 | |
| Equation: | Froehlich | Froehlich | |
| Combined Scour Depths | | | |
| Pier : #1 (CL = 25.89) (Contr + Pier) (m): | 1.66 | | |
| Pier : #2 (CL = 45.91) (Contr + Pier) (m): | 3.41 | | |
| Pier : #3 (CL = 65.94) (Contr + Pier) (m): | 1.83 | | |
| | | | |
| Left abutment scour + contraction scour (m): | 3.21 | | |
| Right abutment scour + contraction scour (m): | 3.69 | | |

Nota. Elaboración propia.

Anexo 13. Propuesta – Enrocado

Figura 117

Presupuesto de enrocado de pilar central para TR= 50 años.

| Presupuesto | | | | | |
|-------------|--|--|---------|-----------|------------------|
| Presupuesto | 0302008 | TESIS: "ESTIMACION DE LA SOCAVACION EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RIO YURACYACU" | | | |
| Cliente | Cordova Bances, Genesis | | | Costo al | 20/12/2023 |
| Lugar | SAN MARTIN - RIOJA - NUEVA CAJAMARCA | | | | |
| Item | Descripción | Und. | Metrado | Precio S/ | Parcial S/ |
| 01 | ENROCADO PUENTE YURACYACU | | | | 65,073.78 |
| 01.01 | OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES | | | | 4,163.17 |
| 01.01.01 | ALQUILER DE ALMACEN ,OFICINA Y GUARDIANIA | mes | 1.00 | 500.00 | 500.00 |
| 01.01.02 | CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 3.60x2.40M | und | 1.00 | 919.92 | 919.92 |
| 01.01.03 | SEGURIDAD EN OBRA | glb | 1.00 | 1,620.00 | 1,620.00 |
| 01.01.04 | TRAZO, NIVEL Y REPLANTEO PRELIMINAR | m2 | 242.08 | 4.64 | 1,123.25 |
| 01.02 | MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | 60,910.61 |
| 01.02.01 | EXCAVACIÓN MASIVA CON MAQUINARIA (RETROEXCAVADORA SILLANTAS) | m3 | 426.36 | 19.08 | 8,134.95 |
| 01.02.02 | ENROCADO PARA LA PROTECCIÓN DEL PILAR CON EQUIPO | m3 | 426.36 | 104.69 | 44,635.63 |
| 01.02.03 | ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE | m3 | 511.63 | 15.91 | 8,140.03 |
| | COSTO DIRECTO | | | | 65,073.78 |
| | GASTOS ADMINISTRATIVOS (10%CD) | | | | 6,507.38 |
| | | | | | ===== |
| | PRESUPUESTO TOTAL | | | | 71,581.16 |

Nota. Elaboración propia.

Figura 118

Análisis de precios unitarios para enrocado de pilar central para TR= 50 años (Parte I)

