

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE SOLUCIONES DE DEFENSA
RIBEREÑA PARA EL TRAMO CRÍTICO C.P. CAMIARA,
CARRETERA LOCUMBA – ILABAYA: SISTEMA DE
GAVIONES Y GEOESTRUCTURAS**

TESIS

Presentada por:

Bach. Saúl Rodrigo Layme Mamani

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

TACNA - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE SOLUCIONES DE DEFENSA RIBEREÑA
PARA EL TRAMO CRÍTICO C.P. CAMIARA, CARRETERA LOCUMBA -
ILABAYA: SISTEMA DE GAVIONES Y GEOESTRUCTURAS”**

Tesis sustentada y aprobada el día 17 de enero del 2025 estando integrado
el Jurado Calificador por:

PRESIDENTE

: 

Dr. Ing. Victor Yapuchura Platero

SECRETARIO

: 

Ph.D. Ing. Edwin Martin Pino Vargas

VOCAL

: 

Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga

ASESOR DE TESIS

: 

Mgr. Ing. Julia Cleila Laura Quispe

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **Mgr. Ing. Julia Cleila Laura Quispe**, en mi condición de **ASESOR (A)** acreditado con Resolución de Facultad N° 849-2024-FIAG/UNJBG del 11 de Noviembre del 2024, del Trabajo de Tesis titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE SOLUCIONES DE DEFENSA RIBEREÑA PARA EL TRAMO CRÍTICO C.P. CAMIARA, CARRETERA LOCUMBA - ILABAYA: SISTEMA DE GAVIONES Y GEOESTRUCTURAS**. Presentado por el Bachiller Saúl Rodrigo Layme Mamani, Para optar el título profesional de **Ingeniero Civil**.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual de la UNJBG; considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 11 %. Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis y/o trabajo enunciado líneas arriba, la cual esta expedita para continuar con los trámites para optar el título profesional de **Ingeniero Civil**, según corresponda para su publicación en el Repositorio Institucional.

Tacna, 13 de Febrero del 2025.



FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos: Mgr. Ing. Julia Cleila Laura Quispe

DNI: 47109933



Huella dactilar



FIRMA-AUTOR

Nombres y apellidos: Saúl Rodrigo Layme Mamani

DNI: 48178938



Huella dactilar

DEDICATORIA

A la mujer que siempre me ha brindado su amistad y su amor incondicional: Mi madre, Emiliana Mamani Mamani; a mi querido padre y hermano, Luis Layme Montanez y Luis Eduardo Layme Mamani, por todo su apoyo constante; a mi amada hija, Carol Rafaella Layme Chanini, por ser el motor y motivo de mi progreso como padre, persona y profesional en el hoy y en el futuro.

Saúl Rodrigo Layme Mamani

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien me ha dado la fortaleza y vida para culminar los estudios universitarios y concretar un anhelo profesional. A cada integrante de mi familia, por su apoyo constante, siendo parte importante en mi vida.

A mis amigos, por todo su apoyo, siendo parte valiosa para la culminación de la presente tesis.

A cada uno de los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por la calidad de personas, profesionalismo y conocimientos valiosos impartidos.

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	I
HOJA DE JURADO	II
CERTIFICADO DE SIMILITUD	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.4 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
CAPÍTULO II: SITUACIÓN A INVESTIGAR.....	7
2.4.1 Estudio de suelos.....	17
2.4.2 Estudio de hidrología	21
2.4.2.1 Pluviometría.....	24
2.4.2.1.1 Información disponible	24
2.4.2.1.2 Disponibilidad de datos de precipitación	25
2.4.2.1.3 Análisis de consistencia de la información pluviométrica	25
2.4.2.1.4 Análisis gráfico.....	26
2.4.2.2 Modelamiento hidráulico	28
2.4.2.2.1 Metodología del análisis hidráulico	30
2.4.2.2.2 Modelación hidráulica en Hec Ras.....	30
2.4.2.2.3 Condiciones del borde de Manning.....	33
2.4.2.2.4 Resultados del análisis del modelo hidráulico	33
2.4.2.2.5 Conclusiones y recomendaciones	37
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO.....	38
3.1.1 SISTEMA DE GAVIONES	38

3.1.2 SISTEMA DE GEOESTRUCTURAS.....	42
3.1.3 MARCO METODOLÓGICO.....	48
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS PRELIMINAR DE DEFENSAS RIBEREÑAS	49
4.1.1 PRE-DIMENSIONAMIENTO DE PROTECCIÓN RIBEREÑA CON GAVIONES	50
4.1.2 PRE-DIMENSIONAMIENTO DE PROTECCIÓN RIBEREÑA CON GEO-ESTRUCTURAS:.....	52
4.2.1 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD NATURAL – SECTOR CAMIARA	55
4.2.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD CON SISTEMA DE GAVIONES	59
4.2.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD CON SISTEMA DE GEO-ESTRUCTURAS.....	62
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS ECONÓMICO DE SISTEMAS DE DEFENSA	65
5.1.1 SINTESIS DE METRADOS – SISTEMA DE GAVIONES.....	67
5.1.2 PRESUPUESTO – SISTEMA DE GAVIONES	70
5.2.1 SINTESIS DE METRADOS – SISTEMA DE GEO-ESTRUCTURAS	74
5.2.2 PRESUPUESTO – SISTEMA DE GEO-ESTRUCTURAS.....	76
CAPÍTULO VI: PLANEAMIENTO FINAL DE SISTEMA DE GEO-ESTRUCTURAS	78
6.1.1 CARACTERÍSTICAS DEL GEO-TEXTIL TEJIDO PARA LOS TUBOS DE GEO-TEXTIL.....	78
CAPÍTULO VII: PROCESO CONSTRUCTIVO.....	83
CAPÍTULO VIII: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	92
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA.....	99
ANEXO	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ensayos Ejecutados en la Zona del Puente-Sagollo.....	20
Tabla 2 Resultado de Ensayo	21
Tabla 3 Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca Locumba.....	23
Tabla 4 Características de los Materiales.....	59
Tabla 5 Propiedades de los materiales para la Evaluación de la Estabilidad del Talud con Sistema de Geo-Estructuras	62
Tabla 6 Metrados con Gaviones.....	67
Tabla 7 Síntesis de Metrados – Sistema de Gaviones.....	69
Tabla 8 Presupuesto Referencial Sistema de Gaviones.....	70
Tabla 9 Metrados – Dique con geo-estructuras (margen derecha)	74
Tabla 10 Síntesis de Metrados – Sistema Geo estructuras	76
Tabla 11 Presupuesto Referencial – Sistema de Geo-Estructuras	77
Tabla 12 Conclusiones del Estudio de Estabilidad	92
Tabla 13 Resultados del Análisis Económico	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano de Planta	8
Figura 2. Vista Aérea de la Carretera Locumba - Río Locumba	9
Figura 3. Cauce Principal del Río Locumba	10
Figura 4. Zona de Estudio Río Locumba Geollaqta 2014.....	11
Figura 5. Río Sagollo - Flujo de Agua	12
Figura 6. Río Sagollo - Erosión en Máximas Avenidas.....	12
Figura 7. Río Sagollo en el Huayco del 2019	13
Figura 8. Área de Estudio en 2023.....	14
Figura 9. Socavación Actual en Locumba	15
Figura 10. Disposición General del Dique Tapón y Nuevo Encauzamiento	16
Figura 11. Disposición de Calicatas Ejecutadas.....	19
Figura 12. Cuenca del Río Locumba.....	24
Figura 13. Relación de Estaciones de Precipitación	25
Figura 14. Precipitación Mensual al 75%	27
Figura 15. Flujo Metodológico.....	30
Figura 16. Entorno Civil 3D – Río Locumba Ubicación de la Intervención.....	32
Figura 17. Condiciones de Borde del Río Locumba	33
Figura 18. Río Locumba Sección Transversal.....	34
Figura 19. Datos de Entrada y Salida	35
Figura 20. Perfil de Lámina de Flujo	36
Figura 21. Perspectiva de la Modelación Hidráulica HEC-RAS.....	37
Figura 22. Esquema de Gavión tipo Caja.....	39
Figura 23. Protección Ribereña con Sistema de Gaviones Margen Derecha - Puente Locumba	42

Figura 24. Sistema de Contención de Taludes con Sistema de Gaviones un solo Lado de la Vía.....	42
Figura 25. Secciones Transversales de Geo-tubos.....	43
Figura 26. Esquema de la Colocación de los Mantos Anti-socavación.....	46
Figura 27. Protección Ribereña – Puente Mavila	47
Figura 28. Sección Transversal con Gaviones	50
Figura 29. Pre dimensionamiento de Gaviones.....	51
Figura 30. Esquema de Máxima Erosión prevista	52
Figura 31. Pre-dimensionamiento de Sección Transversal.....	53
Figura 32 .Análisis Estático - Talud Natural.....	57
Figura 33. Análisis Seudo Estático – talud Natural.....	58
Figura 34. Análisis Estático – talud con Sistema de Gaviones	60
Figura 35. Análisis seudo Estático – talud con Sistema de Gaviones.....	61
Figura 36. Análisis Estático Sistema Geo-Estructuras.....	63
Figura 37. Análisis Seudo Estático Sistema Geo-Estructuras	64
Figura 38. Dique margen Derecha – Sistema de Gaviones.....	66
Figura 39. Dique Sistema de Geo - Estructuras	71
Figura 40. Características para Tipos de Geo-Tubos	72
Figura 41. Procedimiento - Poza de Pruebas.....	89
Figura 42. Esquema del Llenado de las Geo-estructuras.....	90
Figura 43. Perspectiva Panorámica de Diques	94

RESUMEN

La presente tesis titulada *ANÁLISIS COMPARATIVO DE SOLUCIONES DE DEFENSA RIBEREÑA PARA EL TRAMO CRITICO C.P CAMIARA, CARRETERA LOCUMBA – ILABAYA: SISTEMA DE GAVIONES Y GEO ESTRUCTURAS* se ejecutó con el objetivo de elegir la mejor alternativa de defensa ribereña para el tramo crítico en el C.P Camiara – Distrito Locumba aplicando las normas peruanas: Normas de Estudio de Suelos, Normas Hidráulicas y el Reglamento Nacional de Edificaciones actuales.

Teniendo en cuenta que en el este sector sur del Perú y en distintos sectores el sistema genérico es el sistema de gaviones, es de importancia tener otras opciones donde nos permitan optimizar y mejorar en sistemas para el beneficio tanto económico, técnico y social en el cauce natural de los valles, ríos y avenidas del Perú, trayendo estabilidad para el desarrollo en zonas críticas donde las cuencas, pueden ser un peligro para la Sociedad y la economía,

Finalmente, después de los estudios comparativos se encuentra como sistema óptimo el de geo – estructuras por tener el material a utilizar a corta distancia promedio, esto da una reducción significativa a la inversión con el mismo resultado tanto técnica como socialmente en el Tramo Crítico del Centro Poblado Camiara – Distrito Locumba.

ABSTRACT

One In the present thesis entitled “COMPARATIVE ANALYSIS OF RIPARIAN DEFENSE SOLUTIONS FOR THE CRITICAL SECTION C.P CAMIARA, LOCUMBA – ILABAYA HIGHWAY: GABION SYSTEM AND GEOSTRUCTURES” was carried out with the objective of choosing the best alternative for riverside defense for the critical section in the C.P Camiara – Locumba District applying the Peruvian standards: Soil Study Standards, Hydraulic Standards and the current National Building Regulations.

Taking into account that in the southern sector of Peru and in different sectors the Generic System is the Gabion System, it is important to have other options that allow us to optimize and improve systems for the economic, technical and social benefit in the Natural Channel of the Valleys, Rivers and Avenues of Peru, bringing stability for development in critical areas where the Basins can be a danger to society and the economy,

Finally, after the Comparative Studies, the Geo-Structures System is found to be the Optimal System because the material to be used is at a short average distance, this gives a significant reduction in investment with the same result both technically and socially in the Critical Section of the Camiara Population Center - Locumba District.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Un problema frecuente que ocurre en las márgenes de los ríos es la erosión y socavación provocada por el constante cambio en los niveles de agua. Por consiguiente, es de importancia priorizar un método de mitigación que permita resguardar y conservar en buen estado los taludes adyacentes a los ríos, especialmente en zonas con infraestructuras clave como carreteras, autopistas o demás estructuras siendo importantes para el desarrollo del país.

En el Territorio Peruano, la mayor parte de los métodos de protección ribereña suelen emplear soluciones convencionales con material granular, como grava, que son efectivas y permiten una construcción rápida en áreas donde su obtención no representa dificultades. A pesar de ello, se encuentran áreas en algunas regiones de nuestro país donde la disponibilidad de material granular es incierta, la implementación de una alternativa como la mencionada anteriormente se vuelve económicamente inviable.

Por ende, la alternativa planteada para desarrollar la defensa ribereña en las partes críticas del valle locumba se fundamenta en diques guía formados por tubos de geotextil de gran resistencia, rellenos con material extraído del mismo cauce. Además de aprovechar los recursos locales, estos elementos de gran tamaño brindan una mayor protección frente a la dinámica del río.

Esta tesis se organiza en ocho (08) capítulos, estructurados para abordar el tema de manera adecuada. En primer lugar, se presentan los fundamentos que justifican el problema central del estudio. Luego, se analizan dos alternativas con el objetivo de mitigar dicho problema. Del mismo modo, Se describirá la solución más eficaz, abarcando tanto la etapa

de diseño como el proceso de construcción. Por último, se analizarán los resultados y se presentarán las conclusiones más significativas, junto con recomendaciones derivadas del análisis realizado.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

- A nivel mundial, la situación actual de los caudales en los ríos, avenidas, y demás es impredecible por el riesgo a caudales de tiempos de retorno mayores, poniendo en riesgo en zonas críticas aledañas donde hay edificaciones, carreteras, reservorios, canteras y demás construcciones que son la base de la economía en cada pueblo, ante ello debemos prevenir para su correcto cauce y disminuir los desastres que puedan ocurrir por la naturaleza. Sin perjudicar la productividad económica de la población y su desarrollo des-centralizado.

- En América del Sur, las defensas ribereñas con geo – estructuras constituyen una de las alternativas más usadas para el desarrollo del país, en base a ellas se reduce los costos de inversión, su impacto ambiental, El fortalecimiento de las condiciones laborales y, en general, de la calidad de vida de la población. Este sistema de Geo – Estructuras tiene la finalidad de usar recursos propios de la zona para reducir el caudal de las venidas en periodos distintos.

- Por otra parte, en el Perú, no se cuenta con una normatividad clara y concreta para el análisis y diseño de defensas ribereñas, y menos aún de este sistema innovador que está siendo usado cada vez con más confiabilidad y categorizándose el mejor sistema, ofreciendo mayor mano de obra y menor maquinaria pesada, reduciendo los costos y aumentando el trabajo no especializado, dando la garantía de ser una defensa ribereña moderna para el futuro del Perú.

1.2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.2.1 Interrogante general

¿Qué defensa ribereña será mejor en el tramo crítico del C.P Camiara – distrito Locumba para un proyecto de inversión?

1.2.2.2 Interrogantes específicas

-¿Cuáles son las Propiedades del Suelo y de las avenidas para realizar una defensa ribereña optimizada en el C.P Camiara – Distrito Locumba?

- ¿Qué estudios de taludes es el óptimo para la realización de la defensa ribereña a escoger?

- ¿Cómo diseñar y cuál es el proceso constructivo de los sistemas de defensas ribereñas a analizar?

1.2.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

- En el departamento de Tacna, se encuentra una de las cuencas principales valle Locumba, donde desemboca en el océano pacifico, a lo largo de todo su recorrido hay carreteras principales, edificaciones, puentes y demás construcciones donde la población se conecta para su desarrollo económico y social, resultando de especial interés los tramos aledaños al río donde si bien es cierto hay defensas ribereñas como taludes, gaviones o terraplenes provisionales para garantizar el caudal permitido. La socavación y erosión del río Locumba junto a las avenidas de la naturaleza en épocas de lluvias, trae consigo el desgaste y erosión de dichas defensas ribereñas provisionales, ganando metros de ancho del río y no respetando la dirección originaria del eje del río naturalmente.

- Valorando nuestro tema escogido, es importante para nuestro desarrollo como sociedad, sobre todo para proyectistas y proyectos de inversión similares, dar esta alternativa del Sistema de Defensa Ribereña con Geo – Estructuras, cumpliendo de manera objetiva el aspecto ambiental como el aspecto económico.

1.2.4 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.2.4.1 Hipótesis general

Aplicando las Normas Peruanas para Defensas Ribereñas se Realiza el Diseño de la Defensa Ribereña por el Sistema de Geo – Estructuras en el Sector Crítico C.P. Camiara – Distrito Locumba.

1.2.4.2 Hipótesis específicas

- Describiendo las Propiedades de Clasificación de Suelos y estudios hidráulicos, se ha hallara el material dominante en el río, como también del caudal máximo y su periodo de retorno para 200 años en dicho caudal del tramo crítico.

- Realizando el análisis de estabilidad de talud natural, estático y pseudo-estatico para ambos sistemas de defensa ribereña se determina que ambos factores de seguridad no fracasaran en cuanto no varíen los requisitos pero el que brinda mayor factor de seguridad es el logrado con el sistema de geo – estructuras.

- Haciendo un diseño preliminar para ambos sistemas de defensa ribereña, con sus presupuestos, se llega a la conclusión que el sistema de geo – estructuras es el más económico y con menor impacto Ambiental para el Proyecto de Inversión.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Elaborar una propuesta de solución en defensa ribereña mediante un sistema de geo estructuras.

1.3.2 Objetivos específicos

- Examinar las características geotécnicas, hidráulicas y estabilidad de taludes como también sus problemas de erosión y socavación para ambos sistemas de defensa ribereña, en las riberas del río Locumba, en la zona crítica del C.P Camiara, distrito Locumba.

- Analizar la incorporación de los dos sistemas: gaviones y geo-estructuras técnica y Económicamente, los cuales resuelven los problemas de socavación y erosión en la zona crítica del río Locumba en el C.P Camiara, distrito Locumba.

- Desarrollar el resultado de la protección ribereña con geoestructuras, Incluyendo tanto la fase de diseño como el proceso de construcción.

1.4 ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

Se analizó la problemática en la zona crítica del C.P. Camiara, en la carretera Locumba-Illabaya con el río Locumba, detallando los estudios realizados para detectar las limitaciones del área y proponer posibles soluciones. A partir de estos análisis, se plantearon dos alternativas para la defensa ribereña: el sistema de gaviones y el sistema de geo estructuras, permitiendo así una comparación entre ambas opciones. Este análisis incluyó la descripción y evaluación técnico-económica de cada sistema.

Una vez definida la solución óptima para la defensa ribereña, se especificaron las características esenciales de las estructuras a instalar, junto con su diseño y el procedimiento de construcción.

1.5 ANTECEDENTES

El corredor vial, en la autopista PE 1S, entre el Puente Camiara y Kilómetros arriba del Puente Trapiche (Limite entre el distrito de Ilabaya - Locumba), contempla la carretera TA-515. Dicha estructura, con una antigüedad de más de 13 años, tiene una longitud de 32 km + 178 m desde el Puente Camiara al Límite con Ilabaya y un perfil longitudinal regular. La carretera en toda su longitud presenta tramos donde su talud está muy cerca al río Locumba como también tramos donde no interviene el río locumba estando apegadas al otro extremo de la cuenca Locumba o zonas boscosas.

Durante las crecidas máximas de 2019, los tirantes de flujo superaron los valores previstos en el diseño del puente Sagollo, lo que provocó su colapso, así como el del puente Chipe. Además, la margen derecha (aguas abajo) sufrió una fuerte erosión debido a la intensidad de los flujos de agua, lo que provocó el socavamiento del relleno del estribo derecho y el colapso de la losa de aproximación junto con el tablero del puente, dejando el tránsito interrumpido de manera permanente hasta el año 2022.

Las primeras acciones de protección contra la erosión en ambas márgenes del puente Sagollo incluyeron la construcción de una nueva estructura, Nuevo pilar y nuevos estribos. Dichas estructuras permitieron minimizar la erosión, pero el caudal aguas abajo y en lugares aledaños a la carretera es donde a futuro perjudicara el talud y comprometerá la Carretera, Por ello, resulta fundamental llevar a cabo estudios detallados para establecer una protección ribereña que asegure la estabilidad duradera y sólida de los taludes impactados.

CAPÍTULO II

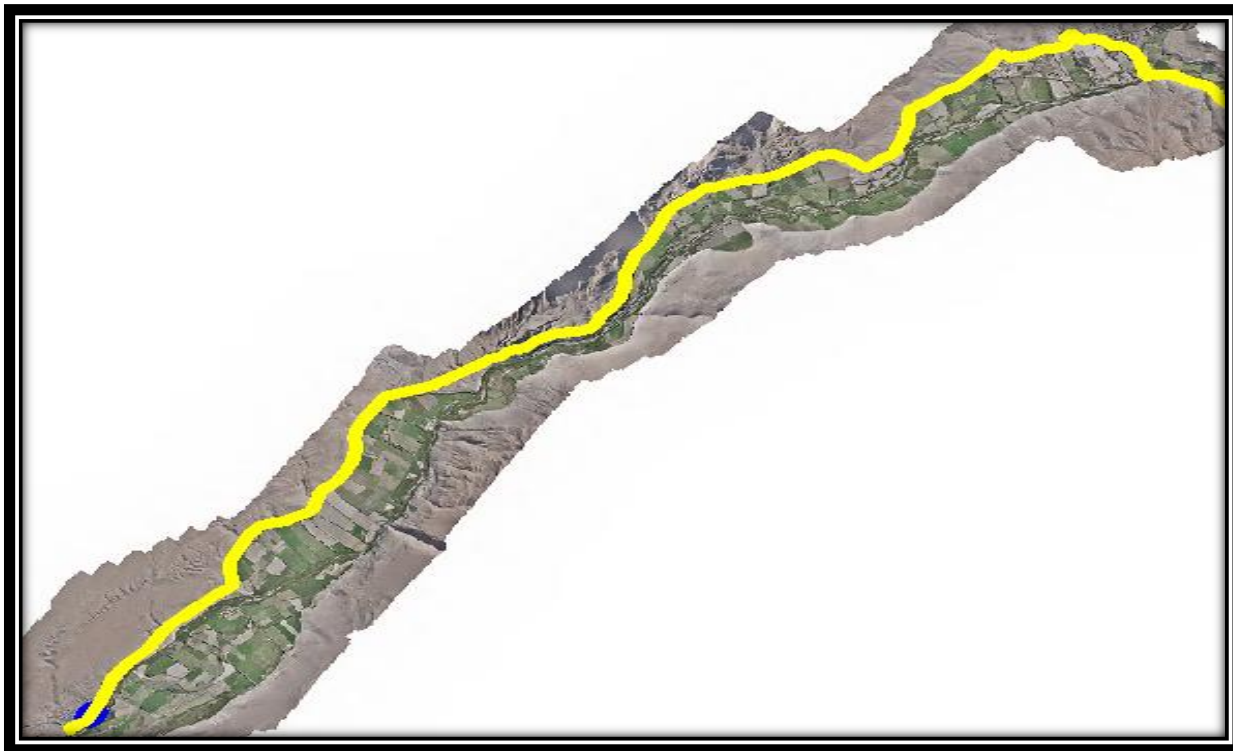
SITUACIÓN A INVESTIGAR

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CARRETERA LOCUMBA-ILABAYA

La carretera Locumba – Ilabaya es un proyecto vial que fue iniciado el 2008 y entregada en el año 2014. En la actualidad hace parte de la red nacional con nombre “TA-515” conectando en el puente Camiara con la Red Nacional PE-1S

Figura 1

Plano de Planta



Nota. Plano de Planta de la Carretera TA-515. Elaboración propia

2.2 EVALUACIÓN DEL PROBLEMA

Como se observa en la figura 1, el flujo de agua de la corriente principal del río Locumba no discurre de manera paralela a la carretera TA-515 en ese sector de la vía.

Los efectos de socavación y erosión lateral en el talud cerca de la carretera En el tramo AB (ver Figura N°02), se pone en riesgo la estabilidad del talud de la carretera ubicada en esa área estando aledaño al Centro Poblado Camiara, y aún más si se visa que el cauce del río está tratando de cortar la carretera para cambiar su dirección del flujo de agua.

Figura 2

Vista Aérea de la Carretera Locumba - Río Locumba



Nota. Vista Aérea Tomada por el Dron Wingtra al área a intervenir. Elaboración propia

Desde el inicio de construcción de la carretera Locumba - Ilabaya, se visa que el meandro del cauce del río Locumba, en el tramo indicado en la figura 2, ha sobrellevado un importante desplazamiento que por ende Uno de los márgenes del río se sitúa junto al pie del talud de la carretera, comprometiendo la estabilidad de la vía en un tramo de alrededor de 75 metros.

