



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la
margen izquierda del Río Mayo en la localidad de
Shanao – Lamas – Región San Martín**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Jimmy Holdem Fasanando Sinti

ASESOR

Ing. Daniel Diaz Pérez

Tarapoto – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

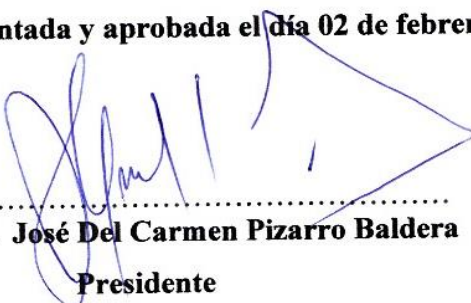


**Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la
margen izquierda del Río Mayo en la localidad de
Shanao – Lamas – Región San Martín**

AUTOR:

Jimmy Holdem Fasanando Sinti

Sustentada y aprobada el día 02 de febrero del 2018, por los siguientes jurados:


.....
Dr. Ing. José Del Carmen Pizarro Baldera
Presidente


.....
Ing. Néstor Raúl Sandoval Salazar
Secretario


.....
Ing. Santiago Chavez Cachay
Miembro


.....
Ing. Daniel Diaz Pérez
Asesor

Declaratoria de Autenticidad

Jimmy Holdem Fasanando Sinti, con DNI N° 42981338, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la margen izquierda del Río Mayo en la localidad de Shanao – Lamas – Región San Martín**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presentan en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, como el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de forma falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.

Tarapoto, 02 de febrero del 2018.



.....
Bach. Jimmy Holdem Fasanando Sinti

DNI N° 42981338

Declaración jurada

Jimmy Holdem Fasanando Sinti, con DNI N° 42981338, domicilio legal en el Jr. Ricardo Palma N°871 – Banda de Shicayo, a efecto de cumplir con las Disposiciones Vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **Declaro bajo juramento**, que todos los documentos, datos e información de la presente tesis y/o informe de Ingeniería, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 02 de febrero del 2018.



.....
Bach. Jimmy Holdem Fasanando Sinti

DNI N° 42981338

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	FASANANDO SINTI JIMMY HOLDEM		
Código de alumno :	033061	Teléfono:	921614139
Correo electrónico :	jifasinti@gmail.com	DNI:	42981338

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de:	INGENIERIA CIVIL

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título:	DIMENSIONAMIENTO HIDRAULICO Y ESTRUCTURAL DE LA DEFENSA RIBEREÑA EN LA MARGEN IZQUIERDA DEL RIO MAYO EN LA LOCALIDAD DE SHANAO - LAMAS - REGION SAN MARTIN
Año de publicación:	2018

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.



Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

13 / 06 / 2019



Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

Con mucha sencillez y humildad, dedico el presente trabajo, a:

*A mi **Padre** y **Madre**, pues ellos son el principal cimiento para la construcción de mi vida personal y profesional, sentó en **Mí** las bases de responsabilidad y deseo de superación, en ellos tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarlos cada día más.*

*A mi hijo **Theylor Jhosep**, con mucho amor y cariño, por ser la motivación más inmensa de hacer **TODO** posible.*

Jimmy Holdem

Agradecimiento

A MIS PADRES, ENRIQUE Y BETHY, mi eterno e infinito agradecimiento a sus esfuerzos, tenacidad, apoyo económico y el constante aliento por la difícil tarea del día a día a estar ahí en los momentos más importantes, en el crecimiento de mi persona como hijo.

A MIS HERMANAS ERIKA, KATHERINE; A MIS ABUELOS HUMBERTO Y ADILIA, mi sincera estima y respeto, por el invalorable apoyo en los años, meses y días de mis estudios.

A mi Asesor el ING. DANIEL DÍAZ PEREZ, por el apoyo desinteresado en el asesoramiento profesional, en el desarrollo de esta Tesis.

Índice

	Pág.
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Índice.....	viii
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiv
Introducción	1
CAPÍTULO I	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
1.1 Antecedentes, planteamiento, delimitación y formulación del problema a resolver	3
1.1.1 Antecedentes del problema	3
1.1.2 Planteamiento del Problema.....	3
1.1.3 Delimitación del problema.....	4
1.1.4 Formulación del problema	5
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo general	6
1.2.2 Objetivos específicos	6
1.3 Justificación del problema	6
1.3.1 Justificación teórica.	6
1.3.2 Justificación práctica.	7
1.3.3 Justificación social.....	7
1.4 Delimitación de la investigación	7
1.5 Marco teórico	7
1.5.1 Antecedentes de la investigación	7
1.5.2 Marco teórico	9
1.5.2.1 El concepto y partes de una defensa ribereña	9
1.5.2.1.1 Defensas Ribereñas.....	9
1.5.2.2 Estudios Básicos.....	18
1.5.2.3 Base Legal.....	34
1.5.2.4 Marco conceptual	36

2.6 Hipótesis	37
CAPÍTULO II	38
MATERIALES Y METODOS	38
2.1 Materiales.....	38
2.1.1 Recursos humanos	38
2.1.2 Recursos materiales	38
2.1.3 Recursos económicos	38
2.2 Metodología	39
2.2.1 Universo, muestra y población.....	39
2.2.1.1 Universo	39
2.2.1.2 Muestra	39
2.2.1.3 Población.....	39
2.2.2 Sistema de variables	39
2.2.3 Diseño del método cobertura del estudio.....	40
2.2.4 Diseño Experimental de la Investigación	40
2.2.5 Hidrografía.....	40
2.2.5.1 Características principales de la cuenca de interés.....	40
2.2.5.2 Topografía.....	42
2.2.5.3 Cubierta Vegetal.....	43
2.2.5.4 Área de la Cuenca.....	45
2.2.5.5 Longitud del Cauce Principal.....	45
2.2.5.6 Pendiente Media del cauce principal (Sm).	45
2.2.5.7 Densidad de drenaje (Dd).	46
2.2.5.8 Ancho medio de la cuenca (Am)	47
2.2.5.9 Factor de forma (Ff)	47
2.2.5.10 Índice de Compacidad.	48
2.2.5.11 Tiempo de concentración.....	48
2.2.6 Climatología de la zona del proyecto.....	49
2.2.6.1 Aspectos ecológicos de la cuenca	50
2.2.6.2 Precipitación.....	51
2.2.7 Temperatura.....	52
2.2.8 Humedad Relativa.....	52
2.2.9 La Evaporación.....	52

3.2.10 Velocidad del Viento.....	53
CAPÍTULO III.....	54
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
3.1 Estudio hidrológico.....	54
3.1.1 Estudio de máximas avenidas aplicando métodos probabilísticos.....	54
3.1.1.1 Objetivo:	54
3.1.2 Conceptos clave.....	54
3.1.3 Información hidrométrica disponible.....	55
3.1.4 Estudio de máximas avenidas en el río Cumbaza aplicando métodos probabilísticos: Gumbel tipo I y Log Pearson tipo III	56
3.1.4.1 Aplicación del Método de Gumbel Tipo I.....	56
3.1.4.2 Calculo de caudales máximos para diferentes períodos de retorno aplicando el Método de Gumbel Tipo I.....	60
3.1.5 Aplicación del método de Log Pearson Tipo III.....	61
3.1.5.1 Calculo de caudales máximos para diferentes períodos de retorno aplicando el método de Log Pearson tipo III.....	65
3.1.5.2 Análisis comparativo de valores de descargas máximas obtenidas mediante la aplicación de los métodos probabilísticos de Gumbell tipo I y Log Pearson tipo III.....	70
3.1.6 Cálculo de caudal de diseño para las obras de defensa ribereña.....	72
3.1.6.1 Cálculo del Período de Retorno (Tr).....	72
3.1.7 Caudal de diseño para las obras de Defensa Ribereña.....	73
3.2 Diseño hidraulico.....	74
3.2.1 Ubicación de las obras de defensa ribereña.....	74
3.2.2 Comportamiento hidráulico del río, en el tramo de interés.....	74
3.2.3 Pendiente del cauce en el tramo de interés.....	74
3.2.4 Rugosidad del cauce en el tramo de interés.....	75
3.2.5 Ancho de la sección estable del río Mayo en el tramo de interés.....	76
3.2.6 Cálculo del ancho estable en el tramo de interés, aplicando el método de Blench – Altunin.....	77
3.2.6.1 Cálculo del Factor de orilla (F_s)	77
3.2.6.2 Cálculo del Factor de Fondo (F_b)	77
3.2.6.3 Profundidad de socavación general, local y total.....	80

3.3 Diseño estructural.....	86
3.3.1 Planteamiento hidráulico.	86
3.4 Discusión de los resultados.....	94
3.5 Contrastación de hipótesis	95
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
ANEXOS.....	133

Índice de tablas

Tabla 1: Tabla granulométrica.....	23
Tabla 2: Valores del coeficiente de contracción del cauce μ	33
Tabla 3: Valores de “x” y “z”	34
Tabla 4: Valores de β	34
Tabla 5: Valores de ψ	34
Tabla 6: Coeficiente de Asimetría	68

Índice de figuras

Figura 1: Departamento de San Martín.	5
Figura 2: Abertura Hexagonal del Alambre.....	10
Figura 3: Gavión Tipo Cajón.....	11
Figura 4: Gavión Tipo Colchón.....	12
Figura 5: Muro de pantalla de concreto armado.....	12
Figura 6: Perfil Tipo U	13
Figura 7: Curva granulométrica.....	24
Figura 8: El ciclo hidrológico a nivel global.....	26
Figura 9: El ciclo hidrológico a nivel de cuenca.....	27
Figura 10: Sección Transversal del cauce.....	32
Figura 11: Mapa Político del Perú.....	42
Figura 12: Departamento de San Martín.....	42
Figura 13: Provincia de Lamas.....	43
Figura 14: Plano de Curvas Topográficas de la Cuenca	45
Figura 15: Curva granulométrica, talud margen izquierda río Mayo.....	78
Figura 16: Aplicación software Hcanales.....	82
Figura 17: Grafico para la evaluación de espigon.....	87

Índice de cuadros

Cuadro 1: Sistema de Variables.....	39
Cuadro 2: Precipitación Total, Estación CO Shanao, Ubicada Dentro de la cuenca del Rio Mayo.....	51
Cuadro 3: Caudales máximos en el rio Mayo para diferentes periodos de retorno.....	55
Cuadro 4: Calculo del caudal de diseño.....	73
Cuadro 5: Cálculo del valor de la rugosidad según método de Cowan.....	75
Cuadro 6: Cálculo del ancho estable.....	80
Cuadro 7: Cálculo de socavación total.....	85

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar una alternativa técnica de ingeniería, para dar seguridad y protección frente a inundaciones en la localidad de Shanao ocasionadas por las aguas del río del mismo nombre en época de máximas avenidas y que son ocasionadas por frecuentes e intensas precipitaciones.