| Análisis de precios unitarios | | | | | | | |
|-------------------------------|--|--|------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------|------------|
| Presupuesto | 0302008 | TESIS: "ESTIMACION DE LA SOCAVACION EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RIO YURACYACU" | | | | Fecha presupuesto | 20/12/2023 |
| Subpresupuesto | 001 | ENROCADO DE PILA DE PUENTE | | | | | |
| Partida | TRAZO, NIVEL Y REPLANTEO PRELIMINAR | | | | | | |
| Rendimiento | m2/DIA | MO. 220.0000 | EQ. 220.0000 | Costo unitario directo por : m2 | | 4.64 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| 014700032 | TOPOGRAFO | hh | 1.0000 | 0.0364 | 28.63 | 1.04 | |
| 014701004 | PEON | hh | 2.0000 | 0.0727 | 19.62 | 1.43 | |
| | | | | | | 2.47 | |
| Materiales | | | | | | | |
| 0229060001 | YESO | kg | | 1.2500 | 1.00 | 1.25 | |
| 0243040000 | MADERA TORNILLO | p2 | | 0.0200 | 6.00 | 0.12 | |
| | | | | | | 1.37 | |
| Equipos | | | | | | | |
| 0337010001 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 2.47 | 0.07 | |
| 0348010087 | ESTACIÓN TOTAL INCLUYE PRISMAS Y BASTONES | hm | 1.0000 | 0.0364 | 20.00 | 0.73 | |
| | | | | | | 0.80 | |
| Partida | ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE | | | | | | |
| Rendimiento | m3/DIA | MO. 250.0000 | EQ. 250.0000 | Costo unitario directo por : m3 | | 15.91 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| 0147010002 | OPERARIO | hh | 2.0000 | 0.0640 | 27.57 | 1.76 | |
| 0147010004 | PEON | hh | 2.0000 | 0.0640 | 19.62 | 1.26 | |
| | | | | | | 3.02 | |
| Equipos | | | | | | | |
| 0337010001 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 3.02 | 0.09 | |
| 0348040036 | CAMION VOLQUETE 15 m3 | hm | 1.0000 | 0.0320 | 180.00 | 5.76 | |
| 0349040091 | CARGADOR FRONTAL CAT-930 | hm | 1.0000 | 0.0320 | 220.00 | 7.04 | |
| | | | | | | 12.89 | |
| Partida | SEGURIDAD EN OBRA | | | | | | |
| Rendimiento | glb/DIA | MO. | EQ. | Costo unitario directo por : glb | | 1,620.00 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | |
| Materiales | | | | | | | |
| 0229040091 | CINTA SEÑALADORA AMARILLA | m | | 500.0000 | 1.00 | 500.00 | |
| 0230540003 | LETRERO DE SEGURIDAD DIVERSOS | und | | 8.0000 | 75.00 | 600.00 | |
| | | | | | | 1,100.00 | |
| Equipos | | | | | | | |
| 0337010103 | CASCO DE SEGURIDAD | und | | 10.0000 | 12.00 | 120.00 | |
| 0337010104 | BOTAS DE JEBE | par | | 10.0000 | 25.00 | 250.00 | |
| 0337050026 | CHALECOS DE SEGURIDAD | und | | 10.0000 | 10.00 | 100.00 | |
| 0337990100 | LENTES DE PROTECCION | und | | 10.0000 | 5.00 | 50.00 | |
| | | | | | | 520.00 | |
| Partida | EXCAVACIÓN MASIVA CON MAQUINARIA (RETROEXCAVADORA S/LLANTAS) | | | | | | |
| Rendimiento | m3/DIA | MO. 100.0000 | EQ. 100.0000 | Costo unitario directo por : m3 | | 19.08 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| 0147010002 | OPERARIO | hh | 1.0000 | 0.0800 | 27.57 | 2.21 | |
| 0147010004 | PEON | hh | 0.5000 | 0.0400 | 19.62 | 0.78 | |
| | | | | | | 2.99 | |
| Equipos | | | | | | | |
| 0337010001 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 2.99 | 0.09 | |
| 0349060055 | RETROEXCAVADOR SOBRE LLANTAS 58 HP. | hm | 1.0000 | 0.0800 | 200.00 | 16.00 | |
| | | | | | | 16.09 | |

Nota. Elaboración propia

Figura 119

Análisis de precios unitarios para enrocado de pilar central para TR= 50 años (Parte II)