En la figura 1 y 2, se observa un levantamiento con ortofotos ejecutado en la zona de estudio, en el año 2023, por el Proyecto: “Mejoramiento y Ampliación del Servicio de Catastro Urbano – Rural del Distrito de Locumba, Prov. Jorge Basadre – Tacna”, y en la figura 3 y 4 se muestra un levantamiento topográfico realizado en Julio 2013 por Satélite Google Maps. El análisis de estas figuras indica que la curva del meandro, situada justo aguas abajo del sector en estudio, se ha desplazado aproximadamente 5 metros en dirección horizontal, acercándose a la vía hasta alcanzar el talud de la carretera de acceso por la margen derecha. Como consecuencia, dicho talud enfrenta un riesgo potencial de colapso, y existe la posibilidad de que el cauce principal del río interrumpa la carretera, dejando aislada la vía Locumba – Ilabaya.

Figura 3

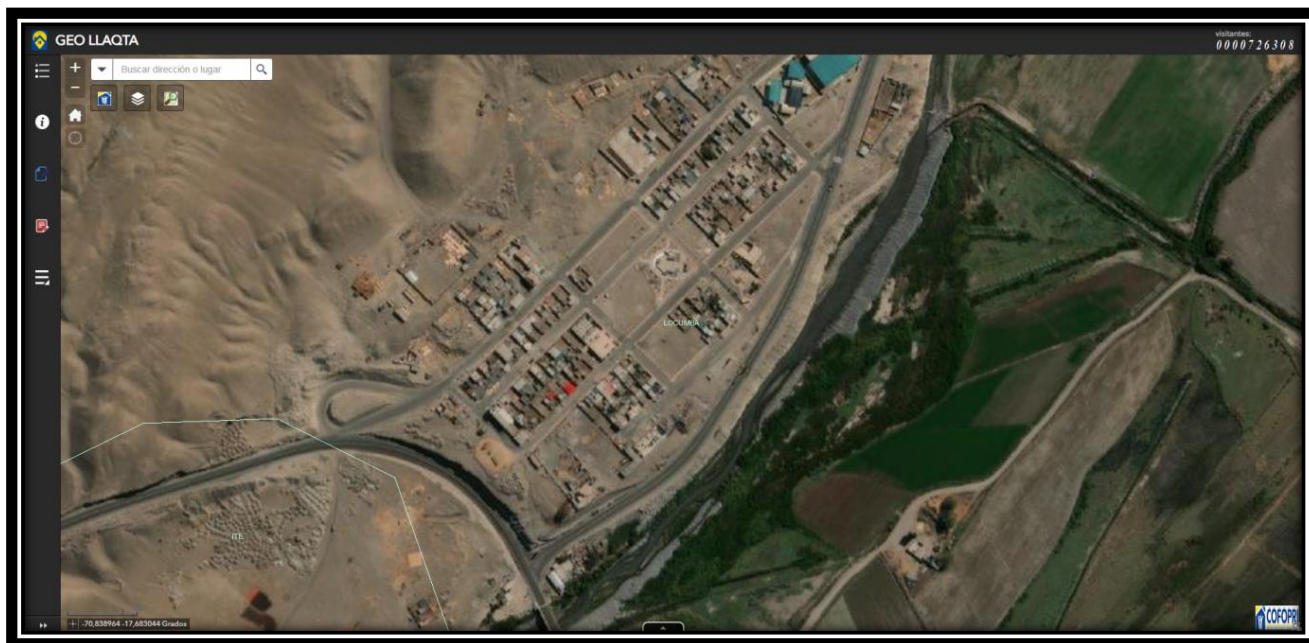
Cauce Principal del Río Locumba



Nota. Imagen – Ortofoto Satelital tomada del río Locumba en el año 2013 tomado de Google Maps (2013)

Figura 4

Zona de Estudio Río Locumba Geollaqta 2014



Nota. Río Locumba (zona de estudio). Tomado de *Geollaqta (2014)*.

En la máxima avenida ocurrida en el año 2019, tal como se muestra en las figuras 5, 6 y 7, los caudales rompieron una de las alas del puente Sagollo derrumbando el ingreso por el margen derecho (aguas abajo) e inhabilitando dicho puente perjudicando el comercio y la ganadería de estas zonas.

Figura 5*Rio Sagollo - Flujo de Agua*

Nota. Flujo de agua discurriendo durante la máxima avenida. Elaboración propia

Figura 6*Rio Sagollo - Erosión en Máximas Avenidas*

Nota. Se detalla la erosión de máximas avenidas afectando directamente la carretera Locumba – Ilabaya. Elaboración propia

Figura 7

Río Sagollo en el Huayco del 2019



Nota. Río Sagollo durante el huayco del 08 de febrero 2019. Elaboración propia

El desarrollo del cauce del río Locumba en la zona, se evidencia peligrosa para la integridad De la vía cercana. Esto se aprecia con claridad en la figura 6.

Al comparar la figura 2, tomada en agosto de 2023, con la figura 3, capturada en julio de 2013, se evidencia un acelerado desplazamiento del cauce principal del río hacia la carretera, comprometiendo la estabilidad de la vía.

Figura 8

Área de Estudio en 2023



Nota. Área en estudio (Camiara) carretera Locumba – Ilabaya (Dic. 2023). Elaboración propia

En la figura 8, tomada en diciembre del 2023, se observa el continuo proceso de erosión en el talud derecho aguas abajo, Provocando en el futuro su inevitable colapso y, como consecuencia, la inestabilidad de la vía en el tramo AB indicado en la figura 2.

La variación morfológica en el cauce del río Locumba, debido a la influencia, ocasiono una rígida socavación, avisando con variar su cauce y reducir el talud en el sector de estudio, tal como se puede observar en la figura 09.

Figura 9*Socavación Actual en Locumba*

Nota. Socavación producida a lo largo del río Locumba a la actualidad. Elaboración propia

2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

De la evaluación ejecutada en los márgenes del río Locumba revela que su cauce sigue experimentando cambios significativos, lo que hace imprescindible la implementación de un sistema de defensa ribereña. Esto permitirá asegurar la estabilidad de ambas márgenes del río y garantizar la continuidad del tránsito a través de puentes y carreteras en la zona.

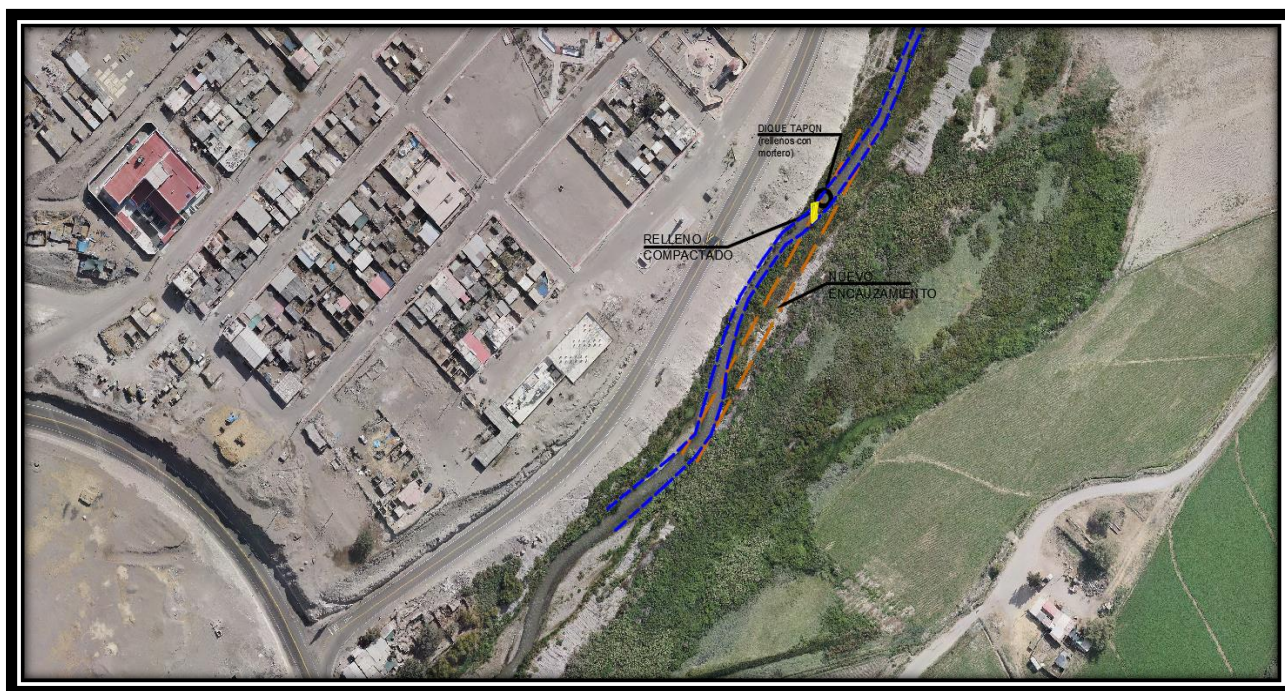
Adicionalmente, con el objetivo de encauzar el río Locumba aguas arriba en dirección paralela a la carretera Locumba-Ilabaya, Resulta esencial diseñar un proyecto que redirija el flujo principal del río Locumba en la zona de estudio. Para ello, se propone edificar un dique de cierre aguas arriba, conformado por un relleno compactado revestido con geoceldas de 0,15 m de espesor, llenas de mortero.

Tras la construcción del dique de cierre, se analizó un área de relleno con material sobrante de las excavaciones, complementado con un sistema de bombeo para evacuar las aguas residuales del antiguo cauce del río Locumba.

Con el propósito de representar de manera integral la solución del proyecto de defensa ribereña. en las zonas críticas de la carretera Locumba - Ilabaya, se detalla a continuación la figura 10, donde se observa la ubicación del dique tapón o de cierre y el nuevo encauzamiento a ejecutarse aguas abajo paralelas al eje de la carretera Locumba - Ilabaya.

Figura 10

Disposición General del Dique Tapón y Nuevo Encauzamiento



Nota. Disposición del nuevo flujo del río Locumba para la defensa ribereña a realizar.
Elaboración propia

Es importante aclarar que el alcance del análisis de esta tesis no contempla la construcción del dique de cierre aguas arriba. Sin embargo, su mención es fundamental para comprender la solución completa a desarrollar, ya que esta estructura será la encargada de bloquear el flujo de agua que originaba el meandro junto a la carretera y redirigir el cauce del río Locumba de forma paralela a la vía, restableciendo así su comportamiento original.

2.4 ESTUDIOS REALIZADOS

2.4.1 Estudio de suelos

Dentro del análisis de la obra “REPARACIÓN DE PUENTE Y MURO DE CONTENCIÓN, EN ESTRIBOS DEL PUENTE SAGOLLO EN LA LOCALIDAD SAGOLLO, DISTRITO LOCUMBA”, Se realizaron estudios geotécnicos para identificar las propiedades físico-mecánicas de los suelos en la zona de estudio, abarcando los alrededores del puente y las posibles canteras de material de préstamo para los diques guía. Ante las modificaciones en el puente Sagollo y el análisis del área en el anexo Camiara, es esencial diseñar una solución robusta que evite la erosión de los taludes cercanos a la carretera y asegure la estabilidad tanto de la vía como del puente Camiara.

La geomorfología de la zona es predominantemente plana, con una altitud que varía entre 600 y 800 m.s.n.m. Debido a la escasa variación en el nivel del terreno a lo largo de una gran extensión, los ríos fluyen de manera pausada, lo que favorece la formación de lagunas y meandros sinuosos durante el estiaje. El relieve del departamento de Tacna es suavemente ondulado, con lomadas, colinas, depresiones y terrazas aluviales, formadas sobre sedimentos blandos y subhorizontales del terciario superior, junto con depósitos aluviales del cuaternario.

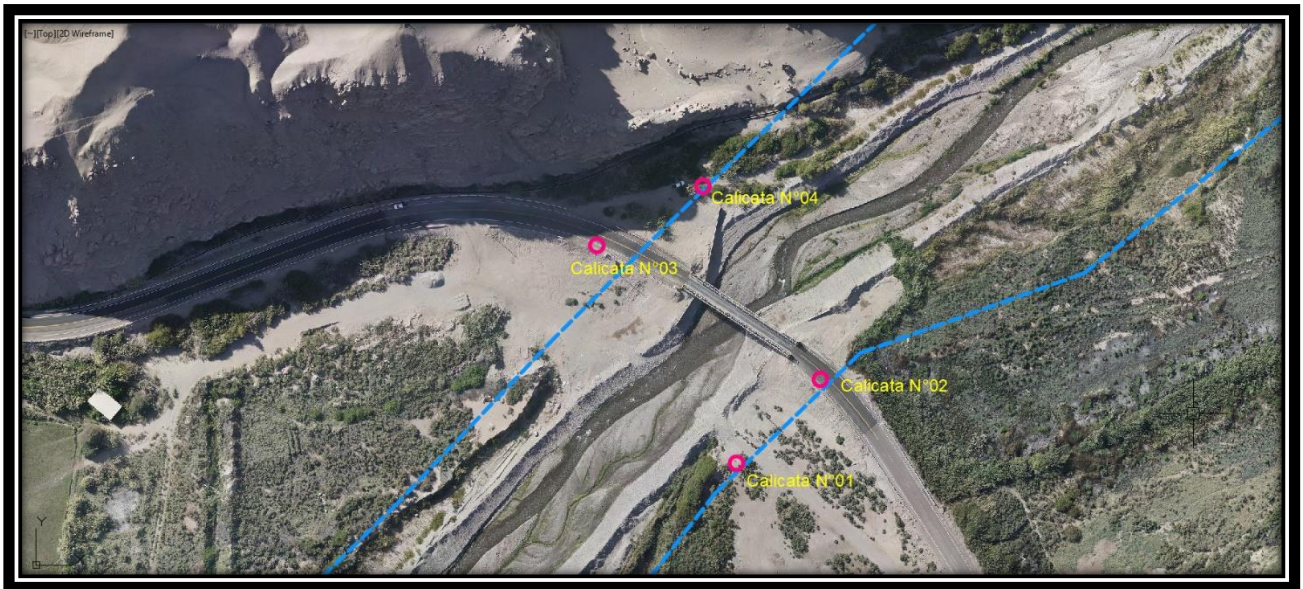
El valle de Locumba posee una topografía de baja variación, con un relieve suavemente ondulado y pendientes que alcanzan hasta el 8%. El río Locumba fluye de forma calmada, y aunque hay zonas susceptibles a inundaciones, también se observan terrazas y colinas donde se asientan centros poblados.

Los problemas de mayor incidencia observados en el área de estudio y en los tramos críticos de la carretera Locumba – Ilabaya son el resultado de procesos de erosión, derrumbes y socavamiento en las orillas de los ríos. Estos fenómenos se intensifican por diversos factores, como el incremento del caudal, la baja cohesión de las partículas del suelo y la acción del agua de lluvia en el transporte, sedimentación y erosión. Las transformaciones en las laderas de los ríos próximos a ciudades y poblados son especialmente relevantes, debido a su impacto directo en las comunidades.

Los suelos más comunes en la zona costera son permeables, lo que provoca filtraciones durante períodos de intensas lluvias. En caso de sismos de gran magnitud, la saturación del suelo puede generar licuación, causando asentamientos diferenciales que podrían comprometer la estabilidad de las bases estructurales y los taludes. Según la zonificación sísmica del Perú, la región de Tacna se encuentra en la zona 4, considerada de alta probabilidad sísmica, lo que hace que estos problemas sean especialmente recurrentes.

DETALLE DE LAS ACTIVIDADES EN TERRENO:

El análisis de suelos incluye la exploración directa en terreno, la recolección de muestras, las pruebas de laboratorio y la interpretación de los resultados obtenidos, en puntos clave a lo largo de las riberas del Puente Sagollo se recolectaron muestras mediante la realización de nueve (04) calicatas a la profundidad designada como C-01 a 3.50m; C-02 a 2.80m; C-03 a 2.00m; C-04 a 3.00m, medidas desde el nivel de la rasante del terreno actual, reflejadas en la siguiente figura 11:

Figura 11*Disposición de Calicatas Ejecutadas*

Nota. Calicatas elaboradas en la obra del nuevo puente Sagollo. Elaboración propia

Como se muestra, las calicatas C-01, C-02 fueron dispuestas en la margen derecha, mientras que las calicatas C-03 y C-04 en la margen izquierda del puente Sagollo. Se tomaron cuatro (04) muestras de material para realizar ensayos de corte Directo consolidado drenado.

ACTIVIDADES DE LABORATORIO Y OFICINA

Tras la recolección de muestras en campo, se llevaron a cabo los ensayos necesarios para identificar las propiedades físico-mecánicas de los suelos en la zona de estudio, incluyendo pruebas estándar de clasificación con el objetivo de calcular características como la plasticidad, la granulometría, la gravedad específica, entre otras. Estos análisis permiten establecer, de manera concisa, una relación empírica entre las propiedades del suelo y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el cual se fundamenta en la granulometría y la plasticidad.

Las pruebas se llevaron a cabo en el laboratorio geotécnico de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), siguiendo las cantidades y normativas especificadas en la tabla 1:

Tabla 1

Ensayos Ejecutados en la Zona del Puente-Sagollo

ENSAYO DE LABORATORIO	NORMA	# DE ENSAYOS
Análisis Granulométrico	ASTM D - 422	04
Límite Líquido	ASTM D - 4318	04
Límite Plástico	ASTM D - 4318	04
Clasificación de Suelos SUCS	ASTM D - 2487	04
Humedad Natural	ASTM D - 2216	04
Densidad Natural In Situ	ASTM D - 1556	04
Gravedad Específica	ASTM D - 854	04

Nota. Ensayos ejecutados en la zona del puente-Sagollo por la obra Puente Sagollo. Tomado de Basadre (2021).

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

En función a las pruebas realizadas en laboratorio, se llegó a la conclusión Se concluyó que el material posee las siguientes características:

El material predominante en ambas márgenes, derecha e izquierda, se clasifica según el SUCS como GP (Grava Mal Graduada) y GM (Grava Limosa); más del 6,31 % en peso pasa la malla # 200 (fino), lo cual evidencia que es un material casi impermeable.

En las tablas 2, se detallan las conclusiones obtenidas de las distintas muestras preparadas:

Tabla 2*Resultado de Ensayo*

MUESTRA	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	LIMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	GRAVEDAD ESPECÍFICA (Ge)	CLASIFICACIÓN (SUCS)
C-1	61,17	32,52	6,31	18,63	NP	2,663	GP-GM
C-2	58,38	33,43	8,19	18,07	NP	2,664	GP-GM
C-3	58,40	35,14	6,46	7,23	NP	2,665	GP-GM
C-4	61.40	33.22	5.38	17.77	NP	2.636	GP-GM

Nota. Síntesis de los resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras tomadas en la margen derecha. – margen izquierda. Tomado de Basadre (2021).

Teniendo los resultados mostrados, se determina que mayormente los suelos que forman el puente Sagollo están formados por suelos con gravas (pasan la malla 4), con clasificaciones de Grava Mal Graduada (GP). Los valores de humedad natural en los suelos identificados entre las profundidades de -2,00 m y -2,80 m oscilan entre 1,59 % y 1,82 %, mientras que para los suelos ubicados entre -3,00 m y -3,50 m varían entre 7,67 % y 7,46 %.

2.4.2 Estudio de hidrología

Un aspecto clave en el diseño de la defensa ribereña para el sector crítico del río Locumba es el estudio hidrológico, ya que el dimensionamiento de la protección dependerá de los niveles máximos de agua, así como de la dirección y velocidad del flujo en esas condiciones. Además, es fundamental conocer las profundidades de socavación general y local en el río Locumba.

La cuenca del río Locumba se caracteriza por una cobertura típica de Costa Baja, con vegetación moderada, terrenos de pendiente abrupta y suelos compuestos por gravas y material fino, tal como se explicó anteriormente en el estudio de suelos, el análisis de la

relación entre precipitación y escorrentía se fundamenta en los parámetros geomorfológicos de la cuenca, que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3*Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca Locumba*

Parámetro	Und	Cuenca del río
Área	Km ²	5834,25
Perímetro	Km	453,3
Longitud del cauce principal	Km	209,13
Pendiente del río principal	m/m	0,0276
Factor de forma	Adimens.	0,27
Índice de Compacidad	Adimens.	1,70
Altitud media	m.s.n.m	2599,2
Pendiente de la Cuenca	%	27

Nota. Parámetros elaborados del estudio hidrológico. Tomado de Basadre (2020).

Los parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Locumba permiten establecer las siguientes consideraciones:

- La cuenca presenta una pendiente pronunciada, lo que provoca que la escorrentía de aguas superficiales se desplace a alta velocidad incluso en condiciones pluviométricas normales.

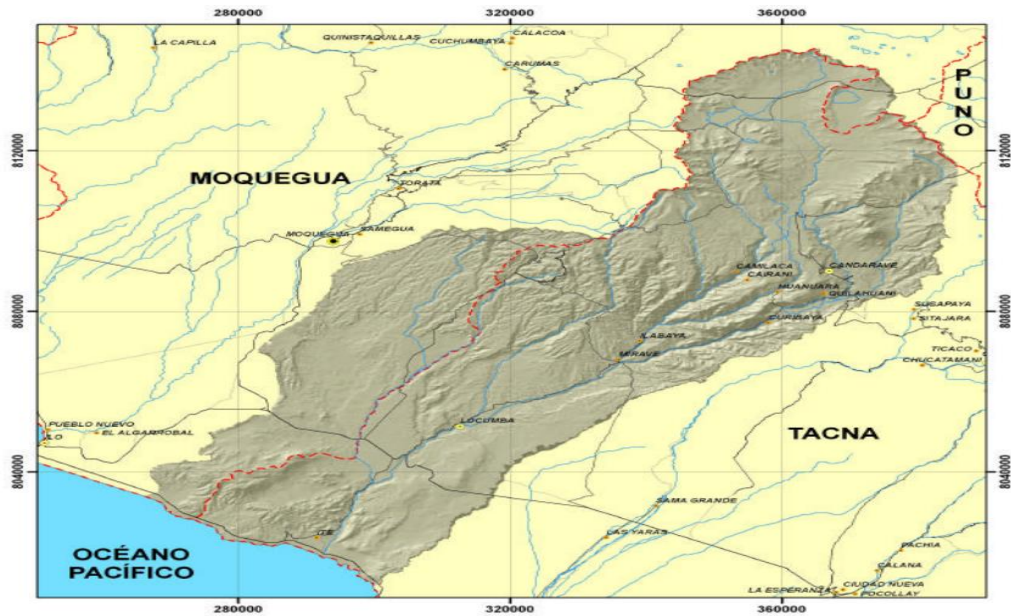
- La variabilidad en la velocidad del flujo de agua genera, en ciertas áreas, procesos significativos de erosión, colmatación y la formación de llanuras de inundación.

- El factor de forma se define como la relación entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud del cauce principal, es baja, lo que reduce la probabilidad de crecidas prolongadas.

- La forma rectangular oblonga de la cuenca influye en un índice de compacidad alejado de uno (proporción entre el perímetro de la cuenca y el de un círculo con la misma área), lo que indica que la cuenca está moderadamente expuesta a eventos de crecida.

Figura 12

Cuenca del Río Locumba



Nota. Cuenca del río Locumba. Tomado por Agua (2017).

2.4.2.1 Pluviometría

2.4.2.1.1 Información disponible

Para el análisis de precipitación, Se eligieron 16 estaciones con registros de información superiores a 10 años, ubicadas dentro y cerca de la cuenca del río Locumba. La fuente de los datos corresponde al servicio nacional de meteorología e hidrología-SENAMHI, al proyecto Especial Tacna (PET) y la southern Perú Cooper Corporation (SPCC) (MPJB, 2020, p. 28).

2.4.2.1.2 Disponibilidad de datos de precipitación

Figura 13

Relación de Estaciones de Precipitación

ESTACION	CUENCA	CODIGO	NORTE	ESTE	ALTITUD	PERIODO DE REGISTRO	FUENTE
ITE	LOCUMBA	19101106	8025000	292000	150	1965 - 2013	SENAMHI - TACNA
SAMA	SAMA	19111100	8032674	342105	532	1964 - 2006	SENAMHI - TACNA
ILABAYA	LOCUMBA	19101107	8071200	339500	1425	1964 - 2006	SENAMHI - TACNA
CURIBAYA	LOCUMBA	19101108	8078000	363800	2350	1964 - 2005	SENAMHI - TACNA
SITAJARA	SAMA	19111105	8075000	383200	3100	1964 - 2006	SENAMHI - TACNA
CAIRANI	LOCUMBA	19101109	8088132	355176	3205	1964 - 2012	SENAMHI - TACNA
SUSAPAYA	SAMA	19111106	8080500	380500	3399	1964 - 2010	SENAMHI - TACNA
CANDARAVE	LOCUMBA	19101102	8092800	368000	3415	1964 - 2013	SENAMHI - TACNA
TOQUEPALA	LOCUMBA	19101107	8088920	326600	3650	1952 - 2014	SPCC
QDA.HONDA	LOCUMBA	19101105	8100400	341300	4200	1966 - 2014	SPCC
CHUAPALCA	MAURE	19151101	8081609	430940	4250	1964 - 2010	SENAMHI - PET
CHALLAPALCA	MAURE	19151102	8095700	418800	4250	1964 - 2010	SENAMHI - TACNA
VILACOTA	MAURE	19151103	8106000	392000	4390	1964 - 2012	SENAMHI - PET
TACALAYA	LOCUMBA	19101104	8112000	352000	4400	1952 - 2014	SPCC
SUCHES	LOCUMBA	19101103	8130900	352300	4452	1956 - 2014	SPCC
VIZCACHAS	LOCUMBA	1910110C	8132670	373000	4625	1994 - 2010	PET

Nota. Relación de estaciones seleccionadas para el análisis de precipitación. Tomado por Basadre (2020).