La localidad de Shanao está ubicado en la margen izquierda del río, casi todos los años, es inundado por las aguas del río Mayo, afectando las viviendas y calles de dicha localidad, originando grandes pérdidas económicas a la población afectada, además de ocasionar problemas de salud debido a la acumulación de aguas en las partes bajas de la localidad dando origen a la aparición de mosquitos y zancudos.

Para la solución del problema de inundación, se ha planteado proponer y desarrollar una alternativa técnica de diseño de estructura hidráulica que permita proteger, de la erosión e inundaciones causadas por las aguas del río Mayo a la zona urbana ribereña de la localidad de Shanao en época de avenidas máximas.

Para realizar esta propuesta o alternativa de solución, ha sido necesario realizar los estudios básicos de Ingeniería como son: Estudio de suelos, Estudio Hidrológico e Hidráulico y Estudio Topográfico, así como también, la aplicación de metodologías existentes para estos diseños aplicando los conocimientos adquiridos como estudiante en la universidad.

Palabras clave: Dimensionamiento hidráulico, defensa ribereña, Río Mayo, [Shanao – Lamas], Región San Martín.

Abstract

The purpose of this research was to develop a technical engineering alternative, to provide security and protection against floods in the town of Shanao caused by the waters of the river of the same name at the time of maximum avenues and that are caused by frequent and intense rainfall.

The town of Shanao is located on the left bank of the river, almost every year, it is flooded by the waters of the Mayo River, affecting the houses and streets of this town, causing great economic losses to the affected population, besides causing problems of health due to the accumulation of water in the lower parts of the town, giving rise to the appearance of mosquitoes and mosquitoes.

For the solution of the flood problem, it has been proposed to propose and develop a technical alternative design hydraulic structure that allows to protect, from erosion and flooding caused by the waters of the Mayo River to the urban riparian area of the town of Shanao in time of maximum avenues.

To carry out this proposal or solution alternative, it has been necessary to carry out the basic studies of Engineering such as: Soil study, Hydrological and Hydraulic Study and Topographic Study, as well as the application of existing methodologies for these designs applying the acquired knowledge as student at the university.

Keywords: Hydraulic sizing, river defense, Río Mayo, [Shanao - Lamas], San Martín Region.



Introducción

Durante los últimos años, en la región San Martín, se vienen presentando cambios hidroclimáticos que vienen afectando el comportamiento hidrológico e hidráulico de los diferentes cursos de agua que conforman la amplia red hidrográfica de la región. Estos cambios se traducen en la ocurrencia de eventos extremos como son, las sequías y la ocurrencia de grandes avenidas de agua. Ambos efectos, tienen gran impacto negativo en la economía regional. En lo que respecta a las crecientes de los ríos, generalmente originan el desbordamiento de las aguas ocasionando la inundación de amplias áreas ribereñas, perjudicando no solo áreas agrícolas, sino también áreas urbanas.

El río Mayo en su parte alta presenta un curso generalmente meándrico, presenta meandros pequeños y sectores alargados que siguen el contorno de las variadas formas del paisaje de planicie, se presentan pequeñas islas y áreas de inundación con valles ligeramente amplios. Es preciso resaltar que el río Mayo a lo largo de su recorrido dentro de la región San Martín, ocasiona de manera constante la inundación de pueblos o localidades ribereñas como Tabalosos, San Antonio, Solo y Shanao.

Esta última localidad asentada en la margen izquierda del río Mayo, viene siendo afectada de manera recurrente por las inundaciones que alcanzan gran parte de la zona urbana, afectando la economía y salud de la población, siendo necesario revertir esta situación mediante el diseño y construcción de obras de protección frente a inundaciones.

La zona estudiada comprende básicamente un tramo de 254 Km. del río Mayo, medido dentro del área en estudio. En el Alto Mayo existen en total 30 subcuencas. Los afluentes más importantes del río Mayo en la margen derecha son los ríos Serranoyacu, Amangay, Aguas Claras, Mirador, Naranjos, Túmbaro, Naranjillo, Soritor, Yuracyacu y río Negro; mientras que, por la margen izquierda, los ríos Huasta, Cachiyacu, Tioyacu, Avisado y Huascayacu.

Esto nos permite la ejecución de estructuras y obras que permiten proteger el equipamiento público, en especial la infraestructura vial (carreteras, puentes, vías férreas, etc.), la infraestructura hidráulica (tomas, bocatomas, centrales hidroeléctricas, etc.), la infraestructura habitacional de los centros poblados, así como, áreas de producción agrícola y ganadera.

Dichas estructuras de protección, se clasifican en dos tipos, por su funcionalidad (control de erosión e inundaciones) y su emplazamiento (transversales y longitudinales), que detallaremos en el desarrollo de la presente investigación.

El diseño hidráulico, comprende la geometría de la estructura, así como el pre dimensionamiento de cada uno de sus componentes, se ha tenido en consideración los resultados de los Estudios Básicos de Ingeniería realizados para tal fin, así como la aplicación de experiencias obtenidas en obras similares construidas en la región san Martín. Se ha realizado el cálculo hidráulico y estructural para la condición más crítica y para el caudal de diseño seleccionado y que transitará por el cauce del río Mayo.

CAPITULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Antecedentes, planteamiento, delimitación y formulación del problema a resolver

1.1.1. Antecedentes del problema

En los últimos años en el mundo se ha sentido el cambio climático afectando y cambiando toda la morfología de la tierra. El Perú no ha sido ajeno a estos cambios, es por eso que el ser humano se ha visto en la necesidad de proteger las zonas de interés donde desarrolla su economía.

Dichos proyectos se incrementaron con la llegada del **fenómeno del niño**, este fenómeno conocido también como Oscilación del Pacífico Sur es un suceso que ocurre en ciertos años con manifestaciones patentes en el mar y la costa del Perú, y, como se ha demostrado recientemente, tiene conexiones con sucesos en otras partes del planeta. Consiste en una serie de alteraciones oceanográficas y climáticas con consecuencias importantes.

La localidad de Shanao registra en su historia numerosos desastres que le han venido afectando constantemente, produciendo pérdidas económicas, materiales y vidas humanas. Precisamente los que más se recuerdan según los registros históricos, se cuenta que en los años 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2007 y 2008 en el río Mayo se presentaron grandes descargas de agua que afectaron de manera severa la localidad de Shanao.

1.1.2 Planteamiento del Problema

La variedad de características topográficas, suelo, climatológicas, ecológicas, etc.; que engloba la Provincia de Lamas, hacen de su territorio en escenario donde ocurren frecuentemente fenómenos naturales que se constituyen en amenazas para las poblaciones y todas sus infraestructuras económicas productivas, sociales. La dinámica del espacio está caracterizada por la ocurrencia de fenómenos geodinámicas, como sismos, huaycos, deslizamientos, desbordes e inundaciones, entre otras; cada vez más frecuentes debido a la intervención antrópica mediante el manejo inapropiado de los recursos naturales de la región.

En la región San Martín en la provincia de Lamas en particular, se ha logrado muy poco control efectivo sobre los procesos locales de desarrollo que involucran factores como la deforestación de laderas, la formación de asentamientos precarios y prácticas deficientes de construcción de viviendas y de relación con las amenazas existentes.

En la localidad de Shanao, no cuenta con un diagnóstico y un inventario de desastres que permita organizar el proceso de intervención en la prevención, mitigación y manejo de desastres.

1.1.3 Delimitación del problema.

El área en la cual se ha desarrollado el presente proyecto de tesis, está ubicada políticamente en:

Sector	:	Shanao
Distrito	:	Shanao
Provincia	:	Lamas
Región	:	San Martín

La zona y/o área a proteger se encuentra ubicada en la margen izquierda del río Mayo, en una terraza aluvial de baja altura cuya morfología la condiciona y expone a constantes inundaciones que generalmente presentan recurrencia anual.

La ubicación geográfica, es aproximadamente entre las latitudes:

Coordenadas: Latitud Sur	:	06° 24' 35''
Longitud Oeste	:	76° 35, 40''
Altitud	:	275.00 m.s.n.m.

Región San Martín

Ubicación Regional

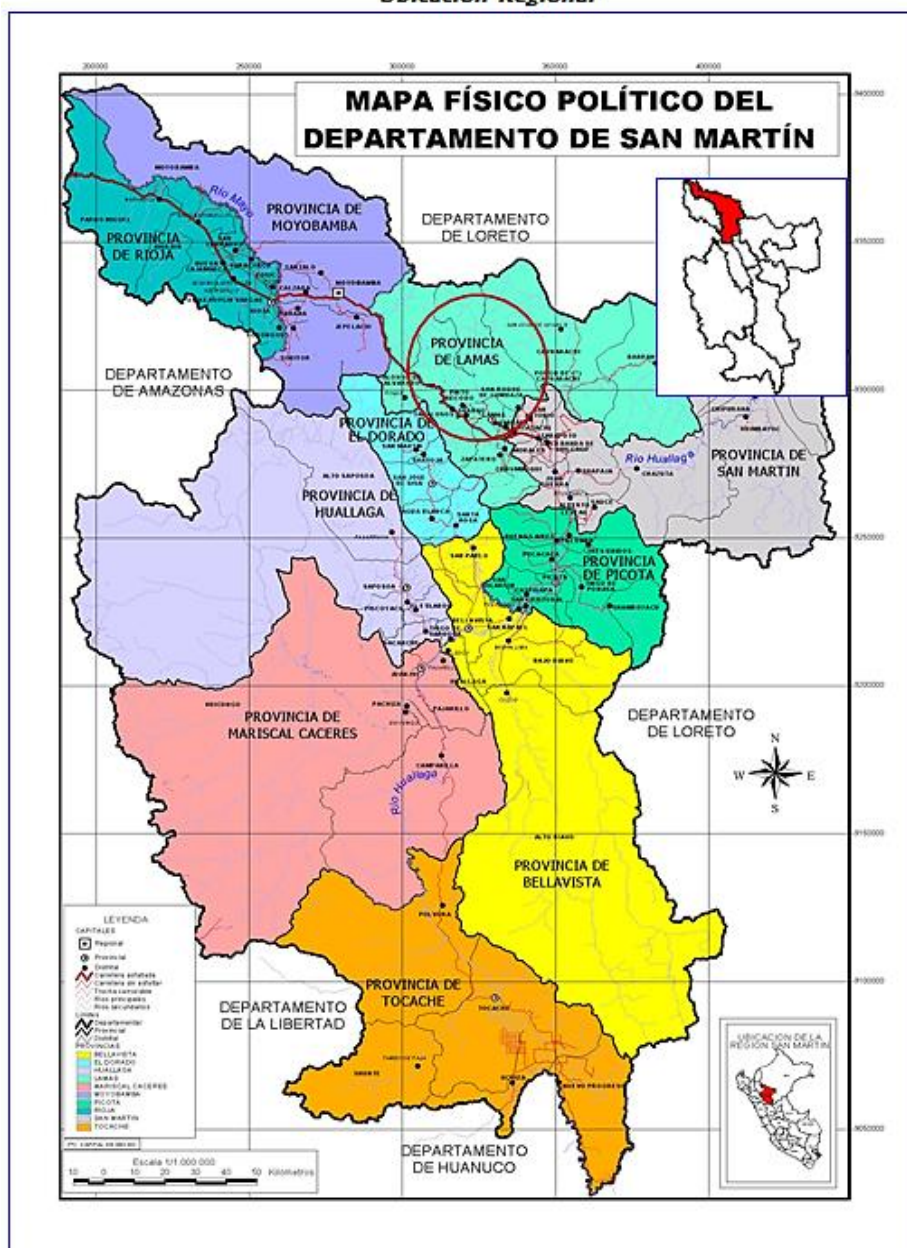


Figura 1: Departamento de San Martín

1.1.4 Formulación del problema

Teniendo en consideración los antecedentes y el planteamiento del problema descrito en los ítems precedentes, se formula lo siguiente:

¿Cómo se puede dar solución al problema de erosión e inundaciones ocasionadas por las aguas del río Mayo y que casi anualmente afectan a la zona urbana ribereña de la localidad de Shanao?