| Análisis de precios unitarios | | | | | | | |
|--------------------------------------|---|---------------------|---------------------|---|-------------------|--------------------|-------------------|
| Presupuesto | 0302008 TESIS: "ESTIMACION DE LA SOCAVACION EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RIO YURACYACU" | | | | | | |
| Subpresupuesto | 001 ENROCADO DE PILA DE PUENTE | | | | | Fecha presupuesto | 20/12/2023 |
| Partida | CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 3.60x2.40M | | | | | | |
| Rendimiento | und/DIA | MO. 1.0000 | EQ. 1.0000 | Costo unitario directo por : und | | 919.92 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| 0147010002 | OPERARIO | hh | 1.0000 | 8.0000 | 27.57 | 220.56 | |
| 0147010004 | PEON | hh | 1.0000 | 8.0000 | 19.62 | 156.96 | |
| | | | | | | 377.52 | |
| Materiales | | | | | | | |
| 0202010005 | CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 3" | kg | | 0.6000 | 7.00 | 4.20 | |
| 0221000001 | CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg) | bls | | 0.7500 | 30.00 | 22.50 | |
| 0230990105 | BANNER DE LONA CON DISEÑO | und | | 1.0000 | 200.00 | 200.00 | |
| 0238000000 | HORMIGON (PUESTO EN OBRA) | m3 | | 0.2800 | 60.00 | 16.80 | |
| 0239020075 | LUA PARA MADERA | und | | 3.0000 | 2.00 | 6.00 | |
| 0239050000 | AGUA PUESTA EN OBRA | m3 | | 0.0550 | 3.00 | 0.17 | |
| 0243040000 | MADERA TORNILLO | p2 | | 46.9000 | 6.00 | 281.40 | |
| | | | | | | 531.07 | |
| Equipos | | | | | | | |
| 0337010001 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 377.52 | 11.33 | |
| | | | | | | 11.33 | |
| Partida | ALQUILER DE ALMACEN ,OFICINA Y GUARDIANIA | | | | | | |
| Rendimiento | mes/DIA | MO. 1.0000 | EQ. 1.0000 | Costo unitario directo por : mes | | 500.00 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | |
| Materiales | | | | | | | |
| 0243920002 | LOCAL PARA ALMACEN, OFICINA Y GUARDIANIA | mes | | 1.0000 | 500.00 | 500.00 | |
| | | | | | | 500.00 | |
| Partida | ENROCADO PARA LA PROTECCIÓN DEL PILAR CON EQUIPO | | | | | | |
| Rendimiento | m3/DIA | MO. 200.0000 | EQ. 200.0000 | Costo unitario directo por : m3 | | 104.69 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| 0147010002 | OPERARIO | hh | 2.0000 | 0.0800 | 27.57 | 2.21 | |
| 0147010004 | PEON | hh | 2.0000 | 0.0800 | 19.62 | 1.57 | |
| | | | | | | 3.78 | |
| Materiales | | | | | | | |
| 0205000043 | PIEDRA GRANDE DE 65 CM (PUESTO EN OBRA) | m3 | | 1.0500 | 80.00 | 84.00 | |
| | | | | | | 84.00 | |
| Equipos | | | | | | | |
| 0337010001 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 3.78 | 0.11 | |
| 0349040091 | CARGADOR FRONTAL CAT-930 | hm | 1.0000 | 0.0400 | 220.00 | 8.80 | |
| 0349060055 | RETROEXCAVADOR SOBRE LLANTAS 58 HP. | hm | 1.0000 | 0.0400 | 200.00 | 8.00 | |
| | | | | | | 16.91 | |

Nota. Elaboración propia

Figura 120

Insumos para enrocado de pilar central para TR= 50 años.

| Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo | | | | | | | |
|--|---|--|----------|--------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Obra | 0302008 | TESIS: "ESTIMACION DE LA SOCAVACION EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RIO YURACYACU" | | | | | |
| Subpresupuesto | 001 | ENROCADO DE PILA DE PUENTE | | | | | |
| Fecha | 20/12/2023 | | | | | | |
| Lugar | 220804 | SAN MARTIN - RIOJA - NUEVA CAJAMARCA | | | | | |
| Código | Recurso | Unidad | Cantidad | Precio S/ | Parcial S/resupuestado S/ | | |
| MANO DE OBRA | | | | | | | |
| 014700032 | TOPOGRAFO | hh | 8.8117 | 28.63 | 252.28 | 251.76 | |
| 014701002 | OPERARIO | hh | 108.9619 | 27.57 | 3,004.08 | 3,005.55 | |
| 014701004 | PEON | hh | 109.5067 | 19.62 | 2,148.52 | 2,149.73 | |
| | | | | | 5,404.88 | 5,407.04 | |
| MATERIALES | | | | | | | |
| 020201005 | CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 3" | kg | 0.6000 | 7.00 | 4.20 | 4.20 | |
| 020500043 | PIEDRA GRANDE DE 65 CM (PUESTO EN OBRA) | m3 | 447.6780 | 80.00 | 35,814.24 | 35,814.24 | |
| 022100001 | CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg) | bis | 0.7500 | 30.00 | 22.50 | 22.50 | |
| 0229040091 | CINTA SEÑALADORA AMARILLA | m | 500.0000 | 1.00 | 500.00 | 500.00 | |
| 0229060001 | YESO | kg | 302.6000 | 1.00 | 302.60 | 302.60 | |
| 0230540003 | LETRERO DE SEGURIDAD DIVERSOS | und | 8.0000 | 75.00 | 600.00 | 600.00 | |
| 0230990105 | BANNER DE LONA CON DISEÑO | und | 1.0000 | 200.00 | 200.00 | 200.00 | |
| 0238000000 | HORMIGON (PUESTO EN OBRA) | m3 | 0.2800 | 60.00 | 16.80 | 16.80 | |
| 0239020075 | LUJA PARA MADERA | und | 3.0000 | 2.00 | 6.00 | 6.00 | |
| 0239050000 | AGUA PUESTA EN OBRA | m3 | 0.0550 | 3.00 | 0.17 | 0.17 | |
| 0243040000 | MADERA TORNILLO | p2 | 51.7416 | 6.00 | 310.45 | 310.45 | |
| 0243920002 | LOCAL PARA ALMACEN, OFICINA Y GUARDIANIA | mes | 1.0000 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | |
| | | | | | 38,276.96 | 38,276.96 | |
| EQUIPOS | | | | | | | |
| 0337010001 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | | 159.60 | 159.60 | |
| 0337010103 | CASCO DE SEGURIDAD | und | 10.0000 | 12.00 | 120.00 | 120.00 | |
| 0337010104 | BOTAS DE JEBE | par | 10.0000 | 25.00 | 250.00 | 250.00 | |
| 0337050026 | CHALECOS DE SEGURIDAD | und | 10.0000 | 10.00 | 100.00 | 100.00 | |
| 0337990100 | LENTES DE PROTECCION | und | 10.0000 | 5.00 | 50.00 | 50.00 | |
| 0348010087 | ESTACIÓN TOTAL INCLUYE PRISMAS Y BASTONES | hm | 8.8117 | 20.00 | 176.23 | 176.72 | |
| 0348040036 | CAMION VOLQUETE 15 m3 | hm | 16.3722 | 180.00 | 2,947.00 | 2,946.99 | |
| 0349040091 | CARGADOR FRONTAL CAT-930 | hm | 33.4266 | 220.00 | 7,353.85 | 7,353.85 | |
| 0349060055 | RETROEXCAVADOR SOBRE LLANTAS 58 HP. | hm | 51.1632 | 200.00 | 10,232.64 | 10,232.64 | |
| | | | | | 21,389.32 | 21,389.80 | |
| | | | | Total | S/ | 65,071.16 | 65,073.80 |
| | | | | | S/ | 65,073.80 | |