2.4.2.1.3 Análisis de consistencia de la información pluviométrica

Un aspecto esencial del estudio hidrológico es evaluar la consistencia y homogeneidad de los datos hidro-meteorológicos. Omitir este proceso podría generar errores significativos en evaluaciones posteriores, como la estimación de la disponibilidad hídrica o el modelado de la relación entre precipitación y escurrimiento.

La metodología para analizar la consistencia se basa en la detección de cambios abruptos y tendencias en la media y la desviación estándar. Estos valores pueden descartarse si se desvían significativamente de la realidad, ajustarse cuando sea posible corregir el error o marcarse si la anomalía detectada es plausible a nivel local.

El procedimiento aplicado consta de los siguientes pasos:

- Evaluación gráfica para detectar cambios abruptos, tendencias y valores atípicos.

- Clasificación de estaciones con patrones pluviométricos similares.
- Aplicación del método de doble masa para identificar y verificar periodos de datos inconsistentes.
- Análisis estadístico para confirmar la homogeneidad en la media y en la variancia.
- Pruebas estadísticas para evaluar la significancia de las tendencias observadas.

2.4.2.1.4 Análisis gráfico

Se basa en una evaluación visual de la información original, representándola gráficamente en un sistema de coordenadas aritméticas, donde el eje vertical (ordenadas) muestra los valores de los datos y el eje horizontal (abscisas) representa el tiempo.

Figura 14

Precipitación Mensual al 75%

ESTACIÓN	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
ITE	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SAMA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ILABAYA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CURIBAYA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SITAJARA	11.3	10.4	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	24.6
CAIRANI	23.1	7.9	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	33.5
SUSAPAYA	25.4	6.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	44.2
CANDARAVE	28.1	13.2	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	48.4
TOQUEPALA	7.6	6.3	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	18.7
QDA HONDA	41.3	31.5	30.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	108.7
CHUAPALCA	71.4	28.1	37.8	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.4	30.3	170.7
CHALLAPALCA	68.0	41.6	32.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.3	184.1
VILACOTA	66.0	67.7	36.6	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.3	195.4
TACALAYA	81.1	71.7	44.5	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	28.6	232.4
SUCHES	66.7	51.9	47.2	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	35.9	210.5
VIZCACHAS	80.9	75.6	51.9	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.2	41.5	257.1

Nota. Precipitación mensual al 75 % de persistencia. Tomado por Basadre (2020).

Resultados:

- En la estación Vilacota se observa un posible cambio en la media y la desviación estándar, indicando un periodo más húmedo entre 1966 y 1986. Esta variación se confirmará con análisis de doble masa y pruebas estadísticas. En las demás estaciones, no se detectaron cambios significativos.

- No se observan tendencias visibles en ninguna de las series.

- Se identifican valores atípicos en la estación Toquepala durante los meses de febrero.

En los histogramas de precipitación total mensual de las estaciones Vilacota y Toquepala, se evidenció un posible salto en la media y la desviación estándar en la estación Vilacota y valores máximos anómalos en la estación Toquepala.

En el análisis de doble masa, se confirmó esta observación identificando el posible salto en la media y desviación estándar de la precipitación total mensual registrada en la estación Vilacota. Con respecto al registro de precipitación total mensual de la estación Toquepala, el análisis de doble masa, descarto la posibilidad de datos anómalos.

Por lo que se procedió al siguiente nivel de análisis estadístico para determinar si existe una desviación significativa en los parámetros media y desviación estándar, para lo cual se realizaron las pruebas T de Student y F de Fisher las cuales han demostrado que no existen saltos y tendencias en la precipitación total mensual de la estación Vilacota.

2.4.2.2 Modelamiento hidráulico

Los avances en la modelación matemática del flujo de agua en los ríos durante los últimos 15 años en nuestro país, junto con el creciente uso de tecnologías vinculadas a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs), han permitido obtener una caracterización precisa de la escorrentía superficial y las zonas que atraviesa. Además, facilitan la estimación del riesgo de inundación en distintos territorios, representándolo mediante mapas detallados de calados y velocidades, los cuales pueden ser consultados por planificadores y ciudadanos a través de la web.

En términos más simples, La modelización matemática del flujo fluvial implica calcular variables hidráulicas como el caudal, el calado y la velocidad, mediante la resolución de ecuaciones con métodos numéricos fundamentados en distintas hipótesis. Una vez obtenidos estos valores en distintos puntos transversales a lo largo del cauce, es posible delinear la superficie del agua sobre un modelo digital de elevaciones.

Modelos unidimensionales

Bladé (s. f.) dice:

Para el estudio de los efectos de la propagación de avenidas en ríos, y en concreto para la obtención de velocidad y cota del agua, se han usado en el pasado más próximo y se siguen usando mayoritariamente en la actualidad, modelos unidimensionales en régimen permanente gradualmente variable y de fondo fijo. Estos modelos, los más extensamente utilizados por su sencillez y amplia difusión, pueden ser una herramienta suficiente para estudios donde la evolución temporal no sea un factor a tener en cuenta y el flujo sea eminentemente unidimensional. Se basan en esquemas numéricos relativamente simples pero eficaces (Ecuación de la conservación de la energía, ecuación de Manning, ecuación de la cantidad de movimiento, etc.), que pueden considerar cambios de régimen, cauces con geometrías complejas y con llanuras de inundación y singularidades tales como azudes, puentes, pasos bajo vía, etc.(p.01)

El modelo HEC-RAS

Este modelo numérico (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) del cuerpo de ingenieros del ejército de los EEUU, de uso libre y en continuo desarrollo, es usado en el ámbito de la ingeniería hidráulica fluvial con una gran aceptación por parte de la administración pública. Posee cómodas interfaces gráficas para representar la geometría y ver los resultados, comparando distintas hipótesis de funcionamiento, y realizar informes, pero no deja de ser una aproximación al flujo de lámina libre, con limitaciones de cálculos inherentes a las hipótesis de partida. Así, cuando el movimiento que se desea simular tiene componentes relevantes en más de una dimensión, los resultados de modelo serán simplificados o erróneos (MPJB, 2020, p. 49).

2.4.2.2.1 Metodología del análisis hidráulico

La aplicación de un modelo hidráulico en el software Hec-Ras, Para fines de investigación, se compone de tres pasos esenciales:

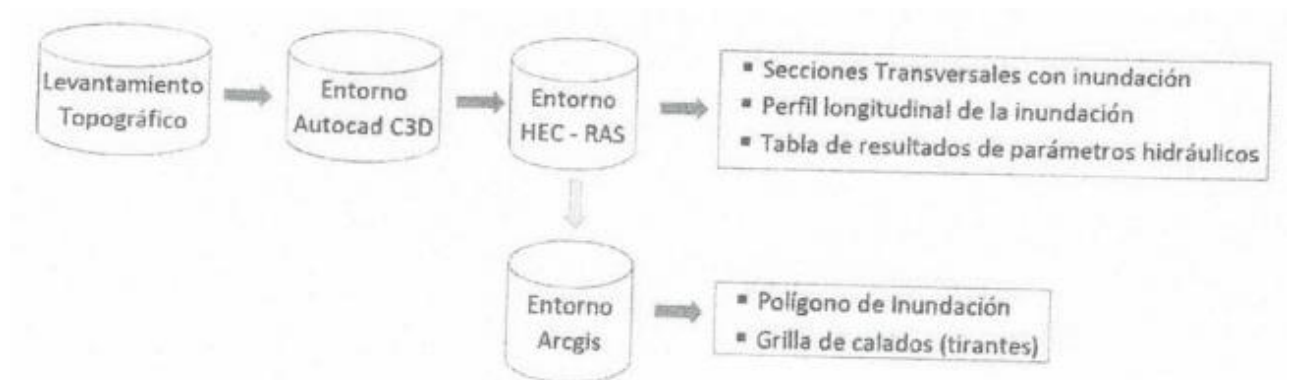
- Generar un Modelo de Elevación Digital (DEM) o una Red Irregular de Triángulos (TIN) utilizando herramientas de SIG como ArcGIS, QGIS o AutoCAD Civil 3D. Este modelo debe incluir un archivo de importación compatible con HEC-RAS, que contenga la información geométrica de las secciones transversales, el cauce y las llanuras de inundación.

- Configurar las condiciones de borde del modelo "Sin Proyecto", para un flujo permanente en el software Hec-Ras, como son el caudal para diferentes periodos de retorno de interés, coeficiente de rugosidad, para evaluar la simulación hidráulica sin ninguna estructura de control ante inundación y/o estructuras de pase.

- Exportar los resultados como son el polígono de inundación y grilla de calados (tirantes) al software Arcgis para una mejor visualización de resultados.

Figura 15

Flujo Metodológico



Nota. Flujo metodológico para las etapas y Resultado de Caudales. Tomado por Basadre, 2020).

2.4.2.2.2 Modelación hidráulica en Hec Ras

Para la realización del presente ítem, se ha utilizado los siguientes materiales condiciones de borde:

- Numero de Manning
- Caudales Máximos (m³/s) de diferentes periodos de retorno
- Condiciones de borde de los ríos de las quebradas.

Vectores:

- Geometría de los cauces de las quebradas.
- Secciones transversales de los cauces.

Software:

- Arcgis 10.6
- Hec-Ras 5.0.5
- AutoCAD Civil 3D 2018

Siguiendo el flujo de metodología de trabajo en el modelo hidráulico, detallamos la fuente de información y procesos llevados a cabo:

- La topografía obtenida a partir del estudio topográfico fue ajustada y optimizada en la superficie TIN para facilitar la exportación de las secciones transversales desde AutoCAD Civil 3D hacia HEC-RAS.

- Se delineó un eje en cada quebrada siguiendo los puntos más bajos del cauce, por donde fluye el agua, con el propósito de generar el perfil longitudinal de cada una y determinar la pendiente promedio del lecho del río.

- El eje de los cauces de las quebradas se traza desde el punto final de descarga o interés hacia el punto más alto del lecho, esto para que pueda interactuar y exportar las secciones al software HEC-RAS.

- Exportada las secciones transversales al HEC-RAS configuramos los datos de entrada de los modelos hidráulicos, teniendo en cuenta las condiciones naturales y existentes de los cauces de las quebradas.

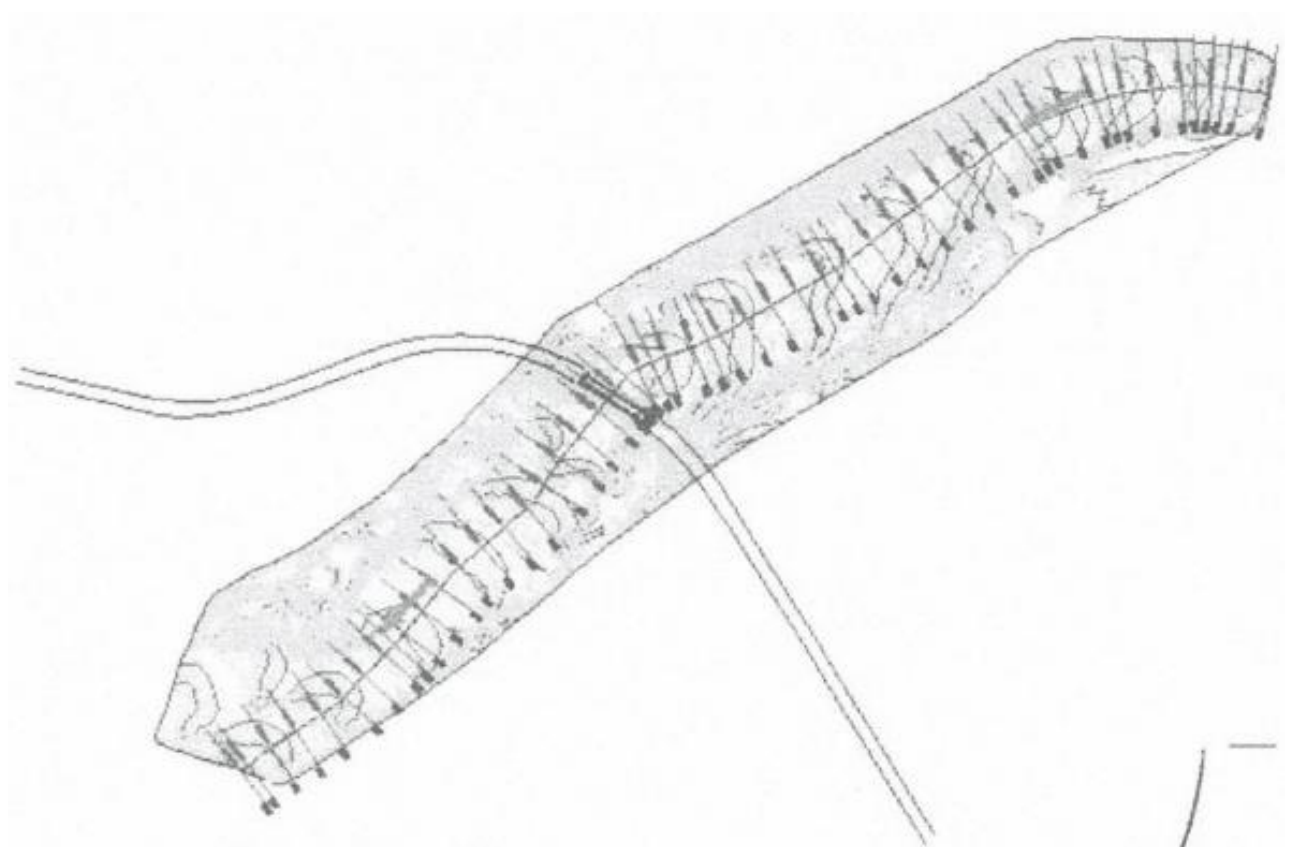
- Establecemos las condiciones de borde de la geometría del cauce para cada quebrada o cuenca.

- Configuramos las estructuras proyectadas, a estos proyectos los llamaremos como modelización hidráulica con proyecto.

- Finalmente, ejecutamos los modelos hidráulicos para los caudales de diseño.

Figura 16

Entorno Civil 3D – Río Locumba Ubicación de la Intervención



Nota. Entorno civil 3D – río Locumba ubicación de la intervención del estudio topográfico – Civil 3D. Tomado por Basadre (2020).

2.4.2.2.3 Condiciones del borde de Manning

Establecemos las condiciones de borde o iniciales para el modelo hidráulico, los que se detallan a continuación para el río Locumba:

Figura 17

Condiciones de Borde del Río Locumba

		Banco Izquierdo	Lecho del Cauce	Banco Derecho
Geometría del Cauce				
Manning	n	0.033	0.030	0.033
Condiciones de borde del Flujo				
Caudal Diseño (Tr 200 años)	m ³ /s	136.981		
Caudal para Socavación (Tr 200 años)	m ³ /s	136.981		
Geometría de la Estructura				
Tipo de Estructura	Infraestructura de captación de Concreto Armado			
Manning	n	0.014		
Transporte de sedimentos				
Diámetro medio de la partícula	mm	6.25		

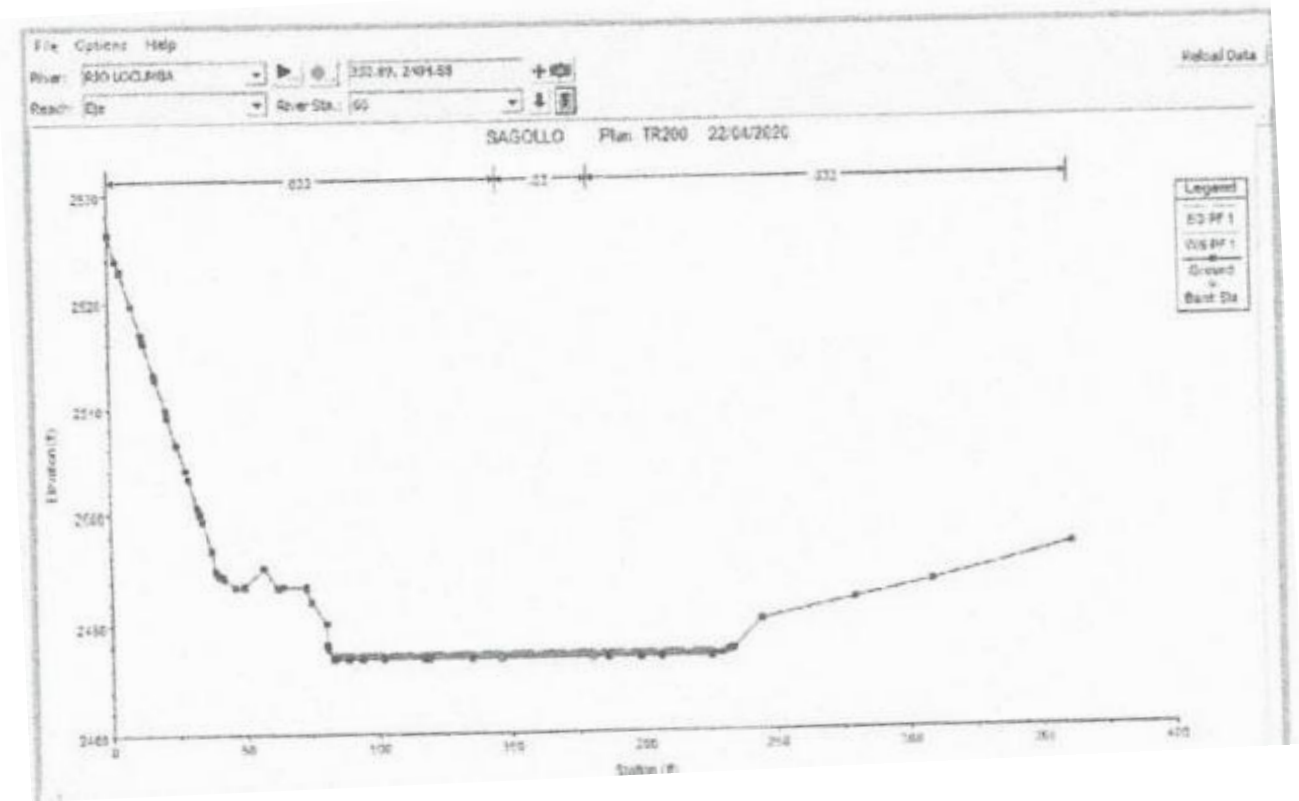
Nota. Condiciones del río Locumba para tiempos de retorno en 200 años. Tomado por Basadre (2020).

2.4.2.2.4 Resultados del análisis del modelo hidráulico

Tenemos los resultados gráficos del modelo numérico en HEC-RAS para el río Locumba, con proyecto, podemos visualizar el perfil de la lámina de inundación, así como las secciones transversales de interés.

Figura 18

Río Locumba Sección Transversal



Nota. Sección transversal reflejado por el Software HEC-RAS. Tomado por Basadre (2020).

Figura 19

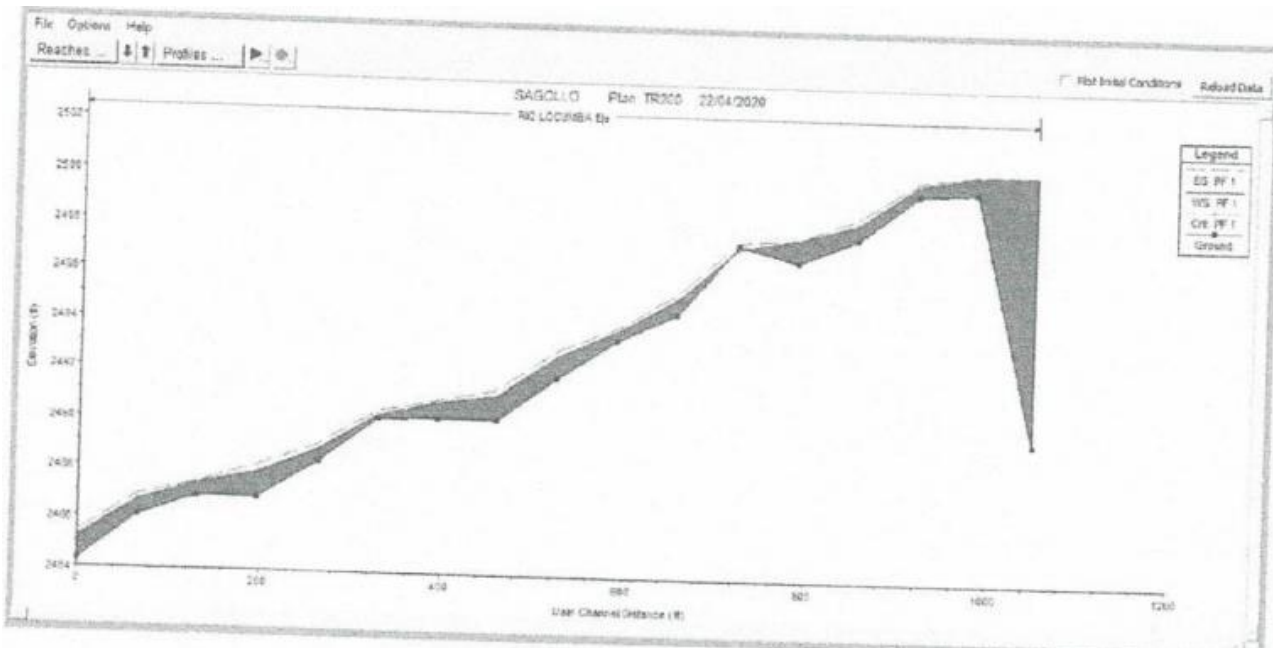
Datos de Entrada y Salida

File Type Options Help					
River: RIO LOCUMBA		Profile: PF 1			
Reach: Eye		RS: 60		Plan: TR200	
Plan: TR200 RIO LOCUMBA Eye RS: 60 Profile: PF 1					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (ft)	2487.43	Wt. n-Val.	0.033	0.030	0.033
Vel Head (ft)	0.06	Reach Len. (ft)	60.50	65.62	70.77
W.S. Elev (ft)	2487.37	Flow Area (sq ft)	31.14	16.70	23.62
Crit W.S. (ft)		Area (sq ft)	31.14	16.70	23.62
E.G. Slope (ft/ft)	0.004563	Flow (cfs)	58.86	35.20	42.92
Q Total (cfs)	136.98	Top Width (ft)	64.48	33.92	51.95
Top Width (ft)	150.35	Avg. Vel. (ft/s)	1.89	2.11	1.82
Vel Total (ft/s)	1.92	Hydr. Depth (ft)	0.48	0.49	0.45
Max Ch Dpth (ft)	0.53	Conv. (cfs)	861.9	515.5	624.6
Conv. Total (cfs)	2006.1	Wetted Per. (ft)	64.61	33.92	51.95
Length Wtd. (ft)	63.12	Shear (lb/sq ft)	0.14	0.14	0.15
Min Ch El (ft)	2486.88	Stream Power (lb/ft s)	0.27	0.30	0.24
Alpha	1.01	Cum Volume (acre-ft)	0.08	0.03	0.04
Frctn Loss (ft)	0.52	Cum SA (acres)	0.15	0.07	0.09
C & E Loss (ft)	0.02				
Errors, Warnings and Notes					
Warning: The conveyance ratio (upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4. This may indicate the need for additional cross sections.					
Select Profile					

Nota. Datos del río Locumba para los estudios hidrológicos en PR=200 años. Tomado por Basadre (2020).