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Proponer el diseño hidráulico y estructural que permita proteger de la erosión e inundaciones causadas por las aguas del río Mayo a la zona urbana ribereña de la localidad de Shanao en época de avenidas máximas y su posterior empleo en la elaboración del perfil y expediente técnico del proyecto por parte de las autoridades locales.

1.2.2. Objetivos específicos

Desarrollar los estudios básicos de ingeniería necesarios para elaborar la propuesta técnica: Topografía, Hidrología e Hidráulica y Mecánica de Suelos en el lugar de estudio.

Determinar los parámetros necesarios que intervendrán en el diseño de las obras para la protección contra inundaciones.

Definir los componentes estructurales de la propuesta técnica de solución.

Elaborar el Planteamiento Hidráulico del proyecto.

Elaborar el diseño hidráulico y estructural de los componentes del proyecto de defensa contra inundaciones de la localidad de Shanao.

1.3 Justificación del problema

La justificación se presenta teniendo en consideración tres aspectos fundamentales, como son: teórico, práctico y social.

1.3.1 Justificación teórica.

El desarrollo de los estudios básicos de ingeniería, para el dimensionamiento de los componentes estructurales de las obras de protección frente a inundaciones se sustentará en la aplicación de las teorías de Topografía en la ingeniería, la Mecánica de Suelos, de la Hidráulica Fluvial y de la Hidrología superficial.

1.3.2 Justificación práctica

Se solucionará la carencia de los estudios básicos ingeniería necesaria para la definición del planteamiento Hidráulico del proyecto, el cual una vez realizado, facilitará el dimensionamiento hidráulico y estructural, el cual permitirá a las autoridades locales del distrito de Shanao la elaboración del perfil del proyecto e iniciar las gestiones ante las entidades del estado para la elaboración del expediente técnico y posteriormente conseguir el financiamiento, para la futura ejecución de obra.

1.3.3 Justificación social

La investigación tiene relevancia social, toda vez que los resultados obtenidos de ella serán un aporte a la Municipalidad Distrital de Shanao ya que facilitarán la elaboración del Expediente Técnico del proyecto de Defensa Ribereña, cuya posterior ejecución permitirá solucionar el problema de inundación y erosión del área urbana de la localidad, lo que contribuirá a mejorar la calidad de vida de la población.

1.4 Delimitación de la investigación

La presente investigación se desarrollará en el campo del diseño de obras de protección frente a inundaciones y erosión el cual tiene como objetivo evitar el ingreso de agua del río Mayo a la zona urbana de la localidad de Shanao en época de máximas avenidas. Es por eso que tomamos tres puntos importantes

- Identificación de la entrada de agua a la zona urbana.
- Cálculo de caudales máximos para diferentes períodos de retorno.
- Cálculo del tirante de agua para la avenida de diseño.
- Determinación de los niveles de máximas avenidas
- Diseño de los diferentes componentes estructurales de las obras de protección frente a la erosión e inundaciones.

1.5 Marco teórico

1.5.1. Antecedentes de la investigación

- **CORAL FALCON Henry**, en su Tesis para título profesional de Ingeniero Civil “Diseño De La Defensa Ribereña De Shanao”. Año 1999

La fijación de la estrategia de solución, nos conlleva a la elección de utilizar, estructuras de gaviones no solo por presentar buenas características estructurales, sino por la economía, pues no requieren de personal calificado, ni de tecnología especial para su armado y colocación.

DEL AGUILA VELA Harold Tobías en su Informe de Ingeniería para optar al título profesional de Ingeniero Civil “Diseño Hidráulico de la Defensa Ribereña Río Huallaga – Bellavista, Tramo I – Sector Intiyacu”. Perú. Año 2009 llega a las siguientes conclusiones:

La pendiente del cauce del río Huallaga en el tramo de interés, donde se plantea la construcción de las obras de defensa ribereña es de $S=0.0045$.

Asimismo da a conocer que el caudal de diseño del río Huallaga que circula en épocas de máxima avenida por la zona problema es de $Q_{\max}= 8,350 \text{ m}^3/\text{s}$, el mismo que ha sido calculado empleando el método hidráulico.

GONZALES GARCÍA Carlos Samuel, en su Tesis para título profesional de Ingeniero Civil “Diseño Hidráulico y Estructural de obras de protección frente a inundaciones del río Cumbaza en el centro poblado de Santa Rosa de Cumbaza, distrito de Tarapoto, provincia de San Martín – Región San Martín”.

El riesgo admisible se debe determinar en función a criterios de orden económico, social, técnicos y factores ambientales, como por ejemplo tener en cuenta el proceso de ocupación y explotación del territorio que conforma el área de la cuenca colectora ubicada aguas arriba del punto de localización de la defensa ribereña, debido a que estas acciones, modifican el comportamiento hidrológico de la cuenca generando en época de intensas precipitaciones, eventos extremos de escurrimiento de agua y el transporte de sedimentos acompañados del tránsito de palizadas que muchas veces pueden acortar la vida útil de la estructura.

TORRES ACOSTA Mauro en su Informe de Ingeniería para optar al título profesional de Ingeniero Civil “Diseño hidráulico de espigones en el río Huallaga, Sector Verbena – Juanjuí”, Perú. Año 2009 llega a las siguientes conclusiones:

El planteamiento hidráulico de las obras de defensa ribereña (Espigones en el río Huallaga) en el sector la Verbena – La Victoria, Juanjuí, considera la construcción de

12 espigones deflectores de flujo de corta longitud, conformados por núcleo de roca pesado con diámetro medio igual a 1.00m.

Asimismo se ha considerado revestir el cuerpo de los espigones con gaviones tipo colchón relleno con piedras de río.

Los espigones proyectados tendrán una longitud de anclaje de 10.00 m. y una longitud efectiva o de trabajo variable que va de 35 m. a 40.00 m., según su ubicación en la ribera del río y área de influencia de trabajo.

1.5.2 Marco teórico

El marco teórico del presente trabajo de investigación, está conformado por el concepto mismo de la defensa ribereña, las partes que lo conforman, así como por las diferentes teorías que definen los estudios básicos de ingeniería.

1.5.2.1 El concepto y partes de una defensa ribereña

1.5.2.1.1 Defensas Ribereñas

Son estructuras construidas para proteger las áreas aledañas a los ríos, contra los procesos de erosión de sus márgenes producto de la excesiva velocidad del agua, que tiende a arrastrar el material ribereño y la socavación que ejerce el río, debido al régimen de precipitaciones abundantes sobre todo en época de invierno, ya que son causantes de la desestabilización del talud inferior y de la plataforma de la carretera. Estas obras se colocan en puntos localizados, especialmente para proteger algunas poblaciones y, singularmente, las vías de comunicación, estas pueden ser efectivas para el área particular que se va a defender, pero cambian el régimen natural del flujo y tienen efectos sobre áreas aledañas, los cuales deben ser analizados antes de construir las obras.

Para llevar a cabo un proyecto de defensas fluviales es fundamental contar con una serie de información preliminar o antecedentes que permitan diagnosticar el problema que se quiere solucionar, como: hidrológicos, topográficos y geomorfológicos. Así también se requerirá antecedentes sobre inundaciones anteriores, daños provocados, zonas afectadas, etc.

Clasificación de los tipos de defensa

Entre los tipos de obras que se han seleccionado, se tiene los de tipo flexible y los de tipo rígido.

Obras de tipo flexible

Cuando los suelos ofrecen importantes deformaciones:

✓ Muros de gaviones

Son paralelepípedos rectangulares contruidos a base de un tejido de alambre de acero, el cual lleva tratamientos especiales de protección como la galvanización y la plastificación.

Se colocan a pie de obra desarmados y luego de piedra de canto rodado o piedra chancada con determinado tamaño y peso específico, este material permite emplear sistemas constructivos sencillos, flexibles, versátiles, económicos y que puedan integrarse extremadamente valida desde el punto de vista técnico para construir muros de contención en cualquier ambiente, clima y estación. Tales estructuras son eficientes, no necesitando mano de obra especializada o medio mecánicos particulares, a menudo las piedras para el relleno se encuentran en las cercanías. Tiene la ventaja de tolerar grandes deformaciones sin perder resistencia.

Esta disposición forma una malla de abertura hexagonal unida por triple torsión para formar un espacio rellenable de manera que cualquier rotura puntual del alambre no despeja la malla. El enrejado hace que las piedras se deslicen entre la misma y el terreno, impidiendo una caída brusca, o simplemente que quede sujetas sin deslizarse.

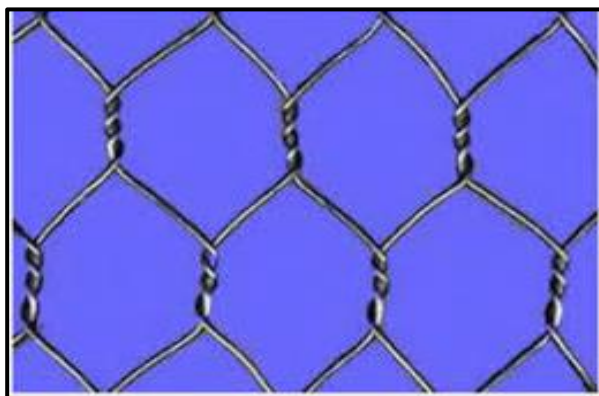


Figura 2. Abertura Hexagonal del Alambre

• Principales características de las estructuras de Gavión:

- Flexibilidad.
- Permeabilidad.
- Versatilidad.
- Economía.
- Estética.