Nota. Elaboración propia

Figura 121

Presupuesto para enrocado de pilar central para TR= 200 años.

| Presupuesto | | | | | |
|--------------------|--|---|----------------|------------------|-------------------|
| Presupuesto | 0302009 | Tesis: "ESTIMACION DE LA SOCAVACION EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RIO YURACYACU" | | | |
| Cliente | Cordova Bancos, Genesis | | Costo al | | 20/12/2023 |
| Lugar | SAN MARTIN - RIOJA - NUEVA CAJAMARCA | | | | |
| Item | Descripción | Und. | Metrado | Precio S/ | Parcial S/ |
| 01 | ENROCADO PUENTE YURACYACU | | | | 127,037.15 |
| 01.01 | OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES | | | | 4,163.17 |
| 01.01.01 | ALQUILER DE ALMACEN ,OFICINA Y GUARDIANA | mes | 1.00 | 500.00 | 500.00 |
| 01.01.02 | CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 3.60x2.40M | und | 1.00 | 919.92 | 919.92 |
| 01.01.03 | SEGURIDAD EN OBRA | glb | 1.00 | 1,620.00 | 1,620.00 |
| 01.01.04 | TRAZO, NIVEL Y REPLANTEO PRELIMINAR | m2 | 242.08 | 4.64 | 1,123.25 |
| 01.02 | MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | 122,873.98 |
| 01.02.01 | EXCAVACIÓN MASIVA CON MAQUINARIA (RETROEXCAVADORA SILLANTAS) | m3 | 575.59 | 19.08 | 10,982.26 |
| 01.02.02 | ENROCADO PARA LA PROTECCIÓN DEL PILAR CON EQUIPO | m3 | 802.79 | 125.69 | 100,902.68 |
| 01.02.03 | ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE | m3 | 690.70 | 15.91 | 10,989.04 |
| | COSTO DIRECTO | | | | 127,037.15 |
| | GASTOS ADMINISTRATIVOS (10%CD) | | | | 12,703.72 |
| | | | | | ===== |
| | PRESUPUESTO TOTAL | | | | 139,740.87 |

Nota. Elaboración propia

Figura 122

Análisis de precios unitarios para enrocado de pilar central para TR= 200 años (Parte I).