Figura 20

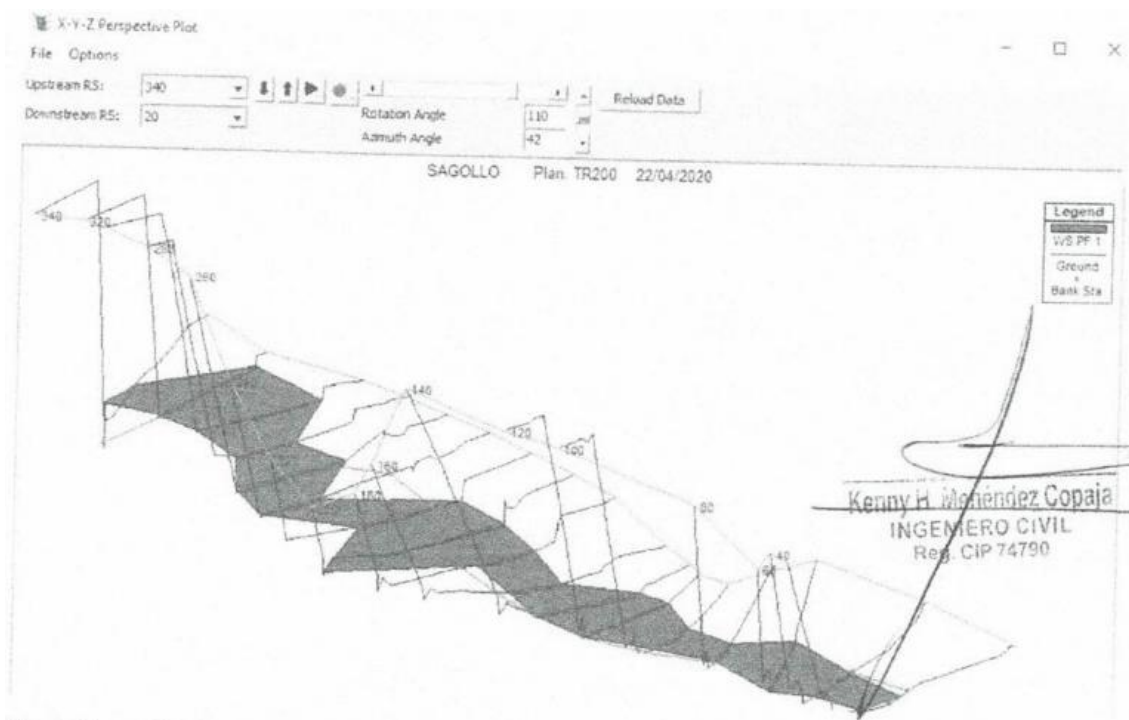
Perfil de Lámina de Flujo



Nota. Perfil de lámina de flujo desarrollado por el Software HEC-RAS. Tomado por Basadre (2020).

Figura 21

Perspectiva de la Modelación Hidráulica HEC-RAS



Nota. Perspectiva de la modelación por El Software HEC-RAS. Tomado por Basadre (2020).

2.4.2.2.5 Conclusiones y recomendaciones

- Se presenta el ancho estable del río para un periodo de retorno de 200 años, el cual tiene un máximo 73,38 metros en el escenario máximo.

- Se ha determinado los caudales máximos por tres diferentes métodos: análisis de frecuencia, modelo HEC-HMS e hidrograma triangular SCS; el modelo HEC-HMS es el que tuvo resultados más altos en comparación con los otros métodos teniendo, **un caudal de 96,52 m³/s y para TR 200 años un caudal de Q₂₀₀= 136,98 m³/s.**

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 DESCRIPCIÓN DE SISTEMAS DE DEFENSA RIBEREÑA

La importancia de proponer una solución que fuera técnicamente sólida, económicamente viable y ambientalmente sostenible implicó un análisis detallado de las diversas metodologías utilizadas para mitigar los problemas de socavación en los ríos. En este capítulo, se presentarán dos tipos de defensas evaluadas como posibles alternativas para la protección ribereña en el área de estudio.

Antes de llevar a cabo el análisis técnico y económico, es esencial evaluar la distribución del proyecto para determinar la facilidad de acceso a los recursos necesarios, como mano de obra, materiales y equipos. Además, es crucial considerar la rapidez con la que debe implementarse la solución para frenar el avance acelerado y evidente de la socavación en la zona.

3.1.1 Sistema de gaviones

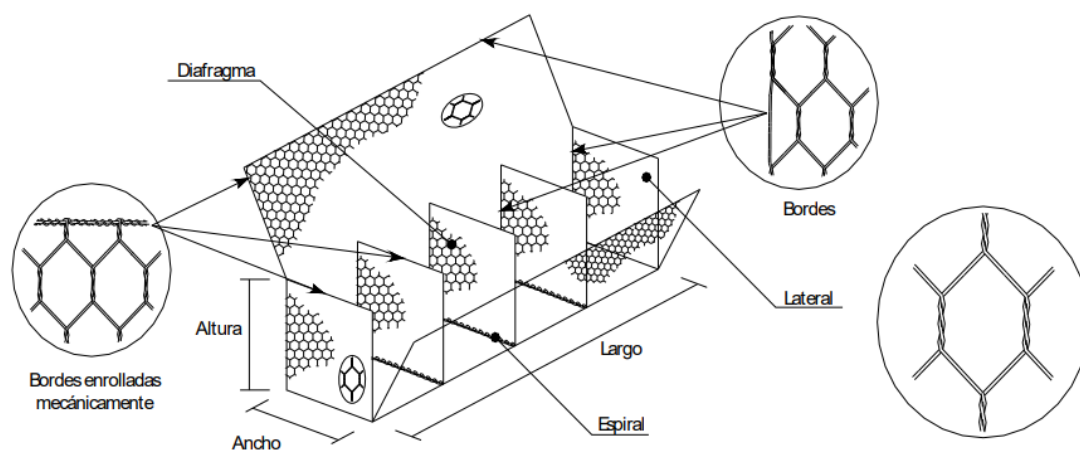
En Perú, una solución ampliamente utilizada es el sistema de gaviones, destacado por su construcción simple y su eficacia en la protección de taludes frente a la erosión progresiva causada por agentes externos.

En diversas regiones del país, es frecuente hallar taludes reforzados con sistemas de gaviones, especialmente en áreas cercanas a canteras de piedra que facilitan el abastecimiento de material. Sin embargo, en zonas donde la obtención de esta materia prima es compleja, será necesario evaluar otras alternativas que se adapten mejor a las condiciones del entorno donde se requiere la solución.

El sistema de gaviones consiste en una estructura formada por cajas prismáticas rectangulares de malla metálica hexagonal de triple torsión, elaboradas con alambre galvanizado reforzado con una aleación de zinc y 5 % de aluminio (Galfan). Estas cajas se rellenan con piedra para crear unidades capaces de resistir la erosión del agua, los asentamientos diferenciales y los procesos de socavación.

Figura 22

Esquema de Gavión tipo Caja



Nota. Esquema general de Gavión tipo caja en el Perú. Elaboración propia

Los muros de gavión tienen diversas aplicaciones, como diques de contención, estabilización de taludes, defensas ribereñas y muros ecológicos, entre otras. En la presente tesis, se analizarán específicamente las defensas ribereñas.

Este método destaca por varias ventajas, como su durabilidad, la posibilidad de ejecutarse con mano de obra no especializada, un diseño sencillo, flexibilidad, bajo costo y capacidad de adaptarse al terreno donde se instale. Sin embargo, el factor económico solo será favorable si el material granular (piedra para gavión) proviene de canteras cercanas al proyecto, ya que, de lo contrario, los costos aumentarían significativamente debido a la distancia de transporte.

Para implementar un sistema de protección con gaviones, es esencial transportar la piedra desde la cantera más cercana al área de trabajo. Las piedras utilizadas para rellenar

las cajas de malla metálica galvanizada suelen tener dimensiones entre 4" y 10", lo que garantiza su ajuste y compactación dentro de la estructura de enrejado.

La construcción de este método comienza con la preparación del terreno donde se instalarán los gaviones, asegurándose de nivelarlo a través de labores de relleno o excavación, se ajustará la pendiente y resistencia conforme al diseño. Una vez preparada la superficie de apoyo, se instalará un geotextil no tejido que funcionará como transición entre los gaviones y el suelo base.

Los gaviones se ensamblan directamente en el sitio de obra, desplegando las mallas galvanizadas y levantando los paneles exteriores junto con los diafragmas internos, fijándolos con alambres del mismo material que la estructura. Una vez formadas las celdas, se rellenan con piedras de distintos tamaños, entre 4" y 10", asegurándose de que sean resistentes, duraderas y libres de defectos que comprometan la estabilidad de la estructura. Las piedras más pequeñas deben colocarse en el centro, mientras que las de mayor tamaño se disponen cerca de las mallas hexagonales. Es importante señalar que no se deben utilizar piedras más pequeñas que la abertura de la malla, ya que podrían desprenderse y afectar la integridad del sistema de gaviones.

Durante el proceso de llenado de los gaviones, Se requiere colocar dos o más tensores de alambre en cada tercio de la altura del gavión, uniendo las paredes opuestas y las celdas contiguas. Estos tensores permiten integrar los gaviones en una única estructura sólida capaz de resistir las fuerzas externas a las que esté sometida la estructura. Una vez completado el relleno, se cierran las cajas con sus tapas, asegurándolas con alambre galvanizado.

El proceso descrito se repite nivel a nivel hasta alcanzar las dimensiones planificadas para la estructura. Según la función que cumpla el armazón de gavión, se añadirá un relleno estructural en la parte posterior para brindar soporte y resistencia ante posibles cargas

frontales. En el caso específico de los muros de gavión utilizados como defensas ribereñas, este relleno es esencial para garantizar la estabilidad de la estructura.

Para instalar un sistema de gaviones como protección ribereña, es fundamental colocar en la base un nivel de gaviones de menor tamaño que los superiores (conocido como Colchón Reno). Esta capa inferior actúa como soporte antierosivo, reduciendo el impacto del flujo de agua sobre la estructura. La instalación de los colchones Reno sigue un proceso similar al de los gaviones tradicionales, con la particularidad de incluir un tensor vertical por cada metro cuadrado para asegurar la tapa al fondo.

Las siguientes fotografías corresponden a distintos tramos de la carretera Locumba-Illabaya donde se implementaron sistemas de gaviones para mitigar problemas de erosión e inestabilidad de taludes.

Figura 23

Protección Ribereña con Sistema de Gaviones Margen Derecha - Puente Locumba



Nota. Sector Km 0+700 al Km 001+100 (Progresivas Hito) – puente Locumba Defensa Ribereña con Sistema de Gaviones. Elaboración propia

Figura 24

Sistema de Contención de Taludes con Sistema de Gaviones un solo Lado de la Vía



Nota. Sector Km 05+816 al Km 05+866 Locumba – Ilabaya (Progresivas Hito) Estabilidad de Talud con Sistema de Gaviones. Elaboración propia

3.1.2 Sistema de geo estructuras

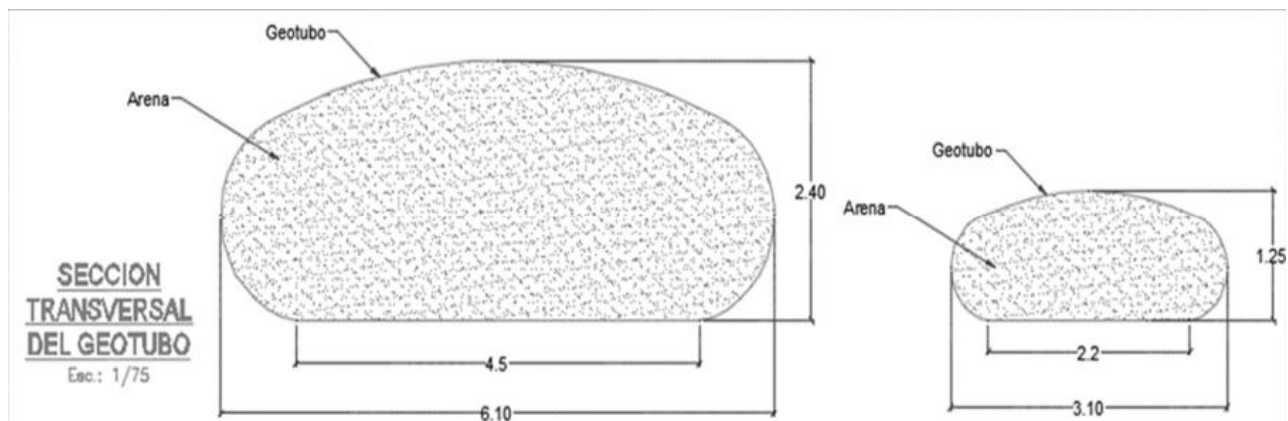
En Perú, el uso de geoestructuras para la protección ribereña ha sido limitado y poco difundido, con pocas obras que emplean este método para reducir la erosión en las riberas de los ríos. Sin embargo, su efectividad y practicidad lo convierten en una alternativa muy atractiva, especialmente en zonas donde la obtención de materiales para la estructura de

protección se complica debido a las grandes distancias de transporte. Países sudamericanos como Venezuela, Uruguay y Colombia han adoptado este método en múltiples proyectos, aprovechando sus numerosas ventajas.

El método de geo estructuras se compone de geo tubos, que son tubos de gran longitud fabricados con geotextiles de alta resistencia mecánica e hidráulica. Estos materiales están diseñados para soportar condiciones extremas, como agua salina, exposición prolongada a la intemperie, radiación solar y temperaturas elevadas.

Figura 25

Secciones Transversales de Geo-tubos



Nota. Secciones transversales de geo-tubos genéricos. Elaboración propia

Entre las principales ventajas de este método se encuentran su flexibilidad, bajo impacto ambiental, larga durabilidad y la reducción de la explotación de canteras, lo que disminuye la contaminación. Además, no requiere equipos especializados, su instalación es sencilla, acorta los tiempos de ejecución y reduce los costos del proyecto al evitar el transporte de material granular desde canteras distantes.

Las geoestructuras pueden aplicarse en diversos proyectos de ingeniería, como la construcción de humedales, formación de lagunas, creación de islas artificiales, descontaminación de ríos, contención de sedimentos marinos contaminados, así como en espigones, rompeolas y protecciones ribereñas y costeras. En la presente tesis, se analizará específicamente esta última aplicación.

Para construir una defensa ribereña mediante geoestructuras, es fundamental posicionar estratégicamente los tubos de geotextil, de manera que formen una estructura capaz de resistir las fuerzas generadas por el flujo del río y prevenir la erosión de los taludes cercanos.

La construcción de este método inicia con la preparación de la superficie de cimentación de las geo estructuras, nivelándola mediante excavación o relleno hasta lograr la pendiente y resistencia especificadas en el proyecto. Una vez lista la base, se colocarán los tubos de geotextil de alta resistencia en su ubicación definitiva, conforme a los planos de diseño, asegurándolos con elementos de anclaje colocados según la ubicación del tubo dentro del dique de defensa.

Una vez desplegado el geotextil, se procede a llenar los geo tubos mediante un sistema de bombeo hidráulico que traslada el material excavado o de relleno, utilizando, en la mayoría de los casos, material del área intervenida, generalmente un 'slurry' (mezcla de arena y agua), que es conducido desde los puntos de mezcla hasta cada geo tubo.

Durante el llenado de los geotubos, el agua se filtra a través del geotextil debido a su permeabilidad. Para agilizar este drenaje, el personal especializado realiza saltos sobre los tubos, ayudando a expulsar la mayor cantidad de agua posible. La proporción entre la altura y el ancho del geotubo no debe exceder 0.5, por lo que se llevan a cabo controles regulares con una mira topográfica para garantizar que la altura no exceda lo establecido en los planos de ejecución.

Una vez que el geotubo alcanza la altura especificada en el proyecto, los puertos de entrada deben atarse con cuerda de polipropileno y luego ser introducidos dentro del propio tubo.

Los geotubos deben llenarse completamente en una etapa inicial, asegurándose de finalizar el llenado e instalación de cada unidad antes de continuar con la siguiente. Si el

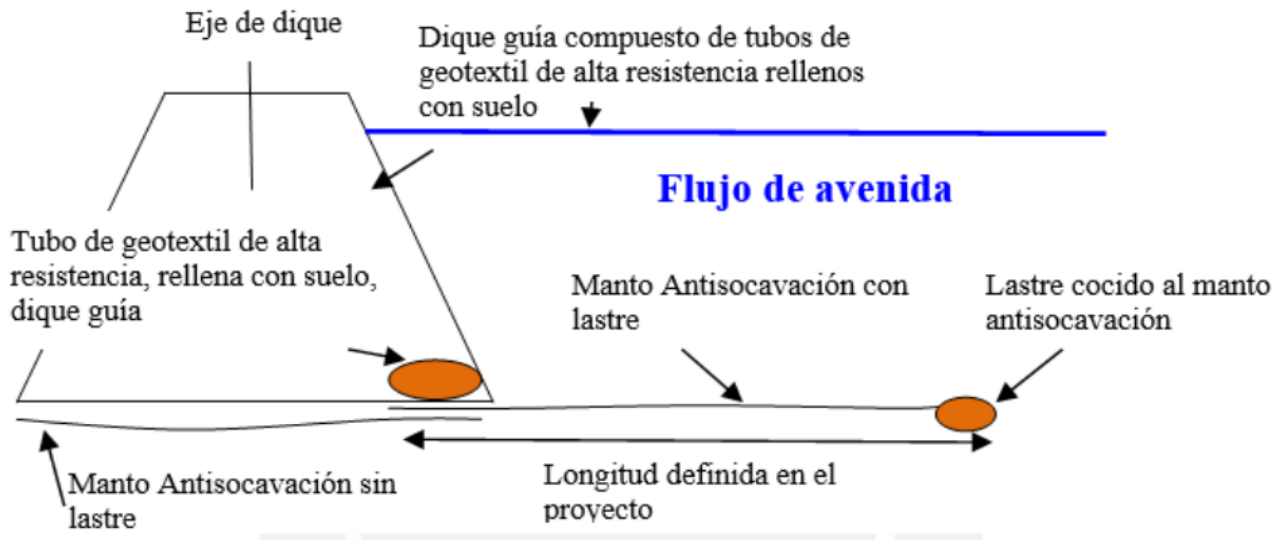
proyecto requiere un relleno estructural detrás del dique de geotubos, este debe realizarse de manera secuencial, después de colocar un geotextil de separación.

Este proceso se repite para cada geotubo, siguiendo estrictamente la alineación y distribución establecidas en los planos del proyecto. Se recomienda completar el llenado de cada tubo en una sola jornada, ya que el material necesita tiempo para consolidarse y formar una estructura monolítica compacta. Dividir el llenado en días distintos podría generar un relleno irregular, afectando el desempeño del geo tubo frente a las fuerzas externas para las que fue diseñado.

Para implementar un sistema de geo estructuras como protección ribereña, es esencial instalar un manto anti erosión antes de colocar los geo tubos que conformarán el dique protector. Según las especificaciones del proyecto, se deberán instalar dos mantos: uno con un tubo de geotextil en un extremo que funcione como lastre, y otro sin lastre ubicado bajo el dique guía. El solape entre ambos mantos se especificará en los planos detallados del proyecto.

Figura 26

Esquema de la Colocación de los Mantos Anti-socavación



Nota. Esquema detallado de la colocación de los mantos anti-socavación. Elaboración propia

La construcción de este sistema de defensa ribereña se detalla en el capítulo N°07 de la tesis. En este apartado, se exponen solo los aspectos generales, resaltando las fases esenciales para implementar un sistema de protección con geo estructuras.

Las siguientes imágenes muestran la defensa ribereña del Puente Mavila, ubicado en el Km. 512 de la Carretera Interoceánica Sur, diseñada y construida con un sistema de geo estructuras que redujo los problemas de erosión en la zona.

Figura 27

Protección Ribereña – Puente Mavila



Nota. Protección Ribereña con El Sistema de Geo Estructuras en el Puente Mavila.
Elaboración propia

3.1.3 MARCO METODOLÓGICO

3.1.3.1 TIPO DE INVESTIGACION

Esta investigación se clasifica como aplicada, dado que busca resolver un problema específico mediante un sistema innovador y como es el de geo–estructuras, aplicando las normas peruanas y los softwares especializados.

3.1.3.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de esta tesis fue cuasi-experimental, similar al experimental, pues implica la manipulación de una o más variables específicas, aunque sin un control absoluto sobre todas las variantes.

3.1.3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACION

La población de este estudio incluye a todos los sectores clave donde haya pista de asfalto principal y/o puentes en el cauce del río Locumba, estando aldaño al margen izquierdo o al margen derecho de la Quebrada,

3.1.3.4 PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

Como se dio a conocer en el capítulo II, donde se determinó las propiedades del suelo y del cauce en el valle Locumba en 4 calicatas estudios a través del puente Sagollo – distrito Locumba. Se debió cumplir con ciertos criterios de Talud, estos fueron descritos en el capítulo IV, Realizando análisis de estabilidad tanto estáticamente como pseudo – estáticos. Haciendo un análisis económico y de impacto ambiental en ambos sistemas de defensa ribereña para la determinación de la elección en la zona crítica. Dichos resultados de las investigaciones se detallaron en los capítulos IV al capítulo VII.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS PRELIMINAR DE DEFENSAS RIBEREÑAS

4.1 PREDIMENSIONAMIENTO DE POSIBLES SISTEMAS DE DEFENSA

La exploración de un método que permita considerar todas las variables involucradas en la implementación de la defensa ribereña en la zona crítica de la vía Locumba-Illabaya, se debe ejecutar un planteamiento inicial de probables opciones de solución a implementar. Esto con el objetivo de asegurar el correcto desenvolvimiento del método y su posibilidad económica.

Los criterios generales del plan para el pre-dimensionamiento de proyectos de protección ribereña incluyen la sección geométrica del cauce, la altura y profundidad del área a proteger, los caudales máximos, el análisis hidráulico y morfológico del río, la determinación de la longitud a resguardar y las especificaciones técnicas de los elementos a utilizar.

Esta propuesta se centró en desarrollar un diseño preliminar para un sistema de protección ribereña con gaviones y otro con geo estructuras, ambos descritos en el capítulo 3.1 de la tesis. La justificación de estas soluciones se sustenta en los resultados obtenidos a partir de los estudios preliminares presentados en la sección 2.4 de la tesis.

El Pre-dimensionamiento se conceptualizó con base en las siguientes proposiciones:

- La distancia de defensa del dique de la margen izquierda aguas arriba será igual a la luz de la Línea Afectada en el Sector Camiara, por lo que se considerará $L1 = 150$ m.
- Los volúmenes de las secciones, tanto con gaviones como con geo estructuras, se mantendrán similares para realizar un análisis económico más preciso y realista.
- En ambas soluciones, se plantea un relleno posterior a la estructura con arena limosa (SM), separado por un geotextil. Los diques de respaldo tendrán una cresta de al menos 3

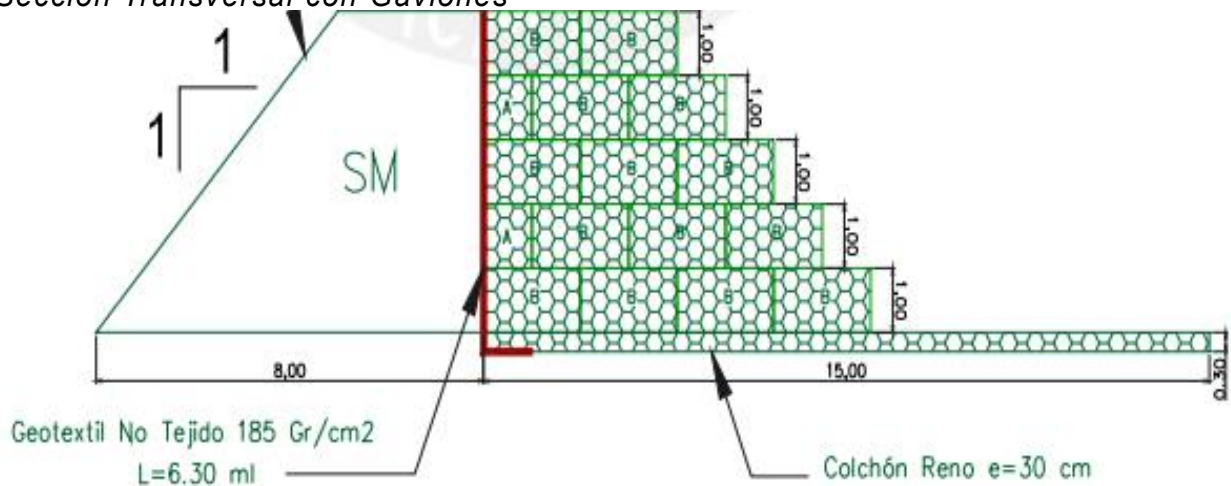
metros de ancho y un talud de 1H:1V hacia el relleno masivo. Además, tanto para los diques de gaviones como de geoestructuras, se adoptará una configuración triangular.

4.1.1 Pre-dimensionamiento de protección ribereña con gaviones

Para la defensa ribereña con gaviones, y en base a los parámetros del Manual de Carreteras: Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se sugiere utilizar una sección continua, como se muestra a continuación.

Figura 28

Sección Transversal con Gaviones



Nota. Diseño preliminar de la sección transversal típica para la protección ribereña con gaviones. Elaboración propia

La estructura de protección con gaviones consta de 5 niveles de gaviones tipo caja, cada uno con 1 metro de altura, logrando una protección total de 5 metros. Esta disposición asegura la estabilidad de los taludes en la zona afectada de Camiara. Detrás del dique, se prevé un relleno de arena limosa (SM) compactado al 95% del Proctor Modificado, con una corona de 3 metros de ancho y una base de 8 metros de longitud.