Los Muros de Gaviones tienen diferentes usos, entre ellos tenemos:

□ □

Muros de contención: Los muros de Gaviones están diseñados para mantener una diferencia en los niveles de suelo en sus dos lados constituyendo un grupo importante de elementos de soporte y protección cuando se localiza en lechos de ríos.

□ □ **Conservación de suelos:** La erosión hídrica acelerada es considerada sumamente perjudicial para los suelos, pues debido a este fenómeno, grandes superficies de suelos fértiles se pierden; ya que el material sólido que se desprende en las partes media y alta de la cuenca provoca el azolvamiento de la infraestructura hidráulica, estructura eléctrica, campos agrícolas y de comunicaciones que existe en la parte baja.

□ □ **Control de ríos:** En ríos, el gavión acelera el estado de equilibrio del cauce. Evitar erosiones, transporte de materiales y derrumbamientos de márgenes, además el gavión controla crecientes protegiendo valles y poblaciones contra inundaciones.

□ □ **Apoyo y protección de puentes:** En los estribos de puentes, se pueden utilizar gaviones tipo caja, tipo saco y tipo colchón combinados o individualmente, logrando gran resistencia a las cargas previstas.

✓ Tipos de gaviones

➤ Gavión tipo caja

Son paralelepípedos regulares de dimensiones variadas pero con altura de 1.0 m a 0.50 m; conformados por una malla metálica tejida a doble torsión para ser rellenos en obra con piedra de dureza y peso apropiado.

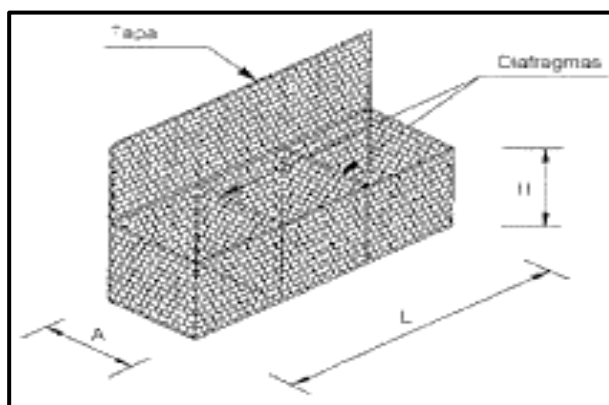


Figura 3. Gavión Tipo Cajón

➤ Gavión tipo colchón

Son aquellos cuya altura fluctúa entre 0.17 m – 0.30 m y de áreas variables. Son construidos en forma aplanada para ser utilizados como revestimiento anti erosivo, antisocavante para uso hidráulico y como base – zócalo (Mejorador de capacidad portante) en la conformación de muros y taludes. Debido a que los colchones están generalmente ubicados en contacto con el agua, con sólidos que arrastran los ríos y sedimentos en general, estos deben tener características tales que les permitan resistir las exigencias físicas y mecánicas como son el impacto, la tracción y la abrasión.

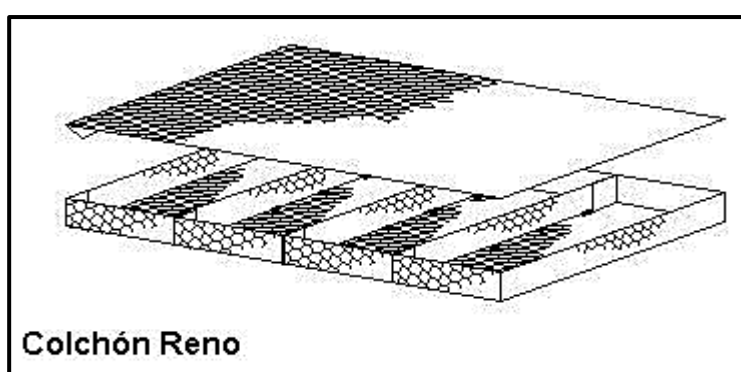


Figura 4. Gavión Tipo Colchón

Obras de tipo rígido

✓ Pantalla de concreto armado

Son un tipo de estructuras de contención, utilizadas habitualmente en construcciones de ingeniería civil.

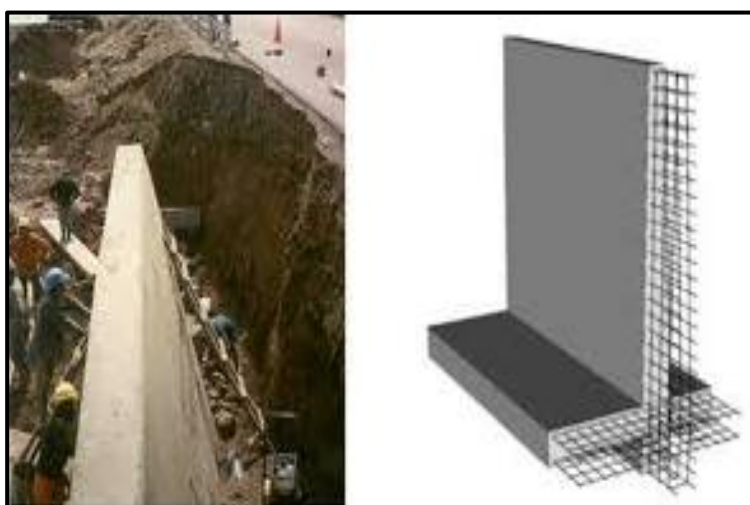


Figura 5. Muros de Pantalla de Concreto Armado

✓ **Tipos de pantallas**

➤ **Tablestacas o pantallas de elementos prefabricados metálicos**

Las tablestacas, tablestacas o Pantallas de elementos prefabricados (sheet pile en inglés) son un tipo de estructuras formadas por elementos prefabricados. Estos elementos prefabricados suelen ser de acero, Ver fig. 6, aunque también las hay de hormigón. No se deben confundir las tablestacas de hormigón, con las pantallas de paneles prefabricados de hormigón, que suelen ser de dimensiones mayores.

Los elementos prefabricados que componen las tablestacas se hincan en el terreno mediante vibración. Aunque es muy raro, en ocasiones también se introducen en el terreno por golpeo.

Tienen juntas entre sí, con dos misiones:

- Impermeabilizar el contorno, y evitar que se produzcan filtraciones.
- Guiar las tablestacas contiguas.

Dado que los elementos se colocan mediante hinca, han de tener unas dimensiones (entre ellas el espesor) lo suficientemente pequeñas para que se facilite la hinca. Pero también ha de tener una resistencia mínima. Es por esto lo que, salvo raras excepciones, se emplea el acero.

Los pequeños espesores pueden dar lugar a que los paneles o planchas metálicas que conforman las tablestacas pandeen o flecten. Para evitarlo, se alabea la sección, dotándoles de una mayor inercia. Tiene secciones típicas que son en Z o en U.



Figura 6. Perfil Tipo U

➤ **Pantallas de paneles prefabricados de hormigón**

Están constituidas de elementos de hormigón prefabricados, con forma de paneles generalmente rectangulares.

Para su colocación, se ha de crear una zanja con unas dimensiones ligeramente superiores a las del panel prefabricado.

Posteriormente se introduce en la zanja el panel, y se vierte bentonita o cemento alrededor.

➤ **Muros pantalla o pantallas de hormigón “in situ”**

Este tipo de estructuras se realiza en obra. Es decir, en lugar de recurrir a paneles prefabricados, los elementos estructurales de este tipo de pantalla se ejecutan “in situ”.

Las dimensiones de los paneles se conforman los muros pantalla son entre 4 y 5 metros de longitud, y 0.4 y 1.5 metros de espesor. La longitud de la pantalla depende del dimensionamiento de la misma.

Cada elemento que conforma un muro pantalla trabaja independientemente, y entre ellos presentan juntas que han de ser estancas (evitar el paso de agua a través de las mismas).

➤ **Pantallas de pilotes**

Son un tipo de pantalla, o estructura de contención flexible, empleada habitualmente en ingeniería civil. Se emplean si la excavación de la zanja es difícil. Es decir:

- En terrenos duros: se emplean máquinas piloterías de terrenos en roca.
- En zonas medianeras en las que hacerlo de otra forma pueda suponer riesgos, o porque la anchura de la zanja es muy pequeña.

Tipos de pantallas de pilotes

Los tipos de pantalla de pilotes, según la disposición de los mismos, son:

- Pantallas de **pilotes separados**. Se han de emplear en terrenos cohesivos. El terreno se mantiene trabajando por efecto arco.
- Pantallas de **pilotes tangentes**. Se emplean si no hay problemas por el nivel freático.
- Pantallas de **pilotes secantes**. Se emplean cuando las filtraciones entre pilotes (tangentes o separados), pueden poner en riesgo la pantalla o los terrenos que sustenta.

Dique

Es un terraplén natural o artificial, por lo general de tierra, paralelo al curso de un río.

Entre los tipos de diques se pueden mencionar:

✓ **Diques artificiales**

Son utilizados para prevenir la inundación de los campos aledaños a los ríos; sin embargo también se utilizan para encajonar el flujo de los ríos a fin de darle un flujo más rápido. Son conocidos como diques de contención. También son empleados para proteger determinadas áreas contra el embate de las olas. Estos diques tradicionalmente son construidos, amontonando tierra a la vera del río, amplio en la base y afilados en la cumbre, donde se suelen poner bolsas de arena. Modernamente los diques de defensas ribereñas son construidos siguiendo los criterios técnicos modernos para estructuras de tierra, y en muchos casos su estructura es compleja, comprendiendo una parte de soporte, un núcleo impermeable y drenes de pie para minimizar el riesgo de rupturas.

Existen diferentes tipologías de diques, también llamados espigones:

- En talud
- Vertical
- Flotantes, etc.

✓ **Diques en talud**

Tradicionalmente se han construido mediante un núcleo de todo uno, encima del cual se superponen capas de elementos de tamaño creciente separados por capas de filtro. Actualmente, los elementos mayores (que conforman los mantos exteriores) son piezas de hormigón en masa de diferentes formas (cubos, dolos, tetrápodos, etc.), que sustituyen a la escollera. Los diques en talud resisten el oleaje provocando la rotura del mismo.

✓ **Diques verticales**

Están formados por cajones de hormigón armado que se trasladan flotando al lugar de fondeo y se hunden, para después rellenarlos con áridos, de forma que constituyan una estructura rígida. Las ventajas de este tipo de diques son que para una misma profundidad, requieren mucho menos material que los diques rompeolas, y que se pueden prefabricar. Sin embargo, presentan algunas

desventajas como son que concentran su peso en una superficie menor, y por lo tanto requieren mucho menos material que los diques rompeolas, y que se pueden prefabricar. Sin embargo, presentan algunas desventajas como son que concentran su peso en una superficie menor, y por lo tanto requieren un suelo más resistente para su colocación; y que reflejan gran parte del oleaje que incide sobre ellos, aumentando los esfuerzos sobre la estructura y dificultando la navegación en las inmediaciones del dique vertical.