| Análisis de precios unitarios | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|---|--|----------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|------------|
| Presupuesto | 0302009 | | Tesis: "ESTIMACION DE LA SOCAVACION EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RIO YURACYACU" | | | | | |
| Subpresupuesto | 001 | | ENROCADO DE PILA DE PUENTE TR=200 AÑOS | | | | Fecha presupuesto | 20/12/2023 |
| Partida | 01.01.01 | ALQUILER DE ALMACEN ,OFICINA Y GUARDIANIA | | | | | | |
| Rendimiento | mes/DIA | MO. 1.0000 | EQ. 1.0000 | Costo unitario directo por : mes | | | 500.00 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | | |
| | Materiales | | | | | | | |
| 0243920002 | LOCAL PARA ALMACEN, OFICINA Y GUARDIANIA | mes | | 1.0000 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | |
| | | | | | | | 500.00 | |
| Partida | 01.01.02 | CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA 3.60x2.40M | | | | | | |
| Rendimiento | und/DIA | MO. 1.0000 | EQ. 1.0000 | Costo unitario directo por : und | | | 919.92 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | | |
| | Mano de Obra | | | | | | | |
| 0147010002 | OPERARIO | hh | 1.0000 | 8.0000 | 27.57 | 220.56 | | |
| 0147010004 | PEON | hh | 1.0000 | 8.0000 | 19.62 | 156.96 | | |
| | | | | | | | 377.52 | |
| | Materiales | | | | | | | |
| 0202010005 | CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 3" | kg | | 0.6000 | 7.00 | 4.20 | | |
| 0221000001 | CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg) | bls | | 0.7500 | 30.00 | 22.50 | | |
| 0230990105 | BANNER DE LONA CON DISEÑO | und | | 1.0000 | 200.00 | 200.00 | | |
| 0238000000 | HORMIGON (PUESTO EN OBRA) | m3 | | 0.2800 | 60.00 | 16.80 | | |
| 0239020075 | LJJA PARA MADERA | und | | 3.0000 | 2.00 | 6.00 | | |
| 0239050000 | AGUA PUESTA EN OBRA | m3 | | 0.0550 | 3.00 | 0.17 | | |
| 0243040000 | MADERA TORNILLO | p2 | | 46.9000 | 6.00 | 281.40 | | |
| | | | | | | | 531.07 | |
| | Equipos | | | | | | | |
| 0337010001 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 377.52 | 11.33 | | |
| | | | | | | | 11.33 | |
| Partida | 01.01.03 | SEGURIDAD EN OBRA | | | | | | |
| Rendimiento | glb/DIA | MO. | EQ. | Costo unitario directo por : glb | | | 1,620.00 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | | |
| | Materiales | | | | | | | |
| 0229040091 | CINTA SEÑALADORA AMARILLA | m | | 500.0000 | 1.00 | 500.00 | | |
| 0230540003 | LETRERO DE SEGURIDAD DIVERSOS | und | | 8.0000 | 75.00 | 600.00 | | |
| | | | | | | | 1,100.00 | |
| | Equipos | | | | | | | |
| 0337010103 | CASCO DE SEGURIDAD | und | | 10.0000 | 12.00 | 120.00 | | |
| 0337010104 | BOTAS DE JEBE | par | | 10.0000 | 25.00 | 250.00 | | |
| 0337050026 | CHALECOS DE SEGURIDAD | und | | 10.0000 | 10.00 | 100.00 | | |
| 0337990100 | LENTES DE PROTECCION | und | | 10.0000 | 5.00 | 50.00 | | |
| | | | | | | | 520.00 | |
| Partida | 01.01.04 | TRAZO, NIVEL Y REPLANTEO PRELIMINAR | | | | | | |
| Rendimiento | m2/DIA | MO. 220.0000 | EQ. 220.0000 | Costo unitario directo por : m2 | | | 4.64 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | | |
| | Mano de Obra | | | | | | | |
| 0147000032 | TOPOGRAFO | hh | 1.0000 | 0.0364 | 28.63 | 1.04 | | |
| 0147010004 | PEON | hh | 2.0000 | 0.0727 | 19.62 | 1.43 | | |
| | | | | | | | 2.47 | |
| | Materiales | | | | | | | |
| 0229060001 | YESO | kg | | 1.2500 | 1.00 | 1.25 | | |
| 0243040000 | MADERA TORNILLO | p2 | | 0.0200 | 6.00 | 0.12 | | |
| | | | | | | | 1.37 | |
| | Equipos | | | | | | | |
| 0337010001 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 2.47 | 0.07 | | |
| 0348010087 | ESTACIÓN TOTAL INCLUYE PRISMAS Y BASTONES | hm | 1.0000 | 0.0364 | 20.00 | 0.73 | | |
| | | | | | | | 0.80 | |

Nota. Elaboración propia.