Para prevenir la socavación en la base de la estructura de gaviones, se recomienda instalar un colchón reno de 0.30 m de espesor, que servirá de soporte para los gaviones. Esta solución, al ser flexible, permitirá acomodarse a los asentamientos diferenciales y adaptarse correctamente al terreno existente.

El área típica presentada anteriormente para una solución con gaviones se basa en los siguientes parámetros de diseño:

$$B \geq \frac{H}{2}$$

$L \geq 1.5$ a 2 profundidad máxima de erosión.

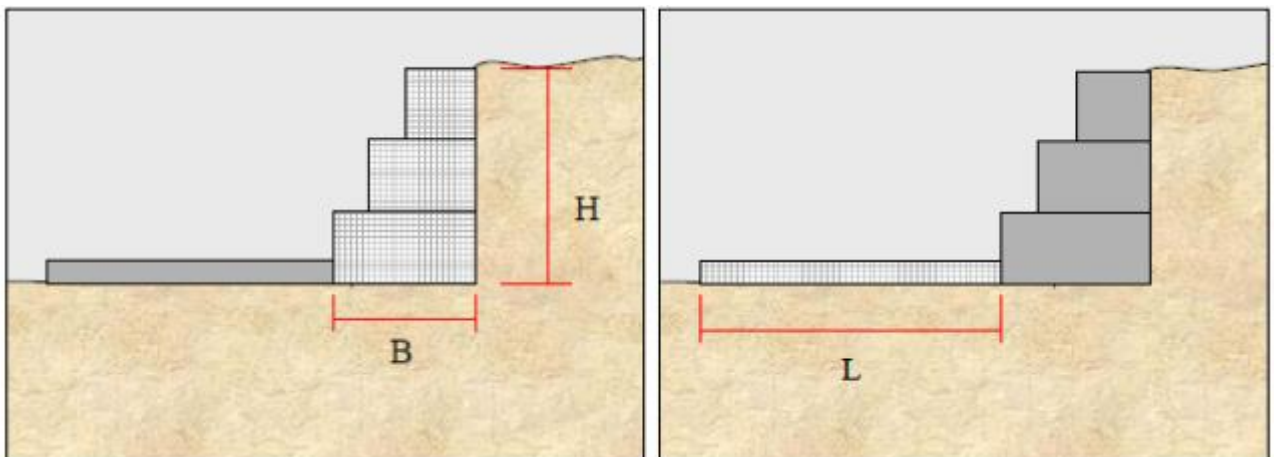
Dónde:

B = Ancho de la base del muro de gaviones. H = Altura del muro de gaviones

L = Longitud de colchón reno.

Figura 29

Pre dimensionamiento de Gaviones

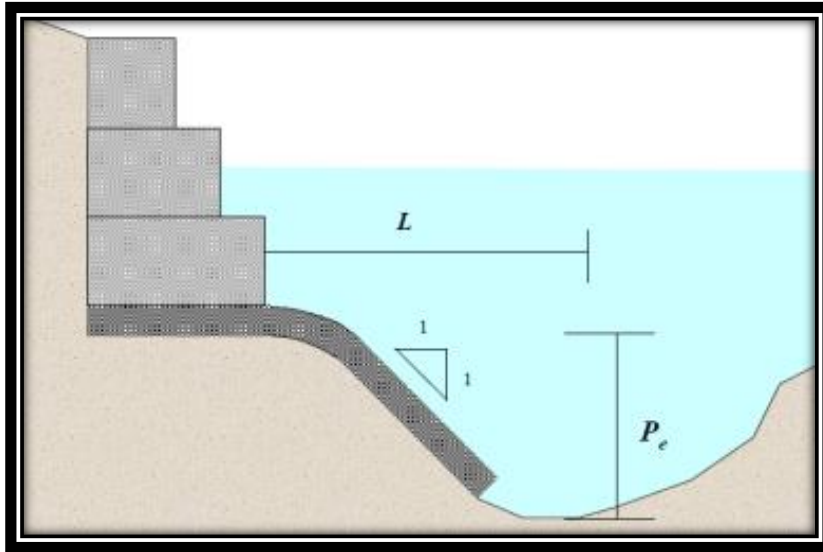


Nota. Esquema de pre-dimensionamiento de sistema de gaviones. Elaboración propia

Para definir la longitud 'L' del colchón reno, es fundamental considerar la erosión máxima estimada 'Pe'. Aunque esta tesis no incluye un estudio específico de la erosión en la base, se adopta un valor de referencia de 2 m, teniendo en cuenta las características del material del lecho del río. Con este valor, la longitud propuesta de $L = 7$ m cumple con la condición establecida.

Figura 30

Esquema de Máxima Erosión prevista



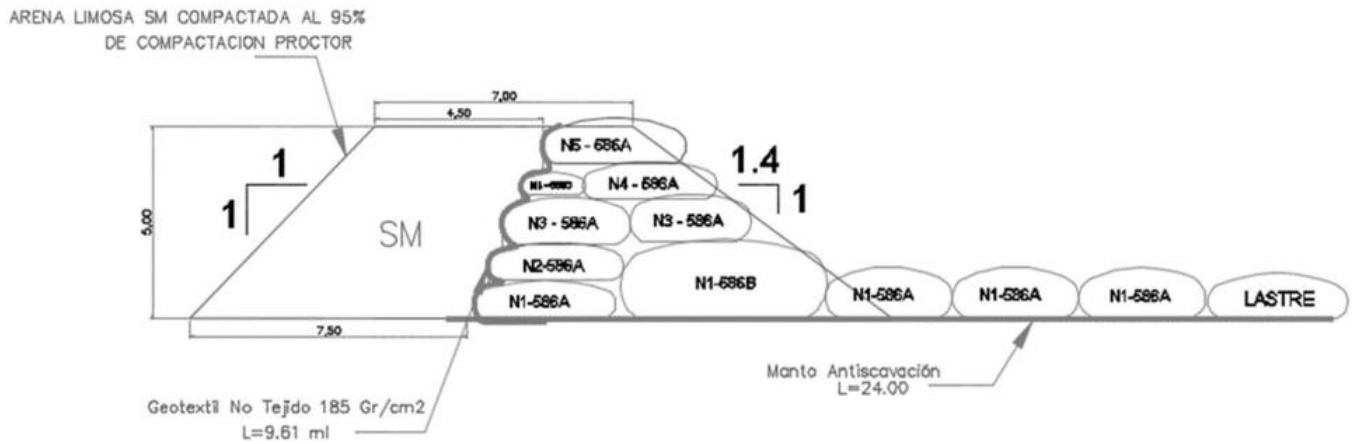
Nota. Esquema de máxima erosión prevista para el sistema de gaviones.
Elaboración propia

4.1.2 Pre-dimensionamiento de protección ribereña con geo-estructuras:

Para la defensa ribereña con geo-estructuras, se dispone una sección continua mostrada a continuación.

Figura 31

Pre-dimensionamiento de Sección Transversal



Nota. Pre-dimensionamiento de sección transversal típica de la protección ribereña con geo-estructuras.

La estructura de defensa con geo-estructuras está compuesta por 5 niveles de geotubos de diferentes volúmenes, alcanzando una altura de 5 m para proteger los taludes del área afectada en Camiara. Detrás del dique, se incorpora un relleno de arena limosa (SM) compactado al 95 % del Proctor Modificado, con una corona de 4,50 m de ancho y una base de 7,5 m de longitud..

Para evitar la socavación en la base de la estructura con geo estructuras, se instala un manto protector que actúa como soporte. En el extremo cercano al cauce del río, se añade un lastre para mejorar la fijación y disipar la energía del flujo de agua. Similar al colchón reno, este componente flexible permite absorber asentamientos diferenciales y adaptarse al terreno natural.

4.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE DIQUES DE PROTECCIÓN

La ejecución del plan de defensa ribereña en el tramo Locumba-Illabaya (Camiara) requiere un análisis de estabilidad del dique conformado por gaviones y geoestructuras, tomando como referencia el pre-dimensionamiento definido en la sección 4.1. Este análisis implica examinar y comparar el esfuerzo cortante a lo largo de la posible superficie de falla con la resistencia cortante del suelo evaluado.

Para llevar a cabo el análisis de estabilidad de taludes, es fundamental conocer las propiedades del suelo que los compone y las cargas aplicadas sobre ellos. Esto aplica tanto para las estructuras de gaviones como para las geo estructuras, se considerarán las características del suelo descritas en la sección 2.4 de la tesis.

Existen diversos métodos para analizar la estabilidad de taludes, los cuales, en términos generales, se dividen en dos categorías principales:

·Procedimiento de masa:

Este método considera la masa de suelo sobre la superficie de falla como una unidad única. Se aplica principalmente a suelos homogéneos y cohesivos, aunque esta condición no refleja la realidad en la mayoría de los casos de taludes.

·Procedimiento de dovelas:

Este método fragmenta la masa de suelo sobre la superficie de falla en varias dovelas o secciones verticales, con anchos que pueden ser variables. Cada dovela, considerando una longitud unitaria perpendicular a la sección transversal, se analiza de forma independiente para calcular las fuerzas que actúan sobre ella. Para determinar el Factor de Seguridad (FS), se asume que las fuerzas normales y cortantes entre dovelas tienen magnitudes y líneas de acción similares. En resumen, la estabilidad global se obtiene al sumar la estabilidad individual de cada dovela y analizar el equilibrio de toda la cuña de suelo ubicada sobre la superficie de falla.

En ambos casos, el análisis de estabilidad de taludes puede efectuarse idealizando ciertas condiciones del suelo, ya sea en escenarios drenados o no drenados, donde la variación estará en los esfuerzos efectivos.

Aunque el método de masa estima la estabilidad de forma más general que el método de dovelas, los resultados obtenidos pueden ser útiles para el diseño preliminar de taludes con un nivel aceptable de confiabilidad. Sin embargo, para un análisis más preciso y detallado, se recomienda emplear el método de dovelas, que puede simplificarse utilizando enfoques desarrollados por diversos autores, como Morgenstern o Bishop, entre otros.

En esta tesis, el análisis de estabilidad de taludes se realizó utilizando el método de dovelas, con el respaldo del software SLIDE y los datos del suelo descritos en la sección 2.4. Se evaluaron tres escenarios para determinar los factores de seguridad:

1. Estudio de Estabilidad del Talud original en el Sector Camiara
2. Estudio de Estabilidad del Talud con Método de Gaviones
3. Estudio de Estabilidad del Talud con Geo-estructuras

En cada escenario evaluado, se llevó a cabo un análisis de estabilidad tanto estático como pseudoestático ($a = 0,06g$), considerando que la zona de estudio está clasificada como Zona 4 según la Norma E.030 de Diseño Sismo-Resistente.

4.2.1 Análisis de estabilidad de talud natural – sector Camiara

El análisis se realizó sobre el talud original de la margen derecha del río Locumba (aguas arriba), en las zonas proyectadas para la defensa ribereña, con el objetivo de evaluar la estabilidad del talud sin implementar ninguna medida de protección.

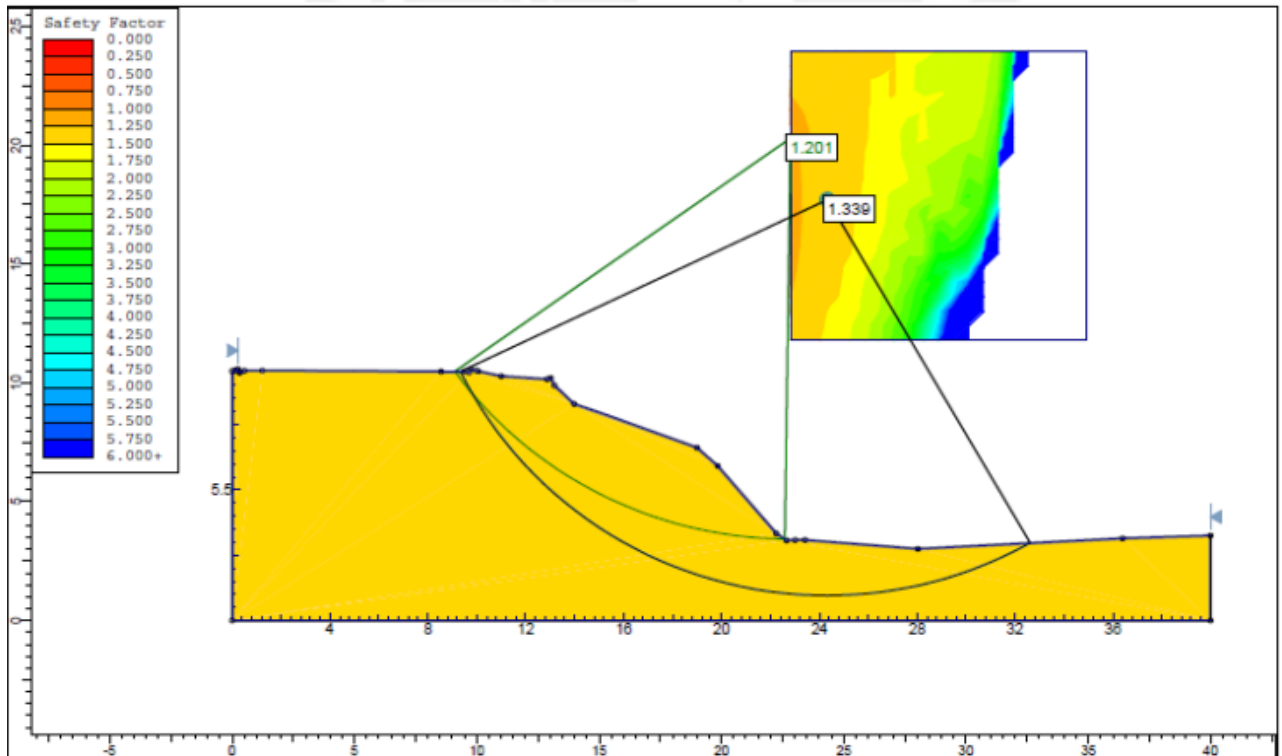
Los datos incorporados al SLIDE para el cálculo del factor de seguridad del sector crítico en Camiara fueron los descritos a continuación:

- Clasificación SUCS del Suelo: GP

- Peso Específico: 26.65 KN/m³
- Cohesión: 16 kN/ m²
- Ángulo de fricción: 9°

ANÁLISIS ESTÁTICO:

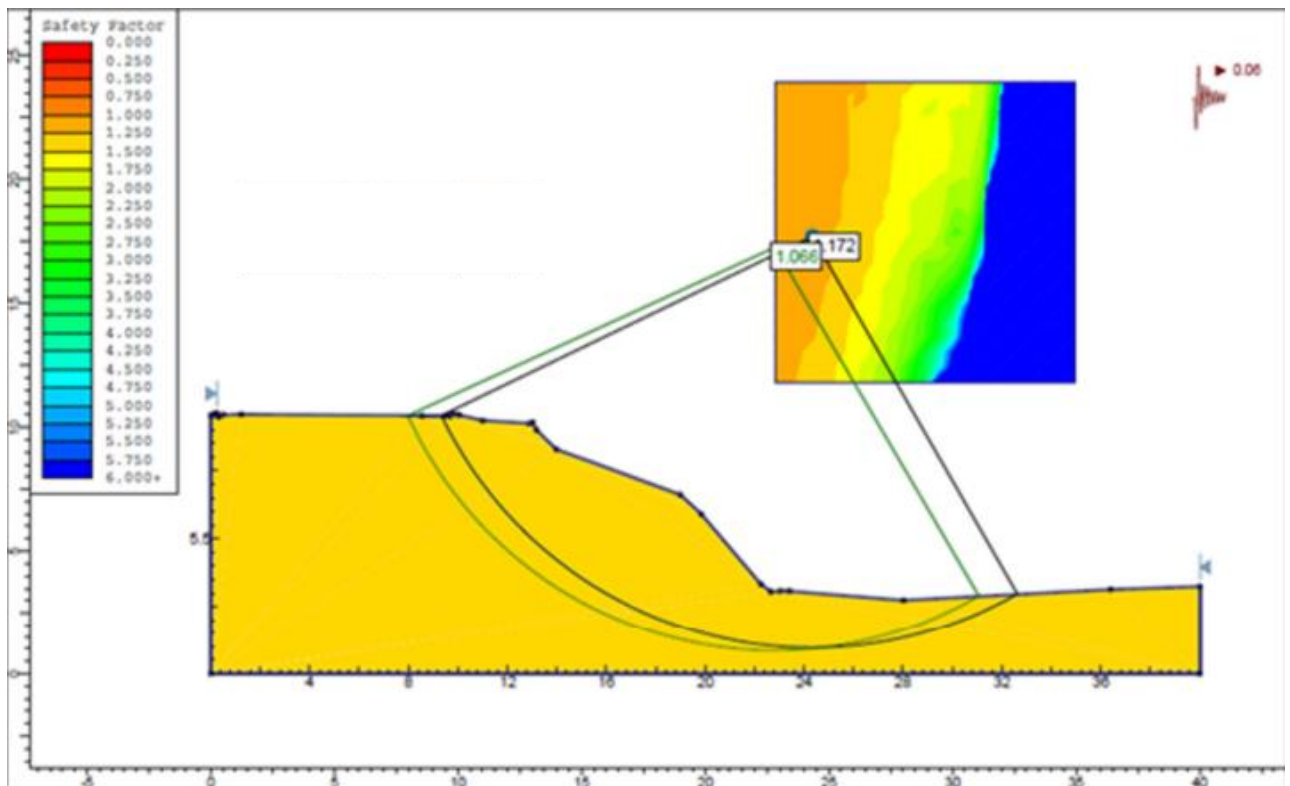
Figura 32

Análisis Estático - Talud Natural

Nota. Análisis estático en el Software Slide. Elaboración propia

La conclusión del estudio de estabilidad estático ejecutado al talud original de la ribera del río Locumba, Se obtiene un factor de seguridad de 1.201 para una falla que corta el talud por encima de su pie (falla de talud) y un factor de seguridad de 1.339 para una falla que atraviesa la base (falla de base).

ANÁLISIS SEUDO ESTÁTICO:

Figura 33*Análisis Seudo Estático – talud Natural*

Nota. Análisis seudo estático en talud natural para el área crítica en C.P. Camiara.
Elaboración propia

Como se aprecia en el anterior gráfico, el producto del estudio de estabilidad seudo-estático ejecutado al talud original del área afectada en Camiara, Los factores de seguridad resultan menores en comparación con el análisis estático, debido a la incorporación de fuerzas sísmicas que afectan la estabilidad del talud. Se aconseja incluir siempre estas fuerzas en el análisis de estabilidad para optimizar el diseño de los taludes y asegurar una mayor seguridad de la estructura.

A partir de los resultados del estudio, se concluye que el talud del área analizada no colapsará a menos que cambien significativamente las propiedades del material que lo compone, algo poco probable debido al constante contacto con los flujos de agua del río

Locumba. Por esta razón, es esencial implementar medidas de protección que reduzcan la erosión y mitiguen el riesgo de falla en las riberas del río.

Se recomienda que los factores de seguridad en taludes de riberas fluviales sean superiores a 1.3 en análisis estáticos y mayores a 1.05 en evaluaciones pseudo estáticas..




4.2.2 Análisis de estabilidad del talud con sistema de gaviones

El estudio realizado para este caso abarca una defensa con gaviones en los taludes del C.P. Camiara, dentro del área de intervención. Se calculó el pre-dimensionamiento definido en la sección 4.1.1, el cual se ingresó en el software SLIDE junto con las propiedades de cada componente analizado.

Seguidamente, Se observan las características y los valores empleados en el análisis estático y pseudoestático de esta solución:

Tabla 4

Características de los Materiales

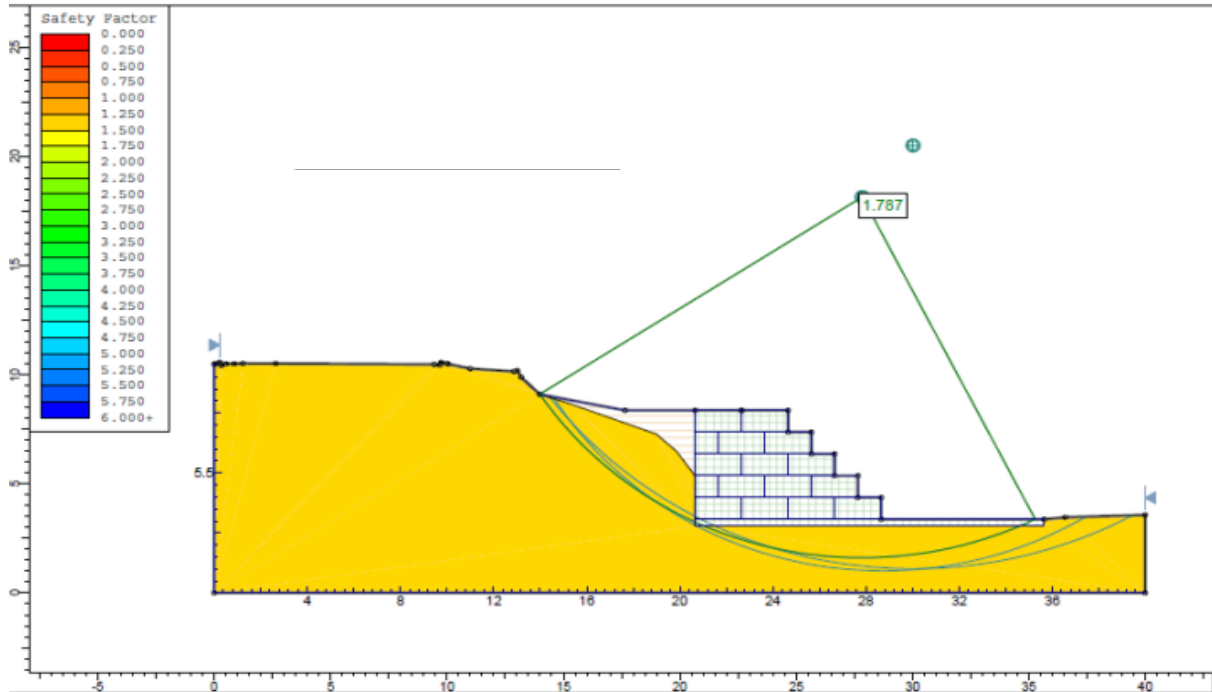
Material	Color	Unid. De peso(kN/m3)	Cohesión (kN/m2)	Phi
GP		26.65	16	9
MURO DE GAVIONES		2	-	36
MATERIAL DE RELLENO		19.61	15	30

Nota. Propiedades de los materiales utilizados en el análisis de estabilidad del talud con gaviones. Elaboración propia.

La tabla 4 muestra los resultados del análisis de suelos en los márgenes del puente Sagollo, junto con los ensayos de calidad de la piedra utilizada en el sistema de gaviones.

ANÁLISIS ESTÁTICO:

Figura 34

Análisis Estático – talud con Sistema de Gaviones

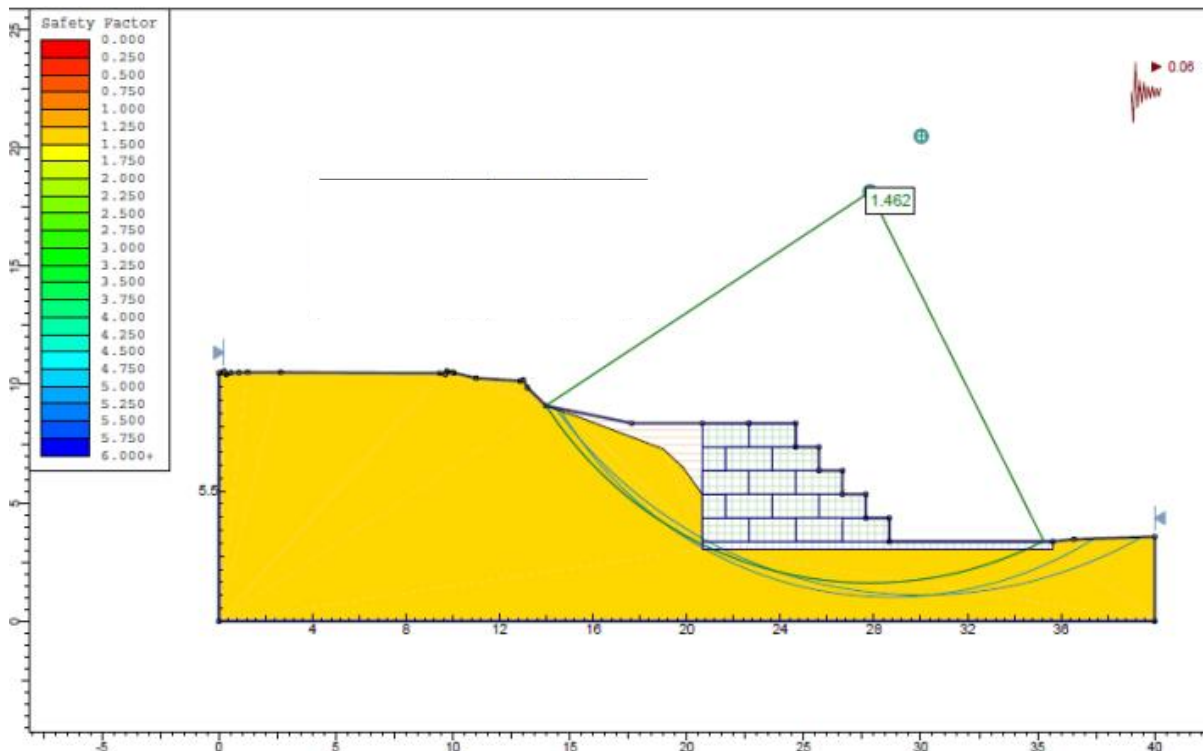
Nota. Análisis estático – talud para el sistema de gaviones en el Camiara. Elaboración propia.