✓ **Diques naturales**

Son originados del depósito de material arrastrado por el río en el borde del mismo, durante las inundaciones. Esto va causando, progresivamente, la elevación de la ribera.

Muros de concreto armado

Son masas relativamente grandes de concreto, los cuales trabajan como estructura rígida resistiendo los movimientos debido a la presión de la tierra sobre el muro. Actúan como estructuras de peso o gravedad y aunque su campo de aplicación, lógicamente, de los costos relativos de excavación, hormigón, acero, encofrados y relleno, pueden en primera aproximación pensarse que constituyen la solución más económica hasta alturas de 10 ó 12 metros. Deben tener un sistema de drenaje para eliminar la posibilidad de presiones de agua y se le deben construir juntas de contracción o expansión a distancias en ningún caso superior a 20 m, sí los materiales presentan problemas de dilatación por temperatura, las juntas se deberán colocar cada 8 m.

Tiene aplicaciones en:

- Como estructura de contención, retención de tierras y soportes a excavaciones en laderas.
- En la corrección de deslizamientos rotacionales de poca altura en suelos como arcilla y coluviales.
- Como estructura hídrica en aliviaderos y en la delimitación de canales.

Muros de mampostería

Muro compuesto de combinaciones de mampuestos (piedras o tabiques), colocados unos sobre otros. Se construyen mediante la colocación manual de sus

elementos separados con juntas, para permitir la libre dilatación de cada una de las piezas y evitar los agrietamientos, o reforzarlas debidamente con varillas de acero. En algunos casos es conveniente construir el muro sin utilizar mortero, a los muros así resultantes se les denomina muros secos.

✓ **Tipos de muros de mampostería**

➤ **Muros de adobe sin cocer o bloque de concreto sin ranura**

Se ejecutarán con bloque de concreto, ya sea hueco o macizo según se indique, fabricado a máquina y de primera calidad, de las dimensiones mostradas en los planos. Para su pega se utiliza mortero 1:5 para muros interiores y 1:4 para exteriores o muros de canto. El mortero se preparará inmediatamente antes de su uso, dosificando el agua para que la mezcla sea homogénea y manejable. El mortero deberá cubrir tanto las uniones horizontales como verticales y será de espesor uniforme de 1.5 cm. aproximadamente. El mortero sobrante deberá retirarse con el palustre en el momento de terminar la colocación de cada ladrillo, a fin de mantener una superficie limpia y resanada en todo momento.

➤ **Muros de ladrillo o bloque de concreto a la vista**

Se utilizará ladrillo de primera calidad con dimensiones uniformes, aristas bien terminadas y superficies tersas. Se observará especial cuidado con los muros de fachada que lleven ladrillos de “tizón” y “soga” para prever la colocación de los adobes entrantes y salientes de conformidad con las dimensiones y localización indicados en los planos, conservando la uniformidad en colore y estrías del conjunto general del muro.

➤ **Muro de piedras**

Son estructuras formadas por piedras ladradas y no ladradas, unidas con mortero. Estos muros son empleados para proteger alcantarillas, estribos de puentes, estructuras de almacenamiento de agua, que son estructuras indispensables para satisfacer múltiples necesidades en nuestro medio ambiente.

Distancia que se deben colocar las protecciones

A diferencia de una obra hidráulica típica, el lugar de emplazamiento de la obra de protección no se puede elegir, su ubicación queda totalmente limitada al lugar donde se encuentra su cabecera en el momento de realizar la obra. En general esta

ubicación coincide con suelos de baja calidad, en cuanto a su capacidad soporte y resistencia a la erosión hídrica.

Para poder realizar un dimensionamiento de defensas ribereñas, primero se debe realizar un estudio hidrológico para poder analizar el caudal y posteriormente la altura del pelo del agua y a que distancia que debe construir la protección, ya que son elementos básicos para la determinación de las dimensiones.

El estudio hidrológico tiene por objeto el mejor ajuste, con los datos existentes a esa fecha a través las funciones de distribución más aceptadas que permitan conocer el margen de error disponible de cada uno con el objeto último de brindar una herramienta a los tomadores de decisión. Con dichos resultados es posible la adopción de la altura de coronamiento de defensa costera.

Es importante señalar que tanto la altura como la distancia cumplen un papel importante para el diseño de estas obras, ya que van a depender principalmente del caudal. La altura es compensada con la distancia, ya que las protecciones costeras no deben ser tan altas, por normas de seguridad y por falta de estética a la construcción.

En las zonas áridas, posiblemente sea la única fuente de riego natural, o de enriquecimiento del suelo. Al reducir o eliminar las inundaciones, existe el potencial de empobrecer la agricultura de los terrenos aluviales (recesión), su vegetación natural, las poblaciones de fauna y ganado y, la pesca del río y de la zona aluvial, que se han adaptado a los ciclos naturales de inundación.

Es por esta razón que estas obras pueden ser efectivas para el área particular que se va a defender, pero cambian el régimen natural del flujo y tienen efectos sobre áreas aledañas, los cuales deben ser analizados antes de construir las obras.

1.5.2.2 Estudios Básicos

Los estudios básicos de ingeniería desarrollados durante la elaboración de la presente Tesis, son: Topografía, Mecánica de suelos (granulometría), Hidrología e Hidráulica fluvial, los cuales se han sustentado en diversas teorías, las mismas que para cada estudio básico, detallamos a continuación:

Teorías de la topografía, tenemos:

❖ **La topografía** (de *topos*, "lugar", y *grafos*, "descripción") es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la

representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles; tanto naturales como artificiales (ver planimetría y altimetría). Esta representación tiene lugar sobre superficies planas, limitándose a pequeñas extensiones de terreno, utilizando la denominación de geodesia para áreas mayores. De manera muy simple, puede decirse que para un topógrafo la Tierra es plana (geoméricamente), mientras que para un geodesta no lo es.

Para eso se utiliza un sistema de coordenadas tridimensional, siendo la X y la Y competencia de la planimetría, y la Z de la altimetría.

La topografía como ciencia que se encarga de las mediciones de la superficie de la tierra, se divide en tres ramas principales que son:

- La Geodesia
- La Fotogrametría
- La Topografía Plana
- ❖ **Levantamiento Topográfico** ⁽²⁾

Los levantamientos topográficos se realizan por medio de cálculos, y se pueden obtener los siguientes datos: distancias, ángulos, direcciones, coordenadas, elevaciones, áreas, etc. obtenidos inicialmente en campo. Para efectuar un trabajo de topografía se deben de seguir los siguientes pasos:

- a. Reconocimiento del lugar: Es donde se recorre el área de trabajo para tener un panorama de las actividades a desarrollar.
- b. Toma de decisiones: Con base al reconocimiento y a criterio técnico, se selecciona el método del levantamiento topográfico a efectuar.
- c. Trabajo de campo: En él se obtienen los datos que son de importancia para el desarrollo del trabajo como mediciones, niveles, etc.
- d. Procesamiento de datos: Consiste en traducir o interpretar los datos que se han tomado en campo, para determinar la información requerida.
- e. Elaboración de planos: Aquí se representa gráficamente los datos de campo así como el diseño del mismo con base a: distancias, cotas, direcciones, etc.

Se puede dividir el trabajo topográfico como dos actividades congruentes: llevar "el terreno al gabinete" (mediante la medición de puntos o relevamiento, su archivo en el instrumental electrónico y luego su edición en la computadora) y llevar "el gabinete al terreno" (mediante el replanteo por el camino inverso, desde un proyecto en la computadora a la ubicación del mismo mediante puntos sobre el

terreno). Los puntos relevados o replanteados tienen un valor tridimensional; es decir, se determina la ubicación de cada punto en el plano horizontal (de dos dimensiones, norte y este) y en altura (tercera dimensión).

❖ **Tipos de levantamiento topográfico** ⁽²⁾ .

a.- Levantamientos planimétricos

Los levantamientos planimétricos tienen por objetivo la determinación de las coordenadas planas de puntos en el espacio, para representarlos en una superficie plana: plano o mapa.

Cada punto en el plano queda definido por sus coordenadas. Estas pueden ser polares (rumbo y distancia) o cartesianas: distancias perpendiculares a ejes cartesianos: X e Y o N y E.

Los instrumentos topográficos permiten medir ángulos y distancias con las que se determinan las coordenadas de los puntos del espacio que se desea representar en el plano. Los métodos de levantamiento comprenden todas las tareas que se realizan para obtener las medidas de ángulos y distancias, calcular las coordenadas y representar a escala los puntos en el plano, con la precisión adecuada.

b.- Levantamientos altimétricos.

La altimetría o nivelación tiene por objetivo la determinación de la diferencia de alturas entre distintos puntos del espacio, a partir de una superficie de referencia. A la altura de un punto determinado se denomina cota del punto. Si la altura está definida con respecto al nivel del mar se dice que la cota es absoluta, mientras que si se trata de cualquier otra superficie de referencia se dice que la cota es relativa. A la diferencia de altura entre dos puntos se denomina diferencia de nivel. Con la altimetría se determina la tercera coordenada (h), perpendicular al plano de referencia.

Los instrumentos topográficos permiten medir ángulos verticales entre dos puntos (punto estación y punto visado): distancias cenitales, ángulos de altura. Conociendo los ángulos verticales y la distancia entre los dos puntos se pueden obtener las diferencias de nivel entre estos y sus cotas. El conjunto de operaciones para determinar las cotas de puntos de referencia en el espacio, con la precisión adecuada, constituyen el método de levantamiento altimétrico.

El instrumento específico para determinar desniveles es el nivel. Con el nivel se aplica el método geométrico o de alturas.

c.- Levantamientos planialtimétricos.

Los levantamientos planialtimétricos tienen por objetivo determinar las tres coordenadas de puntos en el espacio, en forma simultánea. Integra los métodos planimétricos y altimétricos. El resultado final es un plano acotado o plano topográfico. Las alturas se representan mediante las curvas de nivel. El método de levantamiento planialtimétrico expeditivo se denomina taquimetría. Constituyen el conjunto de operaciones que permiten obtener las coordenadas de puntos característicos del terreno para la representación del relieve a escala y con la precisión adecuada.

❖ **Toma y registro de datos topográficos** ⁽²⁾.

Actualmente el método más utilizado para la toma de datos se basa en el empleo de una estación total, con la cual se pueden medir ángulos horizontales, ángulos verticales y distancias. Conociendo las coordenadas del lugar donde se ha colocado la Estación es posible determinar las coordenadas tridimensionales de todos los puntos que se midan.