Figura 123

Análisis de precios unitarios para enrocado de pilar central para TR= 200 años (Parte II).

| Análisis de precios unitarios | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|------------------|---------------------------------|-------------------|--------------------|------------|
| Presupuesto | 0302009 | Tesis: "ESTIMACION DE LA SOCAVACION EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RIO YURACYACU" | | | | Fecha presupuesto | 20/12/2023 |
| Subpresupuesto | 001 | ENROCADO DE PILA DE PUENTE TR=200 AÑOS | | | | | |
| Partida | 01.02.01 | EXCAVACION MASIVA CON MAQUINARIA (RETROEXCAVADORA SILLANTAS) | | | | | |
| Rendimiento | m3/DIA | MO. 100.0000 | EQ. 100.0000 | Costo unitario directo por : m3 | | 19.08 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | |
| | Mano de Obra | | | | | | |
| 0147010002 | OPERARIO | hh | 1.0000 | 0.0800 | 27.57 | 2.21 | |
| 0147010004 | PEON | hh | 0.5000 | 0.0400 | 19.62 | 0.78 | |
| | | | | | | 2.99 | |
| | Equipos | | | | | | |
| 0337010001 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 2.99 | 0.09 | |
| 0349060055 | RETROEXCAVADOR SOBRE LLANTAS 58 HP. | hm | 1.0000 | 0.0800 | 200.00 | 16.00 | |
| | | | | | | 16.09 | |
| Partida | 01.02.02 | ENROCADO PARA LA PROTECCIÓN DEL PILAR CON EQUIPO | | | | | |
| Rendimiento | m3/DIA | MO. 200.0000 | EQ. 200.0000 | Costo unitario directo por : m3 | | 125.69 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | |
| | Mano de Obra | | | | | | |
| 0147010002 | OPERARIO | hh | 2.0000 | 0.0800 | 27.57 | 2.21 | |
| 0147010004 | PEON | hh | 2.0000 | 0.0800 | 19.62 | 1.57 | |
| | | | | | | 3.78 | |
| | Materiales | | | | | | |
| 0205000043 | PIEDRA GRANDE DE 120 CM (PUESTO EN OBRA) | m3 | | 1.0500 | 100.00 | 105.00 | |
| | | | | | | 105.00 | |
| | Equipos | | | | | | |
| 0337010001 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 3.78 | 0.11 | |
| 0349040091 | CARGADOR FRONTAL CAT-930 | hm | 1.0000 | 0.0400 | 220.00 | 8.80 | |
| 0349060055 | RETROEXCAVADOR SOBRE LLANTAS 58 HP. | hm | 1.0000 | 0.0400 | 200.00 | 8.00 | |
| | | | | | | 16.91 | |
| Partida | 01.02.03 | ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE | | | | | |
| Rendimiento | m3/DIA | MO. 250.0000 | EQ. 250.0000 | Costo unitario directo por : m3 | | 15.91 | |
| Código | Descripción Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/ | Parcial \$/ | |
| | Mano de Obra | | | | | | |
| 0147010002 | OPERARIO | hh | 2.0000 | 0.0640 | 27.57 | 1.76 | |
| 0147010004 | PEON | hh | 2.0000 | 0.0640 | 19.62 | 1.26 | |
| | | | | | | 3.02 | |
| | Equipos | | | | | | |
| 0337010001 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | 3.0000 | 3.02 | 0.09 | |
| 0348040036 | CAMION VOLQUETE 15 m3 | hm | 1.0000 | 0.0320 | 180.00 | 5.76 | |
| 0349040091 | CARGADOR FRONTAL CAT-930 | hm | 1.0000 | 0.0320 | 220.00 | 7.04 | |
| | | | | | | 12.89 | |

Nota. Elaboración propia

Figura 124

Insumos para enrocado de pilar central para TR= 200 años (Parte II).