El estudio realizado arroja factores de seguridad mayores a 1.5, lo que refleja una mejora en la estabilidad del talud respecto al análisis sin medidas de protección. En la simulación con el software SLIDE, se obtuvo un valor conservador de F.S = 1.787, con una trayectoria de falla que atraviesa el colchón reno del sistema de gaviones.

ANÁLISIS SEUDO ESTÁTICO:

Figura 35

Análisis seudo Estático – talud con Sistema de Gaviones



Nota. Análisis seudo estático – talud con sistema de gaviones C.P. Camiara. Elaboración propia

Al considerar las fuerzas sísmicas en el análisis de estabilidad, el factor de seguridad se reduce a valores ligeramente por debajo de 1.5, lo que sigue garantizando la estabilidad del talud. Al igual que en el análisis estático, la superficie de falla atraviesa el colchón reno del sistema de gaviones, obteniéndose un F.S = 1.462.

Esta conclusión depende en gran medida de la adecuada colocación de las piedras que conforman los gaviones. Es fundamental asegurar un proceso de construcción cuidadoso para fijar y confinar las piedras, logrando así una retención más estable y resistente.




4.2.3 Análisis de estabilidad del talud con sistema de geo-estructuras

La evaluación ejecutada para este contexto incluye una defensa con el método de Geo-tubos en los taludes de las riberas en el sector de estudio. Se utilizó el pre-dimensionamiento definido en el capítulo 4.1.2, ingresándolo en el software SLIDE junto con las propiedades de cada componente analizado.

Seguidamente, Se presentan las características y valores empleados en el análisis estático y pseudoestático de esta conclusión:

Tabla 5

Propiedades de los materiales para la Evaluación de la Estabilidad del Talud con Sistema de Geo-Estructuras

Material	Color	Und.de peso(kN/m ³)	Cohesión(kN/m ²)	Phi
GP		26.65	16	9
MURO DE GAVIONES		21	.	36
MATERIAL DE RELLENO		19.61	1	30

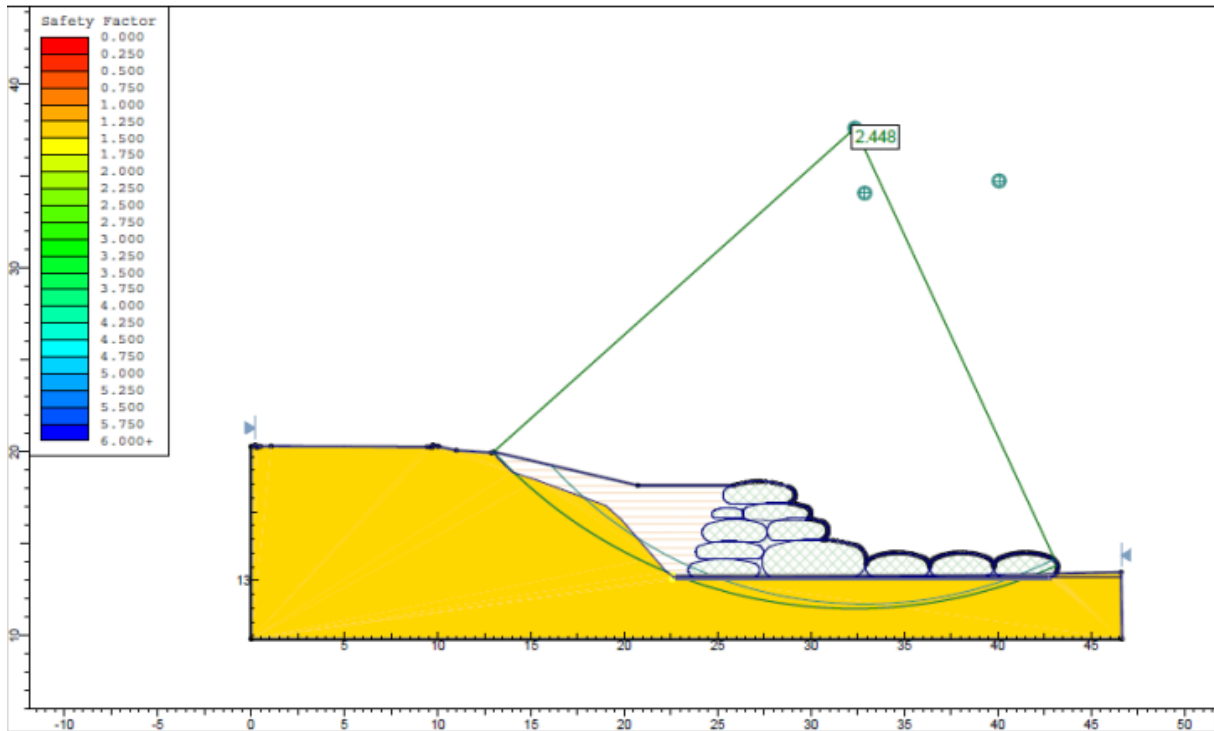
Nota. Propiedades de los materiales utilizados en el análisis de estabilidad del talud con geo-estructuras. Elaboración propia

En la tabla 5, Se aprecia que las características del relleno detrás de las estructuras y dentro de los geo-tubos son similares. Esto se debe a que el slurry utilizado para llenar las armaduras es una mezcla de agua y material local, que, tras el proceso de sedimentación y drenaje del agua en las geo-estructuras, deja un relleno con la misma composición del material de la zona.

ANÁLISIS ESTÁTICO:

Figura 36

Análisis Estático Sistema Geo-Estructuras



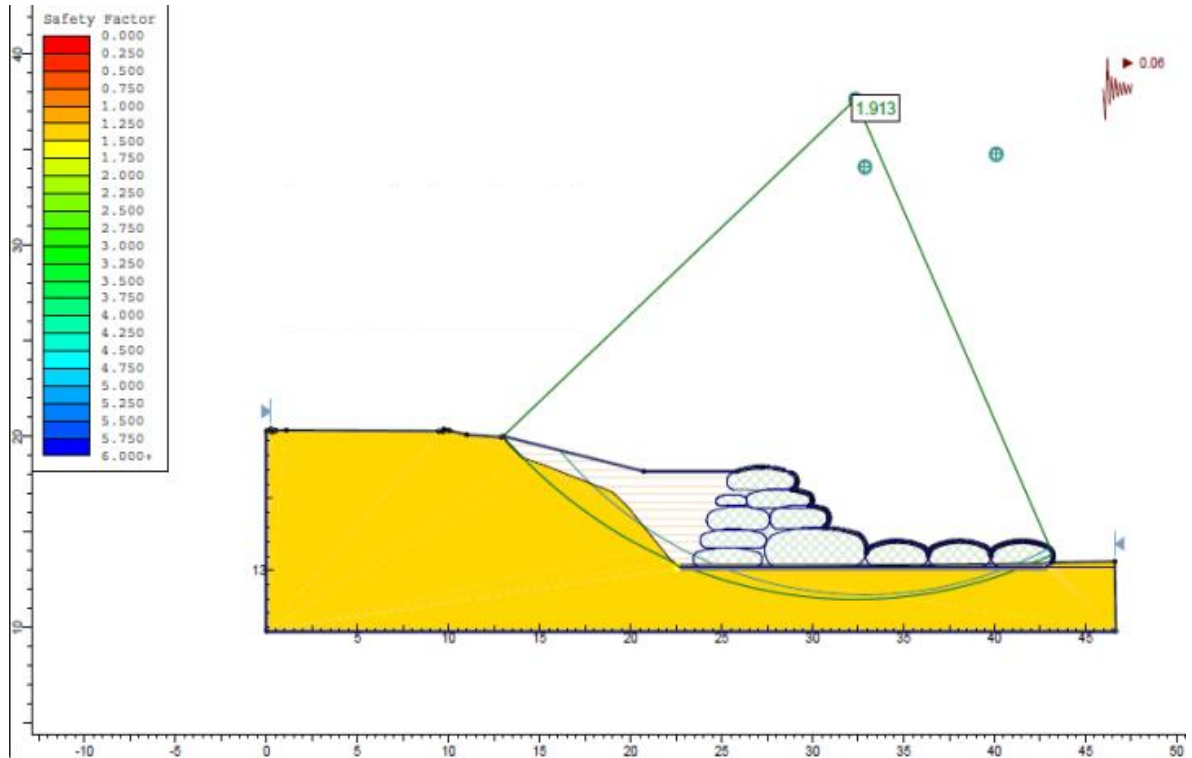
Nota. Análisis estático – talud con sistema de geo – estructuras. Elaboración propia

Del método ejecutado, Se obtienen factores de seguridad superiores a 2, lo que indica una mejora significativa en la estabilidad del talud en comparación con los dos métodos analizados previamente. En la simulación realizada con el software SLIDE, se obtuvo un valor relevante de $F.S = 2.448$, con una superficie de falla que atraviesa la estructura de geo-tubos.

ANÁLISIS SEUDO ESTÁTICO:

Figura 37

Análisis Seudo Estático Sistema Geo-Estructuras



Nota. Análisis seudo estático – talud con sistema de geo-estructuras. Elaboración propia

Al igual que en los casos anteriores, el factor de seguridad obtenido en el análisis de estabilidad del talud con defensa de geo-tubos disminuye debido a la influencia de las fuerzas sísmicas. En este escenario, los valores del factor de seguridad se reducen a un promedio de 1.913.

A diferencia del sistema de gaviones, esta opción ofrece una mayor estabilidad y confiabilidad para los taludes de las riberas en la zona de estudio, tanto en el análisis estático como en el seudo estático.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO DE SISTEMAS DE DEFENSA

El factor económico suele ser determinante al elegir la solución a implementar en un proyecto específico. Por ello, evaluar diversas alternativas para reducir los problemas expuestos en la tesis facilitará la toma de la mejor decisión. A continuación, se expone el análisis económico de las dos soluciones de defensa ribereña para el Sector C.P. Camiara: gaviones y geo-estructuras.

Para elaborar el presupuesto referencial de cada solución, se considerarán las siguientes suposiciones:

- Se tomarán como referencia las secciones y longitudes de cada diseño, según lo detallado en el Capítulo 3.2 sobre el pre-dimensionamiento de posibles soluciones de defensa ribereña.
- Se analizarán exclusivamente los diques de protección ribereña ubicados en la margen derecha del río Locumba, a la altura del C.P. Camiara.
- Se usaran los precios venta admitidos de Obras parecidas, los cuales son de fecha base Agosto de 2004.
- Los metrados referenciales de las partidas más relevantes se validarán mediante planillas detalladas, en las que se especificarán los cálculos conforme a la hipótesis planteada.
- Los totales parciales de cada partida resultarán de multiplicar los metrados por sus respectivos precios unitarios.

- El análisis comparativo de las dos soluciones se llevará a cabo tomando en cuenta solo el costo directo.

5.1 ESTUDIO ECONÓMICO DEL SISTEMA DE DEFENSA RIBEREÑA CON GAVIONES

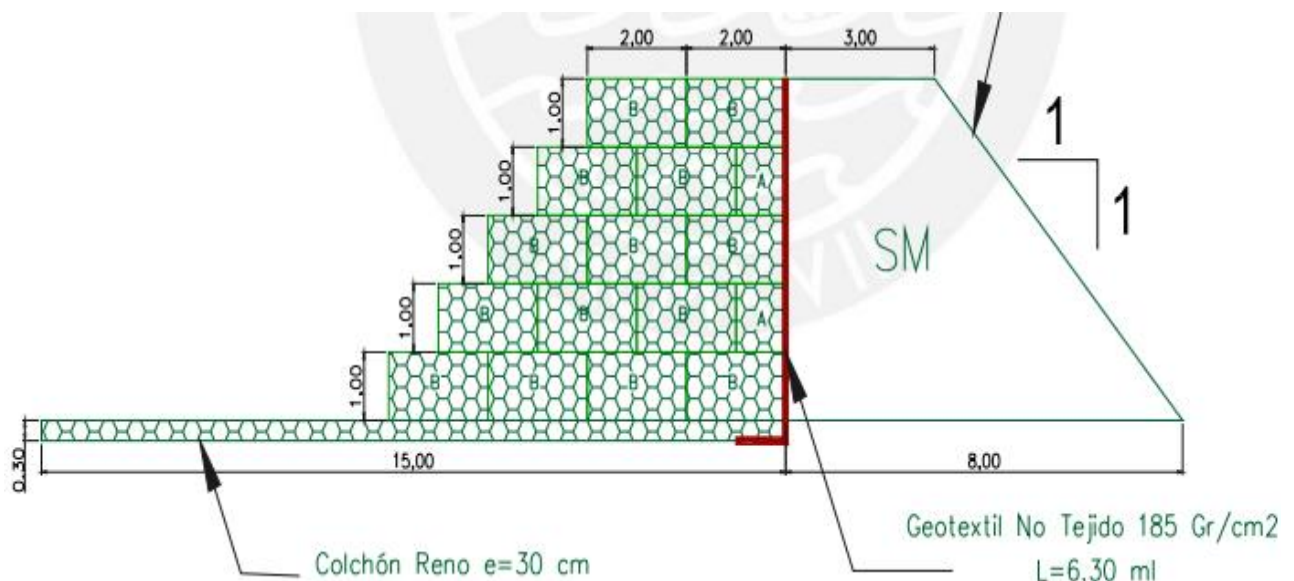
El costo de la defensa ribereña con el método de gaviones se calculará en función de los metrados basados en el pre-dimensionamiento realizado en el capítulo 3.2, considerando el dique de protección de la margen derecha.

DIQUE MARGEN DERECHA:

- Longitud de protección margen derecha: $L = 75 \text{ ml}$
- Sección típica margen derecha:

Figura 38

Dique margen Derecha – Sistema de Gaviones



Nota. Dique margen derecha – sistema de gaviones. Elaboración propia

El dique en la margen derecha está compuesto por 5 niveles de gaviones asentados sobre un colchón Reno de 0.30 m de espesor. Detrás de la estructura, se ha colocado un terraplén de arena limosa (SM) compactada al 95 % conforme al Proctor modificado.

Adicionalmente, se colocó un geotextil no tejido entre el muro de gaviones y el terraplén de respaldo para evitar la pérdida de partículas finas.

Se presenta a continuación el resumen de los metrados correspondientes a las partidas más significativas para la defensa ribereña mediante gaviones en el dique de la margen derecha.

Tabla 6

Metrados con Gaviones

RESUMEN DE METRADOS

Dique con gaviones – lado derecho

Código	Descripción	Unidades	Metrado Referencial
500	OBRAS DE ARTE Y DRENAJE		
505.D	Relleno para Estructuras con Material Propio	m3	2 062,5
522	Gavión Tipo 1	m3	2 025,0
543B	Geotextil No Tejido Clase 2	m2	472,5
544C-1	Colchón Reno e=30cm	m3	1 125,0
700	TRANS PORTE		
701	Transporte de material granular hasta 1 km	m3km	2 362,5
702	Transporte de material granular después de 1 km	m3km	366 858,45

Nota. Resumen de metrados – dique con gaviones (margen derecha). Elaboración propia

5.1.1 Síntesis de metrados – Estructura gaviones

El resumen de metrados para la construcción de la defensa ribereña con gaviones abarcará la totalidad de los metrados de los sistemas de la margen derecha expuestos

anteriormente. Asimismo, se detallarán los metrados de las intervenciones iniciales, provisionales y del movimiento de tierras.

Dado que la geometría de las secciones y la longitud de protección en la margen del río Locumba son iguales para las soluciones con gaviones y geo-estructuras, se utilizarán los mismos metrados para las partidas de trabajos preliminares, provisionales y movimiento de tierras en ambas alternativas.

En el movimiento de tierras, se consideran las actividades de excavación en material suelto (219,181.5 m³) y excavación para la defensa ribereña (51,980.1 m³). Los volúmenes extraídos deberán trasladarse a un depósito autorizado de material excedente, tomando como referencia el DME más cercano al área del proyecto. Por lo tanto, el presupuesto de la solución con gaviones incluirá los metrados de las partidas 703 y 704, correspondientes al transporte del material a desechar hasta o después de 1 km. El volumen a eliminar será el siguiente:

- Volumen de Excavación en Material Suelto: 219 181,5 m3
- Volumen de Excavación para Defensa Ribereña: 51 980,1 m3
- Volumen para Conformación con Material Propio 167 348,58 m3
- Volumen de Relleno para Estructuras con Material Propio: 4042,5 m3

Volumen de eliminación: 99 770,52 m3

El cálculo efectuado tiene en cuenta la diferencia entre el total de los volúmenes excavados y la suma de los volúmenes necesarios para la conformación y relleno de las estructuras con material propio.

Se presenta a continuación el resumen de los metrados correspondientes a la alternativa de defensa ribereña con gaviones en el sector de Camiara.

Tabla 7

Síntesis de Metrados - Sistema Gaviones

Código	Descripción	Unidades	Metrado Referencial
OBRAS PRELIMINARES			
1001.S	Movilización y desmovilización de equipos Defensa Rib.C.P Camiara	gl	1,00
OBRAS PROVISIONALES			
101C	Topografía y Geo-referenciación de replanteo inicial	gl	1,00
102B	Mantenimiento de tránsito y seguridad vial - Locumba	m	11,00
10	Ataguías de protección	m	1667,54
10	Accesos	m	2579,28
MOVIMIENTO DE TIERRAS			
201A	Desbroce y limpieza en bosque	h	3,75
201B	Desbroce y limpieza en zonas no boscosas	h	2,28
202A	Excavación en material suelto	m	219 181,5
205.A	Conformación con material propio	m	167
225B	Excavación para defensa ribereña (con presencia de agua)	m	51 980,1
OBRAS DE ARTE Y DRENAJE			
505.D	Relleno para Estructuras con Material Propio	m	4042,5
52	Gavión Tipo 1	m	3969
543B	Geotextil No Tejido Clase 2	m	926,1
544C-1	Colchón Reno e=30cm	m	2205
TRANSPORTE			
70	Transporte de material granular hasta 1 km	m3km	4630,5
70	Transporte de material granular después de 1 km	m3km	719 042,55
70	Transporte de material a eliminar hasta 1 km	m3km	99 770,52
704	Transporte de material a eliminar después de 1 km	m3km	16 661,67

Nota. Resumen de metrados – sistema de gaviones. Elaboración propia

5.1.2 Presupuesto – sistema de gaviones

El costo de implementar la defensa ribereña con gaviones en el sector de C.P. Camiara se determina al sumar los costos parciales de cada componente incluido en esta solución. Los totales parciales de las partidas presupuestadas resultan de multiplicar los metrados por los precios unitarios establecidos.

Prosiguiendo, Se presenta el presupuesto del costo directo para la defensa ribereña en el sector Camiara utilizando el sistema de gaviones.

Tabla 8

Costo estimado - Estructura Gaviones

Código	Descripción	Unidades	MetradoReferencial	PU (US\$)	Monto Referencial (US\$)
1000	OBRAS PRELIMINARES				
1001.S	Movilización y desmovilización de equipos Defensa Locumba	glb	1,00	705 907,00	705 907,00
100	OBRAS PROVISIONALES				
101C	Topografía y Georreferenciación de replanteo inicial	glb	1,00	5959,44	5 959,44
102B	Mantenimiento de tránsito y seguridad vial - Locumba	mes	11,00	5377,85	59 156,35
106	Ataguías de protección	m3	16 667,541	9,68	161 341,8
107	Accesos	m	2579,28	13,44	34 665,52
200	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
201A	Desbroce y limpieza en bosque	ha	3,75	2270,11	8 512,91
201B	Desbroce y limpieza en zonas no boscosas	ha	2,28	1556,82	3 549,55
202A	Excavación en material suelto	m3	21 9181,5	2,56	561 104,64
205.A	Conformación con material propio	m3	167 348,58	1,96	328 003,22
225B	Excavación para defensa ribereña (con presencia de agua)	m3	51 980,1	3,41	177 252,14
500	OBRAS DE ARTE Y DRENAJE				
505.D	Relleno para Estructuras con Material Propio	m3	4042,5	10,32	41 718,60
522	Gavión Tipo 1	m3	3969	52,40	207 975,60
543B	Geotextil No Tejido Clase 2	m2	926,1	2,17	2 009,64
544C-1	Colchón Reno e=30cm	m2	2205	24,66	54 375,30
700	TRANSPORTE				
701	Transporte de material granular hasta 1 km	m3km	4 630,5	1,97	9 122,09
702	Transporte de material granular después de 1 km	m3km	719 042,55	0,67	481 758,51
703	Transporte de material a eliminar hasta 1 km	m3km	99 770, 52	1,97	196 547,92
704	Transporte de material a eliminar después de 1 km	m3km	16 661,67	0,67	11 163,32
COSTO DIRECTO (US\$)					3,050,123.54

Nota. Presupuesto referencial – sistema de gaviones. Elaboración propia

5.2 ESTUDIO ECONÓMICO DEL MÉTODO DE DEFENSA RIBEREÑA CON GEO-ESTRUCTURAS

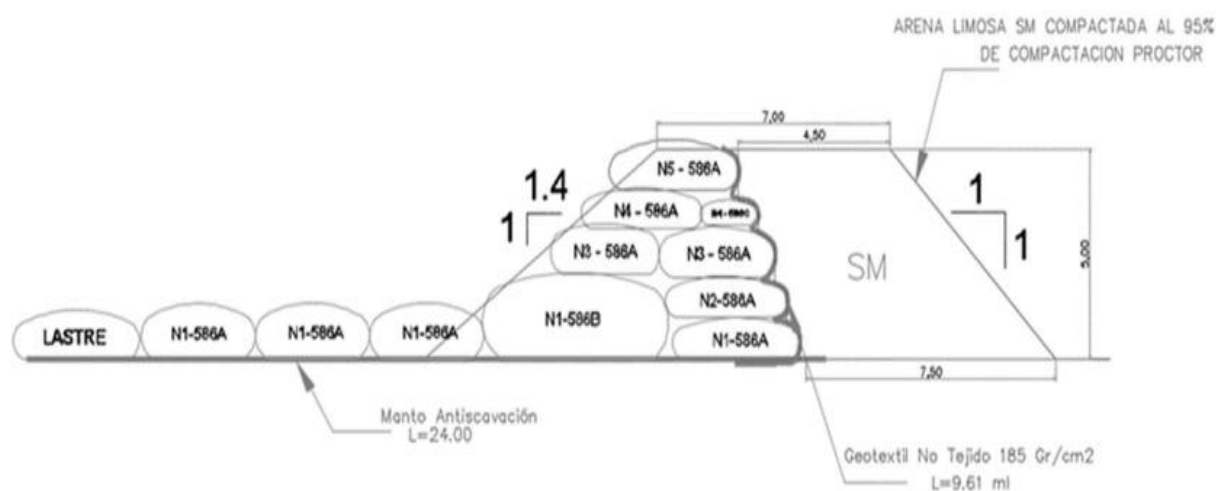
Para estimar el costo de la protección ribereña con sistema de geo-estructuras, se calcularán los metrados tomando como referencia el pre-dimensionamiento realizado en el capítulo 3.2. En primer lugar, se efectuará el metrado del dique de protección en la margen derecha.