Procesando posteriormente las coordenadas de los datos tomados es posible dibujar y representar gráficamente los detalles del terreno considerados. Con las coordenadas de dos puntos se hace posible además calcular las distancias o el desnivel entre los mismos puntos aunque no se hubiese estacionado en ninguno.

Teorías de la Mecánica de Suelos

Entre las teorías de la mecánica de suelos aplicables al presente trabajo de investigación, tenemos:

❖ **La Mecánica de suelos.**

La mecánica de suelos es una parte del área de la ingeniería que esta dedicada a estudiar las fuerzas o cargas que son establecidas en la superficie terrestre. La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan problemas relacionados a la consolidación de partículas subatómicas y de los sedimentos. La ingeniería civil se desarrolla en este ámbito, donde las construcciones y el comportamiento de las mismas estarán determinadas por el material aplicado y sobre todo por el suelo que es utilizado en el relleno. Esta parte de la ingeniería fue inventada en el año 1925 por Karl Von Terzaghi. Antes de realizar cualquier tipo de construcción uno de los pasos

fundamentales es realizar un estudio característico del suelo, con el objetivo de conocer las propiedades del mismo y como se puede aprovechar para el uso que deseamos realizar.

La mecánica de los suelos incluye temas importantes como la investigación de las propiedades físicas del suelo, la teoría del comportamiento de los suelos sujetos a cargas y la aplicación de dichos conocimientos empíricos a la práctica. El comportamiento estético de la estructura también estará determinado por la funcionalidad del material aplicado, quien en todo momento interactúa con el medio del soporte.

Todas las obras de ingeniería civil se apoyan sobre el suelo de una u otra forma, y muchas de ellas, además, utilizan la tierra como elemento de construcción para terraplenes, diques y rellenos en general; por lo que, en consecuencia, su estabilidad y comportamiento funcional y estético estarán determinados, entre otros factores, por el desempeño del material de asiento situado dentro de las profundidades de influencia de los esfuerzos que se generan, o por el del suelo utilizado para conformar los rellenos.

❖ **La granulometría**

a. Análisis granulométrico.

Proceso para determinar la proporción en que participan los granos del suelo, en función de sus tamaños. Esa proporción se llama gradación del suelo.

La gradación por tamaños es diferente al término geológico en el cual se alude a los procesos de construcción (agradación) y la destrucción (degradación) del relieve, por fuerzas y procesos tales como tectonismo, vulcanismo, erosión, sedimentación, etc.

b. Métodos de análisis granulométrico.

Comprende dos clases de ensayos: El de tamizado para las partículas grueso – granulares (gravas, arenas) y el de sedimentación para la fracción fina del suelo (limos, arcillas), pues no son discriminables por tamizado.

❖ **Método del tamizado.**

Una vez que se pasa el suelo por la estufa y se pulverice, se hace pasar por una serie organizada de tamices, de agujeros con tamaños decrecientes y conocidos, desde arriba hacia abajo. El primer tamiz, es el de mayor tamaño

y es donde inicia el tamizado. Se tapa con el fin de evitar pérdidas de finos; el último tamiz está abajo y descansa sobre un recipiente de forma igual a uno de los tamices, y recibe el material más fino no retenido por ningún tamiz.

Con sacudidas horizontales y golpes verticales, mecánicos o manuales, se hace pasar el suelo por la serie de tamices, de arriba abajo, para luego pesar por separado el suelo retenido en cada malla.

❖ **Métodos de la sedimentación.**

Son dos, el método del hidrómetro y el método de la pipeta. Ambos basados en las características de la sedimentación de las partículas del suelo en un medio acuoso. Se aplican, tales métodos, al “suelo fino”, es decir, al que ha quedado en el fondo de los tamices y que se denomina “pasa – 200”, material constituido por limos y arcillas.

❖ **La Curva granulométrica.**

Los resultados de los ensayos de tamizado y sedimentación se llevan a un gráfico llamado curva granulométrica.

La fracción gruesa tendrá denominaciones, según el sistema:

4: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

3: American Society for Testing and Materials Official

2: American Association of State Highway and Transportation Official

1: B S – 5930: 1981 (Británico).

Tabla 1

Tabla granulométrica

DENOMINACIÓN	BRITANICO 1	AASHTO 2	ASTM 3	SUCS 4
	D en mm	D en mm	D en mm	D en mm
Grava	60 – 2.00	75 – 2.00	> 2	75 – 4.75
Arena	2.00 – 0.06	2.00 – 0.05	2.00 – 0.075	4.75 – 0.075
Limo	0.06 – 0.002	0.05 – 0.002	0.075 – 0.005	< 0,075 FINOS
Arcilla	< 0.002	< 0.002	< 0.005	

La curva se dibuja en papel semilogarítmico.

En la escala aritmética (ordenadas) los porcentajes en peso de partículas con $D <$ que cada uno de los lados de las abscisas. En escala logarítmica (abscisas) los tamaños de los granos en milímetros. Esta escala, en razón de que los D varían de cm a mm.

Esta clasificación es necesaria en geotecnia, pero no suficiente.

Se complementa siempre la granulometría con el ensayo de límites de Atterberg, que caracterizan la plasticidad y consistencia de finos en función al contenido de humedad.

La curva A: Suelo bien gradado y de grano grueso.

La curva B: Suelo mal gradado, poco uniforme (curva parada sin extensión).

La curva C: Suelo arcilloso. La Curva C: Suelo arcilloso o limoso (fino) T4 y T200 = Tamices o mallas.

En la Figura se presenta la curva granulométrica.

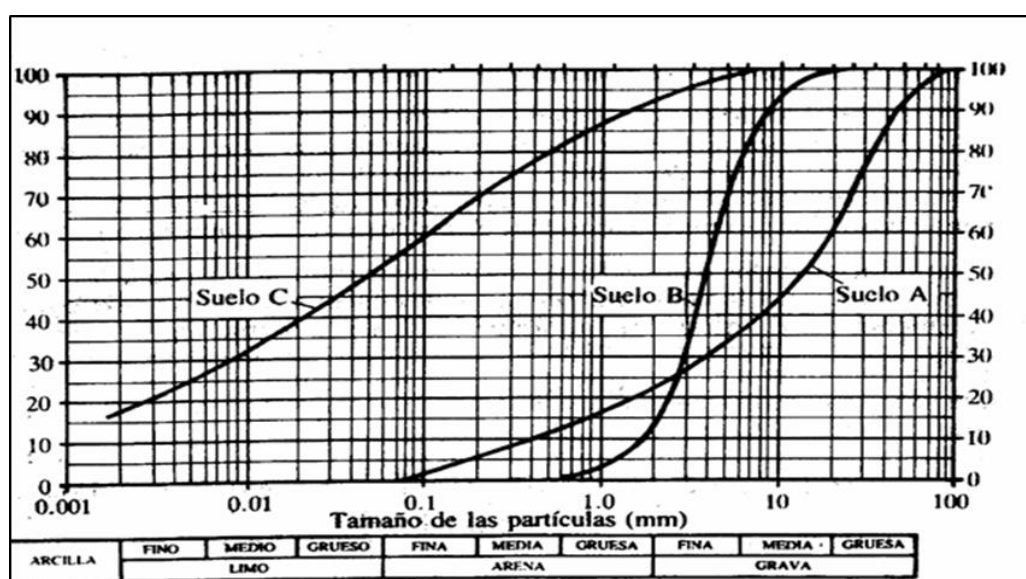


Figura 7. Curva granulométrica.

❖ Erosión de suelos

La erosión del suelo es la remoción del material superficial por acción del viento o del agua. El proceso se presenta gracias a la presencia del agua en las formas pluvial (lluvias) o de escorrentía (escurrimiento), que en contacto con el suelo (las primeras con impacto y las segundas con fuerzas tractivas), vencen la resistencia de las partículas (fricción y cohesión) del suelo, generándose el proceso de erosión. Muchos proyectos de ingeniería exigen la remoción de la vegetación y excavaciones de suelo generando problemas ambientales en laderas y cursos de agua por la producción e incorporación de sedimentos a las corrientes que alteran los ecosistemas naturales y generan gran cantidad de problemas por sedimentación.

La erosión edáfica es un proceso normal del desarrollo del paisaje, pero solamente en algunas partes del mundo domina otros procesos de denudamiento. Los otros procesos principales de remoción de sedimentos son los movimientos en masa y los procesos de transporte en masa, y cada uno de ellos es dominante en ambientes adecuados.

La mayor parte de nuestros actuales conocimientos sobre los mecanismos de erosión y sus tasas correspondientes se basan en el trabajo del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. El enfoque del SCS siempre ha sido pragmático, y sus predicciones en cuanto a tasas de erosión se han concentrado en torno al desarrollo y extensión de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS). Los puntos tanto fuertes como débiles de la EUPS se hallan en la estimación de la erosión como producto de una serie de términos como precipitación pluvial, grado y longitud de la pendiente, así como factores edáficos y agrológicos.

Los protagonistas principales de la erosión son: el impacto de las gotas de agua de lluvia que genera el desprendimiento por salpicadura, compacta el suelo, reduciendo la infiltración y aumentando la escorrentía, la capacidad hidráulica del flujo superficial sobre una pendiente capaz de acarrear sedimentos.

Pero la comprensión del fenómeno se fundamenta en una separación entre la hidrología y la hidráulica, y en las propiedades del suelo que son importantes para cada una de ellas: las propiedades hidrológicas del suelo determinan la tasa de infiltración y de esta manera se fija la parte de la precipitación pluvial que contribuye al flujo superficial. Las propiedades hidráulicas del suelo determinan la resistencia del suelo al transporte por el flujo o por las gotas de lluvia.

La erosión de suelos, la pérdida de suelos y la acumulación de sedimentos son términos que tienen distintos significados en la tecnología de la erosión de suelos: la erosión de suelos es la cantidad bruta de suelo retirado por la acción dispersante de las gotas de lluvia y por la escorrentía. La pérdida de suelo es el suelo desprendido de una pendiente determinada. La producción de sedimentos es el volumen de suelo depositado en un punto que está bajo evaluación.

❖ **Erosión hídrica**

Es la erosión por agua de lluvia y abarca la erosión provocada por el impacto de las gotas sobre el suelo desnudo, como también la acción hidráulica que arranca y transporta las partículas de suelo por el escurrimiento en laderas y taludes.

❖ Erosión fluvial

Es la erosión que se presenta en los cursos de agua (quebradas y ríos). La fuerza tractiva del agua vence la resistencia de los materiales, produciéndose procesos de socavación lateral y de fondo. Los procesos movilizan además de arcillas y limos, otros materiales como arenas, gravas, cantos y bloques, en las formas de acarreo disolución, suspensión y acarreo de fondo. Los volúmenes movilizadas por erosión fluvial son altos, en cauces erosionados.