| Precios y cantidades de recursos requeridos por tipo | | | | | | | |
|--|---|--|----------|-----------|---------------------------|-------------------|-------------------|
| Obra | 0302009 | Tesis: "ESTIMACION DE LA SOCAVACION EN LAS PILAS DEL PUENTE DEL RIO YURACYACU" | | | | | |
| Subpresupuesto | 001 | ENROCADO DE PILA DE PUENTE TR=200 AÑOS | | | | | |
| Fecha | 01/12/2023 | | | | | | |
| Lugar | 220804 | SAN MARTIN - RIOJA - NUEVA CAJAMARCA | | | | | |
| Código | Recurso | Unidad | Cantidad | Precio S/ | Parcial S/resupuestado S/ | | |
| MANO DE OBRA | | | | | | | |
| 0147000032 | TOPOGRAFO | hh | 8.8117 | 28.63 | 252.28 | 251.76 | |
| 0147010002 | OPERARIO | hh | 162.4752 | 27.57 | 4,479.44 | 4,482.41 | |
| 0147010004 | PEON | hh | 157.0508 | 19.62 | 3,081.34 | 3,082.75 | |
| | | | | | 7,813.06 | 7,816.92 | |
| MATERIALES | | | | | | | |
| 0202010005 | CLAVOS PARA MADERA CON CABEZA DE 3" | kg | 0.6000 | 7.00 | 4.20 | 4.20 | |
| 0205000043 | PIEDRA GRANDE DE 120 CM (PUESTO EN OBRA) | m3 | 842.9295 | 100.00 | 84,292.95 | 84,292.95 | |
| 0221000001 | CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg) | bls | 0.7500 | 30.00 | 22.50 | 22.50 | |
| 0229040091 | CINTA SEÑALADORA AMARILLA | m | 500.0000 | 1.00 | 500.00 | 500.00 | |
| 0229060001 | YESO | kg | 302.6000 | 1.00 | 302.60 | 302.60 | |
| 0230540003 | LETRERO DE SEGURIDAD DIVERSOS | und | 8.0000 | 75.00 | 600.00 | 600.00 | |
| 0230990105 | BANNER DE LONA CON DISEÑO | und | 1.0000 | 200.00 | 200.00 | 200.00 | |
| 0238000000 | HORMIGON (PUESTO EN OBRA) | m3 | 0.2800 | 60.00 | 16.80 | 16.80 | |
| 0239020075 | LIJA PARA MADERA | und | 3.0000 | 2.00 | 6.00 | 6.00 | |
| 0239050000 | AGUA PUESTA EN OBRA | m3 | 0.0550 | 3.00 | 0.17 | 0.17 | |
| 0243040000 | MADERA TORNILLO | p2 | 51.7416 | 6.00 | 310.45 | 310.45 | |
| 0243920002 | LOCAL PARA ALMACEN, OFICINA Y GUARDIANIA | mes | 1.0000 | 500.00 | 500.00 | 500.00 | |
| | | | | | 86,755.67 | 86,755.67 | |
| EQUIPOS | | | | | | | |
| 0337010001 | HERRAMIENTAS MANUALES | %mo | | | 230.55 | 230.55 | |
| 0337010103 | CASCO DE SEGURIDAD | und | 10.0000 | 12.00 | 120.00 | 120.00 | |
| 0337010104 | BOTAS DE JEBE | par | 10.0000 | 25.00 | 250.00 | 250.00 | |
| 0337050026 | CHALECOS DE SEGURIDAD | und | 10.0000 | 10.00 | 100.00 | 100.00 | |
| 0337990100 | LENTE DE PROTECCION | und | 10.0000 | 5.00 | 50.00 | 50.00 | |
| 0348010087 | ESTACIÓN TOTAL INCLUYE PRISMAS Y BASTONES | hm | 8.8117 | 20.00 | 176.23 | 176.72 | |
| 0348040036 | CAMION VOLQUETE 15 m3 | hm | 22.1024 | 180.00 | 3,978.43 | 3,978.43 | |
| 0349040091 | CARGADOR FRONTAL CAT-930 | hm | 54.2140 | 220.00 | 11,927.08 | 11,927.08 | |
| 0349060055 | RETROEXCAVADOR SOBRE LLANTAS 58 HP. | hm | 78.1588 | 200.00 | 15,631.76 | 15,631.76 | |
| | | | | | 32,464.05 | 32,464.54 | |
| Total | | | | | S/ | 127,032.78 | 127,037.15 |
| | | | | | S/ | 127,037.15 | |

Nota. Elaboración propia