DIQUE MARGEN DERECHA:

- Longitud de protección margen derecha: $L = 75 \text{ ml}$.
- Sección típica margen derecha:

Figura 39

Dique Sistema de Geo - Estructuras



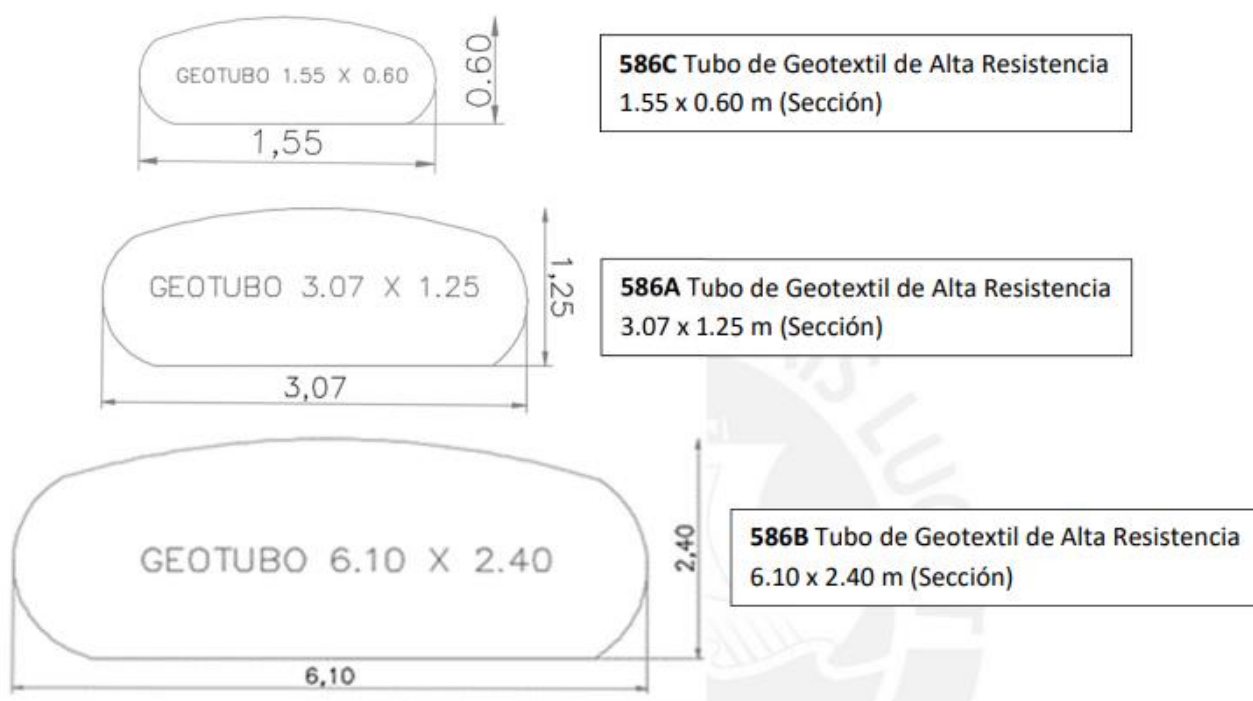
Nota. Dique margen derecha – sistema de geo-estructuras. Elaboración propia

Se adoptará una sección uniforme a lo largo de todo el eje de protección de la margen derecha, con el fin de simplificar el análisis de metrados y costos, manteniéndolo en la misma proporción que el análisis realizado para el sistema de gaviones.

El dique de la margen derecha está compuesto por cinco niveles de geo-estructuras, instalados según lo descrito previamente, donde los geo-tubos se apilan hasta alcanzar la cota proyectada. Cada geo-tubo cuenta con un código de identificación que facilita su reconocimiento para realizar el metrado correspondiente. Para este diseño, se consideran tres tipos de geo-tubos comerciales, cuyas propiedades se muestran en las imágenes siguientes:

Figura 40

Características para Tipos de Geo-Tubos



Nota. Características generales para las distintos tipos de geo tubos. Elaboración propia

Cada uno de los geo-tubos dados se comercia en medidas de 7,10 y 12 ml. Para la evaluación económica de esta solución con geo-estructuras, se consideraron geo-tubos de geotextil con dimensiones de 10 ml.

En la base del dique de geo-estructuras, se colocó un manto anti-socavación de 24 ml de longitud. Detrás del dique, se construyó un terraplén con Arena Limosa (SM) compactada al 95 % de la densidad Proctor. Entre los geo-tubos y el terraplén de respaldo,

se instaló un geo-textil no tejido para prevenir la pérdida de finos. En cuanto a los metrados de los elementos clave de esta solución, se consideró el transporte del material propio para las geo-estructuras, contemplando el traslado desde el centro de acopio hasta la zona de preparación del slurry, que luego será bombeado a cada geo-tubo.

"Del mismo modo, en el resumen de metrados se contempla el traslado de las geo-estructuras desde Lima hasta el lugar de implementación en Locumba. El transporte se realizará en camiones tipo plataforma, con una capacidad de carga aproximada de 18 geo-estructuras empaquetadas por unidad. Además, esta partida contempla la movilización de los mantos anti-socavación necesarios para la protección ribereña en el sector Camiara.

A continuación, se presenta el resumen de los metrados correspondientes a los elementos clave de la defensa ribereña con sistema de geo-estructuras en el dique del lado derecho.

Tabla 9***Metrados – Dique con geo-estructuras (margen derecha)***

Código	Descripción	Unidades	Metrado Referencial
1000	OBRAS PRELIMINARES		
1007A	Transporte de geo-estructuras para la Defensa Rib. del río Locumba	und	7
500	OBRAS DE ARTE Y DRENAJE		
505.D	Relleno para Estructuras con Material Propio	m3	2300,25
543B	Geotextil No Tejido Clase 2	m2	720,75
586A	Tubo de Geotextil de alta Resistencia 3.07 x 1.25	m	675,00
586B	Tubo de Geotextil de alta Resistencia 6.1 x 2.4	m	75,00
586C	Tubo de Geotextil de alta Resistencia 1.55 x 0.6	m	75,00
586F	Colocación de Tubo de Geotextil de alta Resistencia	m	825,00
587A	Llenado de Tubo de Geotextil de alta Resistencia	m3	3288,492
588B	Manto anti-socavación con lastre (24m de ancho)	ml	75,00
588C	Colocación de Manto anti-socavación con lastre (24m de ancho)	ml	75,00
700	TRANSPORTE		
701E	Transporte de material propio para geo-estructuras hasta 1 km	m3km	569,49
702E	Transporte de material propio para geo-estructuras después de 1 km	m3km	-

Nota. Resumen de Metrado para dique con Geo-Estructuras. Elaboración propia

5.2.1 Síntesis de metrados – sistema de geo-estructuras

El resumen de metrados para la ejecución de la defensa ribereña con geo-estructuras abarcará todos los metrados de las estructuras ubicadas en la margen derecha, presentados anteriormente. Asimismo, se detallarán los metrados de las labores preliminares, provisionales y de movimiento de tierras.

Teniendo en cuenta que la geometría de las secciones y la longitud de la defensa en ambos márgenes del río Locumba son equivalentes para las alternativas con gaviones y geo-estructuras, se utilizarán los mismos metrados para los trabajos preliminares, provisionales y de movimiento de tierras en ambas alternativas.

En cuanto al movimiento de tierras, se consideran las actividades de excavación en material suelto (219,181.5 m³) y la excavación para la defensa ribereña (51,980.1 m³). Los volúmenes resultantes deberán trasladarse a un depósito de material excedente autorizado,

ubicado cerca del área de estudio. Por lo tanto, el presupuesto de la solución con geo-estructuras incluirá los metrados correspondientes a las partidas 703 y 704 para el transporte de material a eliminar hasta o después de 1 km. El volumen a retirar será el siguiente:

- Volumen de excavación en material suelto: 219 181,5 m³
- Volumen de excavación para defensa ribereña: 51 980,1 m³
- Volumen para conformación con MP: 167 348,58 m³
- Volumen de relleno para estructuras con MP: 4 508,49 m³
- Volumen de relleno para geo-tubos con MP: 6 445,44 m³

Volumen de eliminación: 260 206.67 m³

El cálculo efectuado contempla la diferencia entre el volumen total excavado y la cantidad de material propio utilizado para el relleno, tanto en el dique de respaldo como en los geo-tubos. A continuación, se detalla el resumen de metrados para la solución con geo-estructuras en la defensa ribereña del sector Camiara.

Tabla 10

Síntesis de Metrados – Sistema Geo estructuras

Código	Descripción	Unidades	Metrado Referencial
OBRAS PRELIMINARES			
1001.S	Movilización y desmovilización de equipos Defensa Rib.Río Locumba	gl	1.00
1007A	Transporte de geo-estructuras para la Defensa Rib río Locumba	un	7.00
OBRAS PROVISIONALES			
101C	Topografía y Georreferenciación de replanteo inicial	gl	1.00
102B	Mantenimiento de tránsito y seguridad vial - Locumba	m	11.00
106	Ataguías de protección	m	16675.41
	Accesos	m	2579.28
MOVIMIENTO DE TIERRAS			
201A	Desbroce y limpieza en bosque	h	3.75
201B	Desbroce y limpieza en zonas no boscosas	h	2.28
202A	Excavación en material suelto	m	219 181.5
205.A	Conformación con material propio	m	167 348.58
225B	Excavación para defensa ribereña (con presencia de agua)	m	51 980.1
OBRAS DE ARTE Y DRENAJE			
505.D	Relleno para Estructuras con Material Propio	m	4 508.49
543B	Geotextil No Tejido Clase 2	m	720.75
586A	Tubo de Geotextil de alta Resistencia 3.07 x 1.25	m	675.00
586B	Tubo de Geotextil de alta Resistencia 6.1 x 2.4	m	75.00
586C	Tubo de Geotextil de alta Resistencia 1.55 x 0.6	m	75.00
586F	Colocación de Tubo de Geotextil de alta Resistencia	m	825.00
587 ^a	Llenado de Tubo de Geotextil de alta Resistencia	m	6 445.44
588B	Manto anti-socavación con lastre (24m de ancho)	m	75.00
588C	Colocación de Manto anti-socavación con lastre (24m de ancho)	m	75.00
TRANSPORTE			
701E	Transporte de material propio para geo-estructuras hasta 1 km	m3km	569.49
702E	Transporte de material propio para geo-estructuras después de 1	m3km	
703	Transporte de material a eliminar hasta 1 km	m3km	92859.09
704	Transporte de material a eliminar después de 1 km	m3km	15507.48

Nota. Metrado para el sistema de geo-estructuras para C.P Camiara. Elaboración propia

5.2.2 Presupuesto – sistema de geo-estructuras

El costo de implementar el método de geo-estructuras como defensa ribereña en el área afectada del C.P. Camiara se determina sumando los montos parciales de cada actividad

contemplada en esta solución. Cada monto parcial en el presupuesto resulta del producto entre los metrados y los precios unitarios establecidos.

A continuación, se presenta el presupuesto del costo directo para la defensa ribereña en el sector Camiara utilizando el sistema de geo-estructuras.

Tabla 11

Costo Estimado – Sistema Geo Estructuras

Código	Descripción	Unidades	Metrado Referen	PU (US\$)	Monto Referencia I (US\$)
OBRAS PRELIMINARES					
1001.S	Movilización y desmovilización de equipos Defensa Sector Camiara	glb	1,00	705 907,00	705907
1007A	Transporte de geo-estructuras para la Defensa Sector Camiara	und	7,00	6995,36	48967.52
OBRAS PROVISIONALES					
101C	Topografía y Geo-referenciación de replanteo inicial	glb	1,00	5,959,4	5959,44
102B	Mantenimiento de tránsito y seguridad vial - Camiara	mes	11,00	5,377,8	59 156,35
106	Ataguías de protección	m3	16 675,41	9,68	161 417,97
107	Accesos	m	2579,28	13,44	34 665,5232
MOVIMIENTO DE TIERRAS					
201A	Desbroce y limpieza en bosque	ha	3,75	2270,11	8512,912
201B	Desbroce y limpieza en zonas no boscosas	ha	2,28	1556,82	3549,549
202A	Excavación en material suelto	m3	219 181,5	2,56	56 1104,64
205.A	Conformación con material propio	m3	167 348,58	1,96	32 8003,217
225B	Excavación para defensa ribereña (con presencia de agua)	m3	51 980,1	3,41	177 252,141
OBRAS DE ARTE Y DRENAJE					
505.D	Relleno para Estructuras con Material Propio	m3	4 508,49	10,31	46 482,53
543B	Geotextil No Tejido Clase 2	m2	720,75	1,97	1419,87
586A	Tubo de Geotextil de alta Resistencia 3.07 x 1.25	m	675,00	138,0	93 183,75
586B	Tubo de Geotextil de alta Resistencia 6.1 x 2.4	m	75,00	238,7	17 905,5
586C	Tubo de Geotextil de alta Resistencia 1.55 x 0.6	m	75,00	79,29	5946,75
586	Colocación de Tubo de Geotextil de alta Resistencia	m	825,00	7,29	6014,25
587A	Llenado de Tubo de Geotextil de alta Resistencia	m3	6 445,44	7,96	51 305,70
588B	Manto anti socavación con lastre (24m de ancho)	ml	75,00	309,4	23 205,75
588C	Colocación de Manto anti socavación con lastre (24m de ancho)	ml	75,00	81,13	6084,75
TRANSPORTE					
701E	Transporte de material propio para geo-estructuras hasta 1 km	m3km	569,49	1,97	1121,89
702E	Transporte de material propio para geo-estructuras después de 1 km	m3km		0,67	-
703	Transporte de material a eliminar hasta 1 km	3km	92 859,09	1,97	182932,40
704	Transporte de material a eliminar después de 1 km	m3km	15 507,48	0,67	10390,01
COSTO DIRECTO (US\$)					2 540 489,438

Nota. Presupuesto para el Sistema de Geo-estructuras en el C.P Camiara. Elaboración propia

CAPÍTULO VI

PLANEAMIENTO FINAL DE SISTEMA DE GEO-ESTRUCTURAS

Tras realizar el pre-dimensionamiento, la evaluación de estabilidad y el análisis económico de las dos posibles soluciones para mitigar la erosión en el margen derecho del área crítica del sector C.P. Camiara, se concluye que la opción más viable técnica y económicamente. Se plantea implementar un sistema de protección ribereña con geo-estructuras, estableciendo las especificaciones de los geo-tubos y su configuración final en el proyecto.

6.1 PROPIEDADES DE LAS GEO-ESTRUCTURAS

6.1.1 *Características del geo-textil tejido para los tubos de geo-textil*

➤ **Tensión del geo-textil tejido**

La resistencia a la tensión del geotextil que conformará el geo-tubo es crucial, debido a los esfuerzos que deberá soportar durante el proceso de llenado y la posterior sedimentación.

La comprobación de la tensión en el geotextil se lleva a cabo tomando en cuenta dos criterios que se complementan mutuamente::

- **Primera comprobación:** Se basa en cerciorar la tensión máxima en el geo-textil durante el proceso de llenado del elemento.

- **Segunda comprobación:** Se basa en cerciorar la tensión máxima en el geo-textil por apilamiento o sobrecarga del elemento.

En la **primera verificación**, durante la fase de llenado del geo-tubo, la arena queda retenida en su interior mientras el agua se filtra a través de las aberturas del geotextil. En esta etapa, se controla la presión de llenado comprobando relaciones reducidas de altura frente a

ancho (H/W) del geo-tubo tejido, además de validar la tensión de trabajo en comparación con la tensión admisible.

De acuerdo con las indicaciones del fabricante y las normativas del Instituto de Investigación de Geosintéticos (Geosynthetic Institute, EE.UU.), específicamente el método de ensayo GT11, ítem 6.9 sobre la relación altura-ancho, se establece que la proporción H/W (altura respecto al ancho) del geo-tubo, tanto durante su llenado como en su estado final, no debe superar el valor de 0.50.

La comprobación de este criterio se llevó a cabo en el geo-tubo de mayor tamaño: de 6,10 x 2,40 m, con una relación altura-ancho de 0,40 m (dentro del límite permitido según la recomendación previamente mencionada). Esta relación debe ser supervisada durante toda la etapa de llenado para controlar las presiones aplicadas durante el proceso.

Los ensayos realizados confirmaron que una presión máxima de llenado de 3,2 kPa es adecuada para un geo-tubo con una circunferencia de 14,7 m (correspondiente a un tubo de 6,10 x 2,40 m) genera una relación H/W de 0,45, estando este valor dentro del límite permitido y por debajo de la recomendación establecida.

De acuerdo con las recomendaciones del fabricante y del Instituto de Investigación de Geosintéticos, se aconseja que la presión de llenado no supere los 35 kPa. Por esta razón, se propone mantener la presión en 3,2 kPa para los geo-tubos utilizados en la defensa ribereña del Sector Camiara garantiza que la relación entre altura y ancho permanezca por debajo del límite recomendado. La presión aplicada durante el llenado genera tensión en las paredes del geo-tubo.

La segunda verificación implica calcular las tensiones máximas que se producen en el tubo inferior del dique por la carga de los tubos superiores. Para asegurar la resistencia del geotextil tejido, la tensión admisible debe ser superior a la tensión aplicada. Según los cálculos realizados con la metodología empleada, se recomienda usar un geotextil tejido con una resistencia a la tracción de 175 kPa, (valor obtenido a través del software GEOCOPS).

➤ **Dimensión de abertura aparente del sistema de tubo de geo-textil:**

El estudio de esta propiedad se realiza teniendo en cuenta las características del material utilizado para rellenar el geo-tubo. A partir del análisis granulométrico, se determinó que el geo-textil debe tener un tamaño de abertura aparente inferior a 0,30 mm.

Según Urteaga (2019) dice:

Considerando las recomendaciones del Instituto de Investigación de Geosintéticos (GSI) a través de las normas GSI GT10 (USA - Geosynthetic Institute - "Test Methods, Properties and Frequencies for High Strength Geotextile Tubes used as Coastal and Riverine Structures" - Table 1(a): Class 1 Tubes - Aggressive Conditions) se detalla que el tamaño de abertura aparente máximo sea de 0.425 mm. (p. 80)

Considerando las dos recomendaciones previas, se opta por utilizar un geo-textil con una abertura aparente máxima de 0,425 mm, debido a su menor costo en comparación con la opción de 0,30 mm, cumpliendo aún con los requisitos mínimos necesarios.

6.2 CRITERIOS DE DISEÑO DEL DIQUE DE LAS GEO-ESTRUCTURAS

El diseño de un dique con geo-estructuras es una fase esencial del proyecto, que exige alta precisión para posicionar los elementos de acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis. Asimismo, los procedimientos empleados en esta fase son fundamentales, especialmente considerando la limitada bibliografía disponible y la escasa cantidad de obras construidas con esta metodología.

Para esto, después de examinar las conclusiones obtenidas de los distintos análisis ejecutados, se establecen los siguientes criterios o directrices para el diseño del sistema de geo-estructuras:

- ❖ Para ejecutar el acoplamiento de los geo-tubos es imprescindible laborar con distintas longitudes de dichas piezas, con la finalidad, el proveedor aconsejo el empleo de geo-tubos de alta resistencia de medidas 6.1 x 2.4 m y 3.1 x 1.2 m, debido a su posibilidad y a la eficacia que habría ante las solicitudes a las que serán expuestos.
- ❖ Los geo-tubos de 6.1 x 2.4 m deben instalarse en la base del dique para proporcionar una mayor área de soporte a los geo-textiles de las filas superiores. La estructura principal del dique estará conformada por estos elementos principalmente por estos geo-tubos, mientras que los de 3.1 x 1.2 m se utilizarán para completar los volúmenes restantes según las longitudes definidas del dique.
- ❖ Para conservar la topografía natural del terreno, se plantea construir un dique con taludes que se asemejen a la pendiente original de la zona. Se eligió una inclinación de 1V:1.4H en la cara expuesta al agua y de 1V:1H en la parte posterior con relleno compactado.

Aplicando este criterio y definiendo una altura de seguridad de 5 m, se calculó la longitud del pie de talud, añadiendo el ancho de la cresta. El resultado fue un pie de talud de aproximadamente 25 m, considerando una cresta de 6 m de ancho, donde se decidió colocar dos geo-tubos de 3.1 x 1.2 m para mejorar la adaptabilidad en la parte superior del dique..

- ❖ Para proteger la base de los geo-tubos de la erosión causada por el río Locumba, el manto anti-socavación se extiende lo necesario para que la plataforma de deformación controle las erosiones más intensas, preservando así la estabilidad del dique.

Se sugiere que la longitud calculada represente alrededor de la mitad de la base del dique de geo-tubos, optando en este proyecto por una distancia de 12 m. En el extremo del geo-tubo, se coloca un lastre de 3.1 x 1.2 m para aumentar la estabilidad y resguardar la integridad del talud.

- ❖ Por último, se lleva a cabo el análisis de estabilidad del talud, descrito en el apartado 3.3 de esta tesis, con el fin de comprobar la estabilidad del dique de geo-tubos considerando las dimensiones definidas en el diseño.

Se observa que el diseño de un sistema con geo-estructuras debe ajustarse a las características particulares de cada obra, por lo que no existe un modelo universal aplicable a todas las inversiones. No obstante, los principios y directrices presentados en esta tesis serán de gran utilidad para desarrollar un proyecto viable y adecuado durante las etapas de construcción.

CAPÍTULO VII

PROCESO CONSTRUCTIVO

Una vez determinado el modelo de la solución a intervenir como método de control a la dificultad suscitada en las riberas del río Locumba a la altura del Sector C.P Camiara, se ejecuta el planeamiento y se estructura las fases constructivas que admitirá cumplir con los tiempos, calidad y precios constituidos en el inicio.

Se ejecutará una descripción de las acciones más importantes en la fase constructiva, precisando El método de trabajo durante cada etapa de la ejecución..

7.1 OBRAS PRELIMINARES

Los trabajos pre-liminares hacen alusión a las acciones que tienen que efectuarse previo al real inicio de la ejecución del proyecto. Para la realización de la defensa ribereña del sector Camiara, fue fundamental ejecutar acciones pre-liminares que admitieron desenvolver la construcción de la defensa ribereña de manera organizada y conforme a los plazos establecidos.

Estas tareas contemplan la movilización de equipos, incluyendo el transporte de toda la maquinaria requerida, tanto autopropulsada como no autopropulsada, para ejecutar el proyecto. La cantidad de equipos se establece con base en las composiciones unitarias de cada partida presupuestaria, calculando las distancias de transporte desde el sitio de alquiler o adquisición hasta el punto central de la obra. Al finalizar el proyecto, se realiza la desmovilización siguiendo el mismo procedimiento.

Otra acción previa relevante es el transporte de las geo-estructuras y mantos anti-socavación para la defensa ribereña en el sector Camiara. Para ello, se utilizarán vehículos de transporte adecuados que garanticen la entrega segura de los materiales, equipados con los componentes necesarios para evitar problemas de seguridad vial o daños al equipo trasladado. El transporte de las geo-estructuras se realizará con un vehículo de cama baja, y

la unidad de medida será la 'unidad', que representa cada viaje realizado. Cada unidad puede transportar alrededor de 18 geo-estructuras, debidamente empaquetadas y etiquetadas para su fácil identificación en la obra.

7.2 ACCIONES PROVISIONALES

Estas acciones cumplen a proyectos temporales, es decir, acciones que se realizan como respaldo de las acciones importantes de la obra, sin embargo, una vez finalizada la ejecución de la obra accesoria, se retiran.

Las acciones provisionales incluyen la topografía y georreferenciación de replanteo al comienzo, que debe mantenerse de manera continua durante toda la ejecución de la obra. El diseño de la obra se basa en la topografía inicial, a partir de la cual se desarrolla la ingeniería de detalle; pese a lo cual, al instante de comenzar la realización de la obra es esencial ejecutar un replanteo al inicio que admita reconocer las condicionantes y atributos del área en ese actual tiempo. Más adelante, la inspección topográfica debe ser estable durante toda la realización del proyecto, más aún si se trata de una solución que abarca cotas del plan de cada una de las geo-estructuras.

Otra acción provisional clave es el mantenimiento del tránsito y la seguridad vial, cuya implementación asegurará la fluidez del tráfico en la zona del proyecto y protegerá a los usuarios de la vía. Para ello, se contará con personal de vigilancia y señalización vertical, tanto preventiva como informativa, que regule la circulación y advierta a los transeúntes sobre los trabajos en ejecución.

Una vez realizadas ambas acciones provisionales, se deriva a ejecutar las entradas necesarias que han sido comprendidos previamente con el objetivo de alcanzar el flujo más ideal de los accesorios a realizar en el plan. Los ingresos tienen que tener las medidas requeridas para que los operadores tengan que manejar los accesorios con comodidad y con el menor peligro de causar alguna clase de incidente, ello fortalecido con las apropiadas señales que se pongan en dichas entradas. Para la realización de las entradas será requerido

hacer el desbroce y limpieza con el apoyo de un tractor-oruga y un cargador neumático, asimismo de la labor casera de peones que apoyen a despejar determinadas áreas en donde la maquinaria no alcanzo entrar.

Además de las actividades mencionadas, se llevará a cabo la construcción de ataguías de protección, estructuras temporales diseñadas para aislar y resguardar las zonas de intervención, permitiendo su ejecución de manera segura. El proceso inicia con la limpieza del área de cimentación, eliminando cualquier vegetación o material orgánico. Luego, se colocará el material seleccionado, libre de componentes orgánicos, para dar forma al dique, compactándolo con un rodillo pata de cabra o tractor oruga. Finalmente, se verificará la correcta ejecución y estabilidad de estas estructuras mediante ensayos de calidad.