Teorías de Hidrología e Hidráulica Fluvial

Entre las teorías de la hidrología, aplicadas al presente trabajo de investigación, tenemos:

❖ La hidrología

Hidrología es la ciencia que trata de las aguas sobre la tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades químicas y físicas y su reacción con el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivos. El dominio de la Hidrología abarca toda la historia de la vida del agua en la tierra.

De ello se desprende que la Hidrología es una ciencia interdisciplinaria, ya que se vincula con otras ramas de la ciencia, tales como Física, Química, Geología, Mecánica de fluidos, Matemáticas, Biología, Estadística, entre otras.

La hidrología comprende todo lo relacionado al ciclo hidrológico el cual es un fenómeno de circulación global del agua producida fundamentalmente por la energía solar, e influenciado por las fuerzas de gravedad y la rotación de la Tierra. En la Figura se presenta el ciclo hidrológico a nivel global.

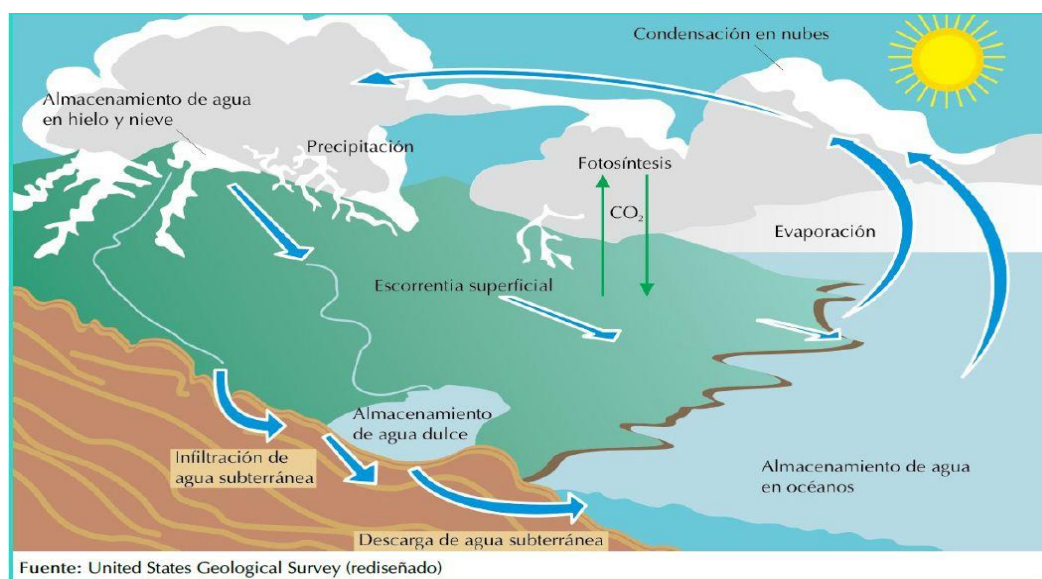


Figura 8: El ciclo hidrológico a nivel global.

En la Figura se presenta el ciclo hidrológico a nivel de cuenca.

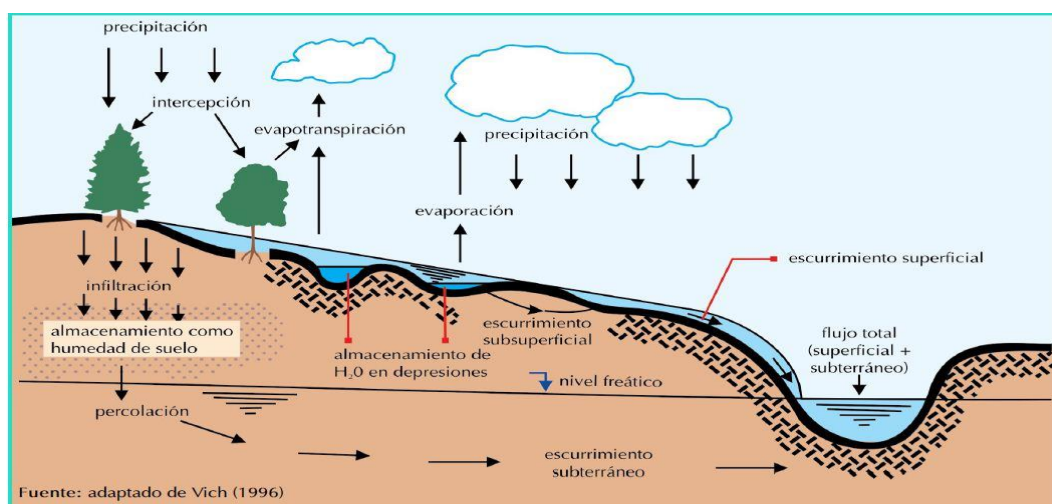


Figura 9: El ciclo hidrológico a nivel de cuenca.

❖ Análisis de Frecuencia

a) Frecuencia.

En hidrología la frecuencia de una lluvia es el número de veces que una precipitación de cierta magnitud es igualada o excedida, en un determinado número de años. También se utiliza el empleo del término, intervalo de recurrencia o período de retorno, que es el máximo tiempo que transcurre entre dos eventos que igualan o sobrepasan un valor determinado. Así cuando se dice que una lluvia tiene una frecuencia de 1, 2, 5 años, se refiere a las lluvias que se presentan cada 1, 2, ó 5 años en promedio. La magnitud de un evento extremo en hidrología está inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia. Se supone que la información hidrológica analizada es independiente y está idénticamente distribuida y el sistema hidrológico que la produce se considera estocástico e independiente del espacio y del tiempo, por lo tanto para el análisis estadístico de una serie hidrológica, la información utilizada se debe seleccionar cuidadosamente de tal manera que se cumplan las hipótesis de independencia y de distribución idéntica. El periodo de retorno de un evento X mayor que x_t es el inverso de la probabilidad de ocurrencia p . Por lo tanto:

$$T(\text{Período retorno}) = 1/p (\text{probabilidad de ocurrencia } X \text{ mayor } x_t).$$

b) Procedimiento para la estimación del Período de Retorno ⁽¹²⁾

Se ordenan los registros de todas las lluvias de una estación seleccionadas para el análisis (uno por año) en orden decreciente, asignando a cada valor un número de

orden creciente, así al mayor valor se le asigna el número uno y al siguiente valor el número dos y así sucesivamente hasta el valor n. El primer valor habrá ocurrido una sola vez en el periodo de registro el segundo dos veces y así sucesivamente. El periodo de retorno se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$T = (n + 1)/m \text{ ó también, } T = n/m$$

Donde T es el período de retorno en años, n es el número de años del registro y m el número de orden de la lluvia.

Para el cálculo de caudales máximos que se presentan como descargas de un río, se aplican entre otras, las siguientes teorías:

1. Método de Gumbel.

El método de Gumbel se utiliza para predecir magnitudes máximas de variables hidrológicas asumiendo que estos valores son independientes entre si. Además se conoce que este método es adecuado cuando se utiliza como datos las descargas máximas anuales en un punto de control de una vertiente o un río.

El procedimiento es el siguiente:

- a. Se toman las descargas máximas en las mismas unidades de medida (m³/s).
- b. Calcular la Media Y y la Desviación Standard de la observaciones S.
donde :

$$Y = \sum Y / N \quad Y: \text{descarga anual (m}^3/\text{s)}$$

N: Longitud de registro (años)

$$S = \left[\frac{(\sum y^2 - (\sum y)^2 / N)}{(N - 1)} \right]^{1/2}$$

- c. Determinar de la Tabla N° 01 la media esperada Y_n y la desviación Standard esperada s_N en función del número de años registro N.
- d. Calcular $1/a = S / s_N$
- e. Calcular la moda $U = Y - Y_n (1/a)$
- f. La ecuación de predicción de Gumbel es: $Y = U + 1/a (W)$

De la que conocemos U, 1/a ; W es la variable reducida.

g. Se selecciona varios valores de W correspondiente a varios periodos de retorno T, calcular Y y desarrollar un cuadro entre Y vs W.

Los valores seleccionados de la variable reducida W son: -5, 0,

0.5, 1, 1.5, 2.0

2. Método de Log. Pearson III.

Está dado por la función de densidad:

$$f(x) = \frac{a \gamma}{r \gamma} e^{-ax} x^{\gamma-1}$$

y la función de distribución dada por:

$$F(x) = \frac{a \gamma}{r \gamma} \int_0^x e^{-ax} x^{\gamma-1} dx$$

Simplificando la función densidad tenemos:

$$F(x) = Y_0 e^{-\gamma x} (1+x/a)^{\gamma a} = \text{Constante conocida, dada a partir de la derivada } r(\gamma), \text{ conocida como: } \psi(x-1)$$

a = Constante, calculada a partir de: $a = \gamma / X$

Existen métodos que simplifican todo el procedimiento de cálculo de estos parámetros, por la complejidad de desarrollar estas ecuaciones; una manera rápida es utilizando una forma simplificada, y utilizando tablas especialmente elaboradas, la cual relaciona el coeficiente de asimetría con la probabilidad y periodo de retorno, entablándose la siguiente ecuación:

$$X = \bar{X} + S(K)$$

$$\text{Log } Y = \overline{\text{Log } Y} + \sigma \log Y(K)$$

El procedimiento para la determinación de descargas máximas es:

- Se procede a determinar los logaritmos de las descargas.
- b) Se calcula la media ($\bar{X} = \overline{\text{Log } Y}$) y la desviación Standard S ($\sigma \log Y$) de los logaritmos de las descargas.
- Se determina el coeficiente de sesgo (g):

$$g = \frac{N \sum (\log Y - \overline{\text{Log } Y})^3}{(N-1)(N-2)(\sigma \log Y)^3}$$

- Con ayuda de la Tabla N° 02 encontramos los valores de K (variable

reducida para cada nivel de probabilidad deseada o también en función al intervalo de recurrencia).

e. En la ecuación de predicción:

$$X = \bar{X} + S(K)$$

$$\text{Log } Y = \overline{\text{Log } Y} + \sigma \log Y(K)$$

Tomando antilogaritmos encontramos el valor de la descarga.

Entre las teorías de la hidráulica fluvial, aplicadas al trabajo de investigación, tenemos:

❖ **La Hidráulica fluvial.**

La Hidráulica Fluvial combina conceptos de Hidrología, Hidráulica General, Geomorfología y Transporte de sedimentos. Estudia el comportamiento hidráulico de los ríos en lo que se refiere a los caudales y niveles medios y extremos, las velocidades de flujo, las variaciones del fondo por socavación y sedimentación, la capacidad de transporte de sedimentos y los ataques contra las márgenes.

❖ **Determinación del ancho estable de un río.**

Existen varios métodos para la estimación o cálculo del ancho estable del río, sin embargo, es necesario establecer que todos se basan en la Teoría del Régimen Estable.