7.3 MOVIMIENTO DE TIERRAS

La defensa ribereña en el sector Camiara es un proyecto en el que el suelo existente en la zona juega un papel crucial, lo que significa que el movimiento de tierras tiene un impacto directo tanto en el costo como en los plazos de ejecución.

Identificadas y marcadas las zonas destinadas a los diques de defensa, se da inicio a la obra con las labores de desbroce y limpieza. Debido a la copiosa vegetación que se tiene en el sector de la obra, es esencial ejecutar un aseo y desbroce del terreno original que esta ocultado de pastos, bosque, maleza, etc., de tal modo que el sector este pulcro y liberado de todo vegetal y su superficie se muestre apto para empezar las demás acciones.

Este trabajo implica la eliminación de árboles, desarraigo y remoción de raíces que puedan encontrarse en la zona de la obra. Es importante tener una atención detallada durante este procedimiento busca prevenir daños graves en los suelos de las zonas cercanas y conservar la vegetación intacta.

Esta disposición en los componentes y/o materiales generados por dicha acción se realizará conforme a las normativas correspondientes, asegurando que sean trasladados a los vertederos o depósitos de material excedente previamente establecidos.

Tras completar el desbroce y la limpieza, se llevarán a cabo las excavaciones masivas, respetando las pendientes, alineaciones y niveles indicados en los planos del proyecto.

Las cotas alcanzadas estarán determinadas por cotas geodesicas.

Las excavaciones masivas se clasifican en dos partidas: 202A, correspondiente a la excavación en material suelto sin presencia de agua, y 225B, destinada a las excavaciones en zonas con presencia de agua para la defensa ribereña. Por lo tanto, las excavaciones en las áreas de encauzamiento del río Locumba se asignarán a la partida 225B, mientras que en las zonas más alejadas de las riberas se aplicará la partida 202A.

En la fase de excavación, el equipo principal a utilizar son excavadoras orugas, que tienen la capacidad de trasladarse sin dificultad por terrenos irregulares. El proceso constructivo de la Defensa Ribereña en el Sector Camiara comienza con el trabajo en la zona relacionada con La construcción del dique en la margen derecha aguas abajo comienza con la instalación de la ataguía, que permitirá despejar la zona de trabajo. Luego, se realizará la excavación masiva hasta alcanzar el nivel de cimentación del dique de geo-estructuras para la defensa ribereña. La ataguía se levantará utilizando material propio extraído de la excavación en material suelto.

Asimismo, se inicia la excavación para el nuevo encauzamiento del río Locumba (aguas abajo), que asegurará un flujo lineal hacia el Puente Locumba. El material extraído se reutilizará como relleno compactado en la zona posterior de los diques de geo-tubos. Para este proceso, se utilizarán las partidas 205A para la conformación con material propio y 505.D para el relleno estructural con material propio. La partida 505.D implica un relleno compactado (SM) al 95% del Proctor Modificado, mientras que la partida 205A contempla una compactación menor. Las labores de relleno se realizarán con volquetes, cargadores frontales y rodillos compactadores, siguiendo los lineamientos establecidos en la ingeniería de diseño..

Una vez concluido el nuevo encauzamiento que guiará las aguas a través de este alineamiento, se inicia, como segunda fase del plan, La edificación del dique tapón, que cerrará el meandro original del río al iniciar la ejecución del proyecto. Este dique de cierre se construirá con relleno compactado, reforzado mediante geo-celdas para garantizar su estabilidad ($e=0.15$ m), las cuales están llenas de mortero y reforzadas sobre un filtro de geo-textil.

7.4 COLOCACIÓN, LLENADO Y DISPOSICIÓN FINAL DE DIQUES DE GEO-ESTRUCTURAS

Una vez completada la perforación hasta las alturas especificadas en los planos de detalle, se procederá con la colocación y llenado de las geo-estructuras. No obstante, como etapa preliminar, será necesario identificar las áreas estratégicas para construir las pozas

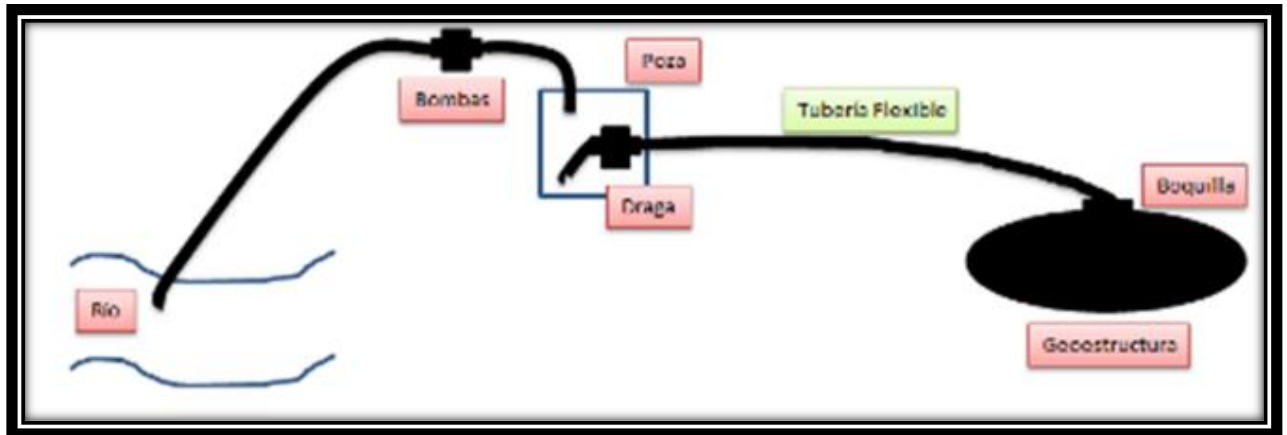
donde se mezclará agua y arena para generar el slurry, material que se distribuirá hacia cada geo-estructura.

Debido a las dimensiones y la cantidad de geo-tubos, será necesario excavar múltiples pozas de mezcla, diseñadas para almacenar la cantidad adecuada de arena para las geo-estructuras de cada zona. Tras la excavación de una poza, se revestirá con geotextil no tejido para evitar la contaminación del material depositado. Este material no debe contener más del 50% de partículas que pasen por el tamiz #200, con el objetivo de acelerar la consolidación dentro del geo-tubo.

Figura 41*Procedimiento - Poza de Pruebas*

Nota. Poza de prueba para el llenado de una geo-estructura, utilizada durante la ejecución de la obra para el proceso de llenado de la geo-estructura. Elaboración propia

Una vez perforada la poza de mezcla, cubierta con geo-textil no tejido y asegurada de que la arena esté libre de contaminantes, se procede con la instalación de la tubería que llevará el agua desde el río hasta la poza, proporcionando la cantidad necesaria para la creación del slurry. Además, se instala el sistema de bombeo y la red de tuberías para descargar el slurry hacia las boquillas de las geo-estructuras.

Figura 42*Esquema del Llenado de las Geo-estructuras*

Nota. Esquema del llenado de las geo-estructuras Para Geo-Estructuras. Elaboración propia

En la zona de cimentación del dique de geo-estructuras, se instala un manto anti-socavación de geotextil tejido, diseñado para prevenir la erosión al retener las partículas del suelo mientras permite el paso del agua. En el extremo del manto, se coloca un geo-tubo relleno de tierra, confeccionado con el mismo material y unido a la estructura, que actúa como lastre para brindar mayor protección contra la erosión fluvial.

El manto anti-socavación se desplegará, ubicando el lastre con los puertos de acceso y salida en la parte superior del tubo. La capa final de lastre deberá quedar al menos parcialmente enterrada, mientras que el manto se posicionará al nivel del lecho del río. Para mayor estabilidad, el lastre podrá fijarse con anclajes, compuestos por varillas de ϕ 1/2" y 3,50 m de longitud. Estos anclajes deben ser insertados alrededor de 1,50 m en el suelo, o hasta que se logre la resistencia necesaria. La separación entre los anclajes será de 3,50 m.

Después de completar el llenado del lastre, se procederá a desplegar y colocar sobre él la primera fila de tubos de geotextil de alta resistencia, que formarán la estructura principal del dique guía con geo-estructuras.

Conforme al plan establecido, se situarán las geo-estructuras en su posición definitiva y se anclarán al terreno antes de proceder con su relleno. Posteriormente, se conectará la

tubería flexible proveniente de la poza de mezcla a los puertos de entrada de las geo-estructuras, insertándola al menos 0,50 m en la armadura y fijándola con abrazaderas. Es fundamental destacar que las muestras para las pruebas de gradación del slurry deben tomarse en la descarga de la tubería corrugada, justo antes de introducirla en el puerto de llenado.

Una vez posicionada correctamente la tubería de descarga en la geo-estructura, se procederá a bombear agua durante unos minutos para que el tubo de geotextil tome su forma definitiva y se eliminen las partículas que pudieran afectar la estructura final del geo-tubo. Aproximadamente a los 5 minutos, se iniciará el llenado del geo-tubo con slurry hasta alcanzar el 75% de la altura prevista en el plan. En este momento, un equipo de obreros especializados ingresará para realizar saltos y ayudar a drenar rápidamente la geo-estructura. Este proceso se repetirá después del primer y segundo re-llenado, finalizando con el tercer y último re-llenado, momento en el cual se alcanzará la altura planificada.

Es fundamental que durante la fase de llenado de la geo-estructura se realice una inspección topográfica de cada altura antes de proceder con los re-llenados. Además, se debe contar con la supervisión del personal de inspección de calidad para verificar que el método constructivo que se está llevando a cabo cumpla con las especificaciones técnicas del plan. Solo después de esta revisión se podrán autorizar las liberaciones para continuar con el proceso de llenado de la geo-estructura.

CAPÍTULO VIII

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para llevar a cabo cualquier proyecto de infraestructura, es fundamental realizar un análisis comparativo, tanto técnico como económico, con el fin de lograr los mejores resultados al finalizar el plan. De esta manera, se garantiza el adecuado desarrollo de la defensa ribereña en el sector Camiara se analizaron 02 probables soluciones, método con gaviones y geo-estructuras, por lo cual se tuvieron las posteriores conclusiones:

CONCLUSIÓN EN ESTABILIDAD DE TALUDES

Tal como se detalló en el capítulo 4.2 de esta tesis, la implementación de geo-estructuras otorga una mayor estabilidad a los taludes de la ribera del río Locumba en la zona de estudio (C.P Camiara). Esto garantiza la durabilidad del proyecto y, principalmente, reduce el riesgo de deslizamientos en el área vial de la Carretera Locumba - Ilabaya. Posteriormente, en la Tabla N°12 se exponen los resultados obtenidos del análisis de estabilidad llevado a cabo para los tres escenarios.

Tabla 12

Conclusiones del Estudio de Estabilidad

Método a desarrollar	Estudio estático	Estudio seudo estático
	FS	FS
Talud natural	1,201	1,066
Gaviones	1,787	1,462
Geo-estructuras	2,448	1,913

Nota. Conclusiones del Estudio de Estabilidad Para el C.P Camiara. Elaboración propia

Tal como se observa en la Tabla 12, los cálculos del factor de seguridad en el análisis de estabilidad de los taludes superan el valor de 1, lo que demuestra que la resistencia al corte del suelo, en una amplia zona vulnerable a deslizamientos, es mayor que la necesaria para mantener el equilibrio.

En el caso del talud natural, se evidencia que los valores del factor de seguridad se sitúan cerca de 1, lo que indica que los taludes en las riberas del río Locumba, a la altura del C.P Camiara, presentan una estabilidad marginal, se localizan en un aspecto de falla rudimentario y que es imprescindible poner un procedimiento de defensa que aumente los requisitos del área. Por ende, como se aprecia en el estudio ejecutado, los datos arrojados del factor de seguridad para los taludes, la aplicación de métodos mediante gaviones y geoestructuras incrementa exponencialmente su estabilidad, destacándose que las geoestructuras son las que elevan el Factor de Seguridad en mayor medida.

Para el diseño de taludes mediante métodos de equilibrio, se recomienda emplear un factor de seguridad superior a 1.4 para asegurar una mayor fiabilidad en el plan propuesto. En el estudio, este valor es excedido tanto en el análisis estático como en el pseudoestático, para las dos soluciones presentadas en el análisis actual.

CONCLUSIÓN ECONÓMICA:

En la tabla 13 se muestra el ahorro económico logrado al realizar la defensa ribereña en el sector Camiara utilizando el método de Geo-estructuras en lugar de emplear un sistema de Gaviones. Es importante resaltar que el principal ahorro proviene del transporte de material granular necesario para el funcionamiento del sistema de gaviones, el cual no fue necesario en el método de geo-estructuras, ya que se utilizó el componente propio como relleno del geo-tubo. A continuación, se detalla el ahorro a nivel de costo directo:

Tabla 13*Resultados del Análisis Económico*

Proyecto: Defensa ribereña sector Camiara Tacna			
Sistema a utilizar	Sistema de gaviones	Sistema de geo-tubos	Ahorro
Costo directo (US\$)	3,050,123.54	2,540,489.438	509,634.102

Nota. Resultados del Análisis de Económico para el C.P Camiara. Elaboración propia

CONCLUSIÓN EN PLAZO DE REALIZACIÓN

En procedencia a una proyecto bien diseñado y ejecutado para el funcionamiento del método de geo-estructuras como inspección de erosión en las riberas del río Locumba a la altura del C.P Camiara, se obtiene el periodo de realización por 6 meses.

La rentabilidad obtenida para relleno en geo-estructuras es alrededor de 280 m3 por día, entretanto que una rentabilidad próxima de realización de gaviones es 150 m3 por día; así que, el funcionamiento con esta última solución acontecería en un mayor tiempo de realización.

DISMINUCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

El uso del método con geo-estructuras permitió evitar el empleo de grandes cantidades de canteras como fuente de material, gracias al aprovechamiento del material propio como componente principal de las armaduras esenciales. Esto evitó la alteración de áreas naturales que hubieran sido explotadas para el funcionamiento de alternativas como los gaviones o el concreto. Además, se evitó la necesidad de realizar largos desplazamientos de material, lo que a su vez contribuyó a reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) generadas por los camiones que habrían transportado el material para implementar otros métodos. También, el método de geo-estructuras se presenta como una opción ecológica que permitió la recuperación de esta zona afectada por la erosión causada por los flujos de agua

del río Locumba. Como se puede ver en la imagen a continuación, las geo-estructuras ayudan a disminuir la contaminación visual del área, ya que se integran de manera armoniosa con el entorno vegetal existente.

Figura 43

Perspectiva Panorámica de Diques



Nota. una perspectiva panorámica de los diques de defensa, se evidencia la integración entre las geo-estructuras y el entorno ambiental del área, similar a lo observado en un proyecto análogo. Elaboración propia

AUMENTO EN LA SEGURIDAD DE LOS CLIENTES DE LA VÍA

La implementación de la defensa ribereña en el sector Camiara garantizó la integridad de la Carretera Locumba - Ilabaya. Asimismo, el nuevo encauzamiento del río Locumba, llevado a cabo como parte de la solución, ayudó a estabilizar los taludes de la carretera, que previamente estaban seriamente expuestos debido a la erosión intensa provocada por el flujos del río.

SINERGIA EN EL GRUPO DE TRABAJO

Para lograr los objetivos del Plan en términos de plazos, costos y calidad, es crucial mantener una comunicación continua entre todos los involucrados. Es esencial la colaboración entre proveedores de materiales, diseñadores, ingenieros de planta, técnicos, ingenieros de productividad, tanto el personal calificado como el no calificado, y los ingenieros de control de calidad, garantizará la obtención de resultados óptimos en la construcción de la Defensa Ribereña en el Sector Camiara.

Cabe precisar que para asegurar el correcto mecanismo de los diques de defensa será indispensable ejecutar un continuo cuidado, que incluye acciones de desbroce y higiene de maleza, restitución de geo-textiles deteriorados, entre otras acciones.

CONSECUENCIA MULTIPLICADORA EN OBRAS ADENTRO Y AFUERA DEL PAÍS

La construcción de la defensa ribereña en el sector Camiara utilizando el método de geo-estructuras se consolidará como un referente en la ingeniería y construcción de sistemas de protección ribereña en nuestro país. Este enfoque, que optimiza costos y tiempos en regiones como Tacna, se replicará en otras áreas con condiciones similares. Además, en el tramo de la Carretera Locumba – Ilabaya se implementó en el sector del puente Mavila, donde se enfrentaba una problemática comparable a la de las riberas del río Locumba.

CONCLUSIONES

- Primera.** Las dos alternativas analizadas en esta tesis abordan el problema de la protección de los taludes de las riberas del sector Camiara, que enfrentaban problemas de erosión y socavación debido al caudal del río Locumba. Sin embargo, la elección del método a implementar en la zona se basó en la viabilidad económica y técnica, El sistema de defensa ribereña mediante geo-estructuras se presenta como la opción más idónea para el área en cuestión.
- Segunda.** El método de defensa ribereña basado en geo-estructuras proporciona una seguridad superior al talud contra posibles inestabilidades originadas por factores internos y externos, lo cual queda demostrado en los resultados del análisis de estabilidad realizado.
- Tercera.** De igual forma, atendiendo a los requerimientos del área, la solución basada en geo-estructuras asegura un ahorro económico en comparación con la opción de gaviones, la cual implicaría el traslado masivo de material granular para formar su estructura. Con esta evaluación, el método de geo-estructuras reduce el impacto ecológico en el entorno de la obra al disminuir el uso de volquetes para transportar dicho material, lo que a su vez minimiza las emisiones de dióxido de carbono (CO₂).
- Cuarta.** Por otro lado, la flexibilidad y rapidez en la ejecución de la solución con geo-estructuras permite un tiempo de realización mucho menor en comparación con la opción de gaviones, que requiere un trabajo completamente manual en la colocación y distribución de las piedras. Esto impacta directamente en el tiempo durante el cual las riberas del río Locumba están expuestas a las acciones erosivas, por lo que abordar el problema en el menor tiempo posible es crucial para garantizar la integridad de la carretera, especialmente la Locumba – Ilabaya, y asegurar la seguridad de los usuarios que transitan diariamente por la zona.

Quinta. Con la evaluación realizada en la actual tesis, se colabora con los estudios de un nuevo sistema de defensa ribereña con método de geo-estructuras, el cual puede ser calcado en distintas obras de ingeniería.

RECOMENDACIONES

- Primera.** Se recomienda a los futuros proyectistas que no siempre lo habitual será la preferible forma de resolver un dilema, es esencial ejecutar una indagación amplia de diversas opciones que acarreen a la misma meta, pero de una manera más optimizada y equitativa. Así, la solución ejecutada en la Obra Defensa Ribereña en el Sector Camiara es un método nuevo y renovador en nuestra nación, que contempla apropiadamente el problema expuesto en esta área sur de nuestra nación.
- Segunda.** El proceso de llenado de los geo-tubos podría mejorarse si se consideran otras alternativas de llenado. En esta tesis, se utilizó el método de llenado con poza, pero al revisar los sistemas empleados en otros países, se observa que muchos optan por el uso de tolvas, lo que requiere menos mano de obra y acelera el proceso de llenado. Aunque en el estudio se analizó y probó este sistema, se presentaron algunos inconvenientes relacionados con el tiempo y la coordinación, por lo que finalmente se decidió utilizar el sistema de poza.
- Tercera.** Se recomienda a los inversionistas que, ejecutar el estudio de distintas opciones para cada uno de las fases que requiere esta resolución, de dicha manera que se pudiera contribuir con competencias que pudieran ser usadas en posteriores obras y en distintos lugares. Indudablemente, la puesta en marcha del método de geo-estructuras en la defensa ribereña sector Camiara recalco un progreso muy significativo en la competencia de esta conclusión en nuestra nación peruana.

BIBLIOGRAFÍA

Bladé, E. (s. f.). *Modelización matemática en lecho fijo del flujo en ríos. Modelos 1D y 2D en régimen permanente y variable.*

GoogleMaps. (Julio,2013). *Ortofoto satelital tomada del río Locumba en el 2013.*

[https://www.google.com/maps/@-17.6829791,-](https://www.google.com/maps/@-17.6829791,-70.8406613,258m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MDgyNy4wKXMDSo)

[70.8406613,258m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MDgyNy4wKXMDSo](https://www.google.com/maps/@-17.6829791,-70.8406613,258m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MDgyNy4wKXMDSo)

[ASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/@-17.6829791,-70.8406613,258m/data=!3m1!1e3?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MDgyNy4wKXMDSo)

COFOPRI. (2020). *Zona de estudio.* <https://catastro.cofopri.gob.pe/geollaqta/>

Municipalidad Provincial Jorge Basadre. (2020). *Estudio de hidrología e hidráulica fluvial.*

Urteaga, C. (2019). *Análisis comparativo de soluciones de defensa ribereña para el puente Tahuamanu – Madre de Dios: Sistema de gaviones y geo estructuras.*

ANEXO

MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANÁLISIS COMPARATIVO DE SOLUCIONES DE DEFENSA RIBERENA PARA EL TRAMO CRITICO C.P CAMIARA, CARRETERA LOCUMBA – LABAVA.: SISTEMA DE GAVIONES Y GEO ESTRUCTURAS		DIMENSIONES		METODOLOGIA	
FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	VARIABLE INDEPENDIENTE:	TIPO DE INVESTIGACION
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL			
¿Cuál es la Optima propuesta de Defensa Riberena para el tramo crítico C.P Camiara, Carretera Locumba.	Elaborar una propuesta de solución en defensa ribereña con Geo - Estructuras para el tramo crítico C.P Camiara, Carretera Locumba.	La propuesta de Defensa Riberena con Geo - Estructuras, determina el control de Inundaciones, Socavacion y Erosion en el Tramo Critico del C.P Camiara, Distrito Locumba.	V1: Inundaciones	D1: Parametros Geotecnicos	Aplicada: Según Naupas, et. al. (2014) indica que la investigación de tipo aplicada esta orientada a entender y resolver objetivamente los problemas de distintos procesos.
				D2: Parametros Hidraulicos e hidrologicos	
				D3: Parametros Estabilidad de Taludes	
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	VARIABLE DEPENDIENTE:		DISEÑO DE INVESTIGACION
¿Cómo controlar las inundaciones mediante la incorporación de Defensa Riberena: Gaviones y Geo Estructuras en el Tramo Critico del C.P Camiara, Distrito Locumba.	Analizar la incorporación de los Dos Sistemas: Gaviones y Geo-Estructuras, Técnica y Económicamente para resolver los problemas de socavacion y erosion en la zona Critica del Rio Locumba en el C.P Camiara, Distrito Locumba.	La incorporación de Defensa Riberena por el Sistema de Geo - Estructuras permite controlar las inundaciones en la Zona Critica del Rio Locumba en el C.P Camiara, Distrito Locumba.	V2: Defensas Ribereñas	D1: Sistema de Defensa Riberena	Cuasi experimental. Son diseños que trabajan con grupos ya formados, no aleatorizados, por lo tanto, su validez interna es pequeña porque no hay control sobre las variables extrañas (Naupas et al. 2013. p. 338).
					POBLACION:
					El cauce del Sector C.P Camiara -Rio Valle Locumba
				D2: Estudios Basicos	MUESTRA:
¿Como Evitar las inundaciones a partir de las características geotecnicas, hidraulicas y de estabilidad de talud para los sistemas de Gaviones y Geo-Estructuras en el tramo crítico del C.P Camiara, Distrito Locumba?	Examinar las características geotecnicas, hidraulicas y Estabilidad de Taludes para los Dos sistemas de Defensa Riberena en el tramo crítico del C.P Camiara, Distrito Locumba.	Las características geotecnicas, hidraulicas y de estabilidad de taludes adecuados para Defensa Riberena por Geo - Estructuras evita las inundaciones en el Tramo Critico del C.P Camiara, Distrito Locumba.			1 km del Cauce del Rio Locumba, En la Altura del Puente Sagollo, Distrito Locumba
					TECNICA:
¿Cuál es la fase de Diseño y construcción de las Defensa Riberena por el Sistema de Gaviones y Sistema de Geo-Estructuras en el tramo crítico del C.P Camiara, Distrito Locumba?	Desenvolver la defensa ribereña con Geo-estructuras, fase de diseño y construcción.	El empleo del Sistema de Geo - Estructuras utilizando la correcta fase de diseño y construcción impide optimamente las Inundaciones en el Tramo crítico del C.P Camiara, Distrito Locumba.		D3: Diseño con Geo-Estructuras	Observacion Directa
					INSTRUMENTO RECOPIACION DE DATOS:
					Fichas de Estudio de Suelos, Estudio de Hidrologia y Estudios de Estabilidad de Taludes
					METODO DE ANALISIS DE DATOS:
					Cuantitativo, Utilizando distintos Softwares para la propuesta de diseño de Defensa ribereña