❖ **Método de Petits** ⁽¹⁰⁾.

La expresión empleada es la siguiente: $B = 4.44(Q)^{0.5}$

Donde:

B = ancho estable en m.

Q = Caudal de diseño en m³/seg.

❖ **Método de Simons y Henderson** ⁽¹⁰⁾. Considerando un fondo de arena y orillas de cauce de grava y la expresión indicada, el ancho estable B, se determina aplicando la siguiente expresión:

Metodo de Simons y Henderson

$$B = K_1 Q^{1/2}$$

- Fondo y Orillas de Arena K1 = 5.70
- Fondo Arena y Orillas de Material Cohesivo K1 = 4.20
- Fondo y Orillas de Material Cohesivo K1 = 3.60
- Fondo y Orillas del cauce de Grava K1 = 2.90
- Fondo Arena y Orillas de Material No Cohesivo K1 = 2.80

❖ Método de Blench y Altunin

Considera un factor de fondo (F_b) de 1.2 y un factor de orilla (F_s) de 0.1 y la expresión indicada, B se determina aplicando la siguiente expresión:

$$B = 1.81(Q F_b/F_s)^{1/2}$$

Factor de Fondo (F_b)	Factor de Orilla (F_s)
<input type="radio"/> 0.80 - Mat. Finos ($D_m < 0.50$ mm)	<input checked="" type="radio"/> 0.10 - Mat. Suelos
<input checked="" type="radio"/> 1.20 - Mat. Gruesos ($D_m > 0.50$ mm)	<input type="radio"/> 0.20 - Mat. ligeramente Cohesivos
	<input type="radio"/> 0.30 - Mat. Cohesivos

❖ Método de Manning Strickler

Este método incluye como parámetros de cálculo a los coeficientes de rugosidad (n), tipo de material (k) y de cauce (m). Los valores de n , K y m , se presentan en el recuadro.

Este método para el cálculo de B , considera la aplicación de la siguiente expresión:

Metodo de Manning y Strickler

$$B = (Q^{1/2}/S^{1/5}) (n K^{5/3})^{3/(3+5m)}$$

Coeficiente - Tipo de Material (K)	Coeficiente Cauce (m)
<input checked="" type="radio"/> 10 - Valor Practico	<input type="radio"/> 0.50 - Rios de Cauces Aluviales
<input type="radio"/> 12 - Mat. Aluvial	<input checked="" type="radio"/> 0.70 - Rios de Cauces Arenosos
<input type="radio"/> 16 - Mat Facilmente erosionable	<input type="radio"/> 1.00 - Rios de Cauce de Montaña
<input type="radio"/> 03 - Mat. muy resistente	

❖ Teorías de la socavación del cauce

a. Socavación General

La socavación general se puede producir por varias causas:

- a. Aumento del caudal durante las avenidas
- b. Incremento de la pendiente del cauce por alteración del canal, o corte de meandros.
- c. Remoción de sedimentos del flujo por la construcción de una presa o por extracción de materiales del fondo del cauce.
- d. Transferencia de agua de una cuenca a otra, la cual altera la capacidad de transporte de sedimentos de ambas corrientes.
- e. Disminución de la rugosidad del cauce por obras de regulación del canal.

Esta socavación es una erosión general de todo el cauce y no depende de que exista o no un puente u otra estructura.

La socavación general tiene como resultado una disminución en el nivel del fondo

del cauce y los niveles de agua y por lo tanto puede producir exposición de las fundaciones, de los oleoductos y otras estructuras colocadas en el cauce del río.

Maza define la socavación general como el descenso del fondo de un río cuando se presenta una avenida, debido a la mayor capacidad que tiene la corriente de transportar partículas en suspensión; partículas que toma del fondo del cauce. Según Maza al aumentar la velocidad de la corriente, aumenta su capacidad de transporte por lo que erosiona el fondo, al erosionar aumenta el área de la sección y disminuye la velocidad hasta que ya no es capaz de erosionar más.

La socavación puede ocurrir a todo lo largo y ancho del cauce durante el paso de una avenida. Los niveles de socavación general varían de acuerdo a los caudales y la profundidad de socavación no es la misma en toda la sección. Generalmente la socavación es mayor en el sector más cercano al Thalweg.

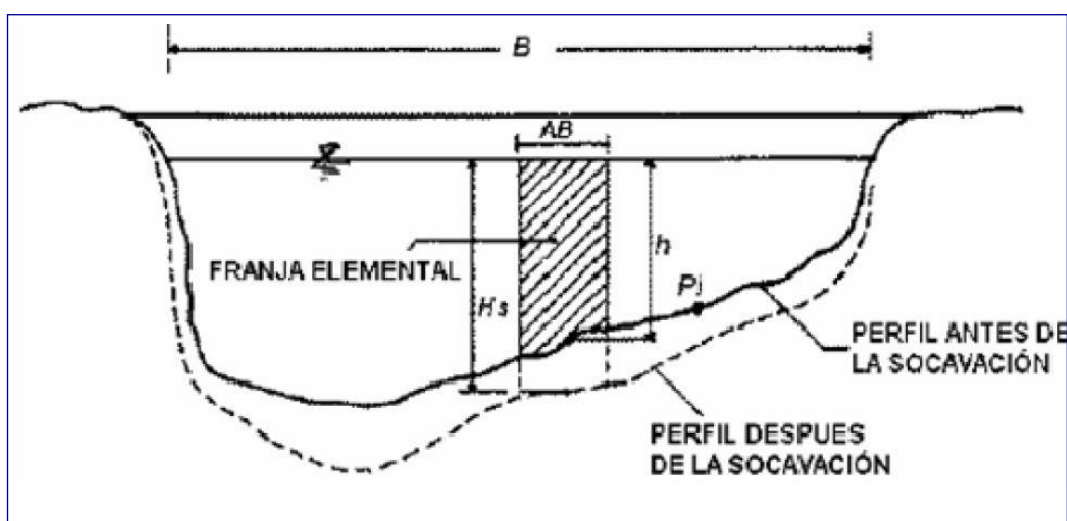


Figura 10: Sección transversal del cauce. (Tomado de: Juárez Badillo E y Rico Rodríguez A. 1992).

b. Cálculo de la socavación general

Según Líschtvan-Levediev (Maza, 1967) las expresiones para evaluar la socavación general son las siguientes:

Para suelos granulares:

Para suelos cohesivos:

$$y_s = \left[\frac{\alpha \cdot y_o^{5/3}}{0.68 D_m^{0.28} \cdot \beta \cdot \psi} \right]^{1/1+Z}$$

$$\alpha = \frac{Q_d}{(H_m)^{5/3} B_e \cdot \mu}$$

Donde:

y_s = Desnivel entre la superficie del agua, al pasar la avenida y el fondo erosionado.

H_o = Desnivel entre la superficie del agua, al pasar la avenida, y el nivel del fondo original (medido antes de la avenida).

y_s, y_o = Se miden en cada sección vertical donde se desea hacer el cálculo.

y_m = Tirante medio medido entre la superficie del agua al pasar la avenida y el fondo original. Se obtiene de dividir el área hidráulica entre el ancho de la superficie libre B_e .

B_e = Ancho libre de la superficie al presentarse la avenida

Q_d = Gasto o caudal de diseño

D_m = Diámetro medio; si el material del fondo es friccionante.

γS = Peso volumétrico seco; si el material es cohesivo.

μ = Coeficiente que depende de la contracción del cauce (Tabla 5).

“x”, y “z” = Exponentes en función de D_m o γS según el tipo de material del fondo (Tabla 6).

ψ = Coeficiente que depende de la concentración del material transportado en suspensión (Tabla N° 8).

β = Coeficiente, depende del período de retorno del gasto de diseño (Tabla 7).

ψ = Coeficiente que depende de la concentración del material transportado en suspensión (Tabla 8).

α = Coeficiente de sección dependiente de las características Hidráulicas del río.

$\alpha = s^{1/2} / n$.

Tabla 2

Valores del coeficiente de contracción del cauce μ (Maza 1967)

Velocidad media en mts/seg	Luz libre entre dos pilas, en metros												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
Menor de 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.50	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.00	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.50	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.00	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.50	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
4.00 o Mayor	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Tabla 3

Valores de "x" y "z" (Maza 1967)

Suelos cohesivos						Suelos granulares					
γ_d	x	$\frac{1}{1+x}$	γ_d	x	$\frac{1}{1+x}$	d (mm)	z	$\frac{1}{1+z}$	d (mm)	z	$\frac{1}{1+z}$
0.80	0.52	0.66	1.20	0.39	0.72	0.05	0.43	0.70	40.000	0.30	0.77
0.83	0.51	0.66	1.20	0.38	0.72	0.15	0.42	0.70	60.000	0.29	0.78
0.86	0.50	0.67	1.28	0.37	0.73	0.50	0.41	0.71	90.000	0.28	0.78
0.88	0.49	0.67	1.34	0.36	0.74	1.00	0.40	0.71	140.000	0.27	0.79
0.90	0.48	0.67	1.40	0.35	0.74	1.50	0.39	0.72	190.000	0.26	0.79
0.93	0.47	0.68	1.46	0.34	0.75	2.50	0.38	0.72	250.000	0.25	0.80
0.96	0.46	0.68	1.52	0.33	0.75	4.00	0.37	0.73	310.000	0.24	0.81
0.98	0.45	0.69	1.64	0.31	0.76	6.00	0.35	0.74	370.000	0.23	0.81
1.00	0.44	0.69	1.64	0.31	0.76	8.00	0.35	0.74	450.000	0.22	0.83
1.04	0.43	0.70	1.71	0.30	0.77	10.00	0.34	0.75	570.000	0.21	0.83
1.08	0.42	0.70	1.80	0.29	0.74	15.00	0.33	0.75	750.000	0.20	0.83
1.12	0.41	0.71	1.89	0.28	0.78	20.00	0.32	0.76	1.000.000	0.19	0.84
1.16	0.40	0.71	2.00	0.27	0.79	25.00	0.31	0.76			

Tabla 4Valores de β (Maza 1967)

Probabilidad (en % de que se presente el caudal de diseño)	Coefficiente β
100	0.77
50	0.82
20	0.86
10	0.90
5	0.94
2	0.97
1	1.00
0.3	1.03
0.2	1.05
0.1	1.07

Tabla 5Valores de ψ (Maza 1967)

γ mezcla agua - sedimento	Coefficiente ψ
1.05	1.06
1.10	1.13
1.15	1.20
1.20	1.27
1.25	1.34
1.30	1.42
1.35	1.50
1.40	1.60

2.5.2.3 Base legal

A) Ley de Recursos Hídricos N° 29338

En el Título V - Protección del Agua, artículo 74° se hace referencia a la determinación y protección de la faja marginal; mientras que el artículo 75°, hace mención a la protección del agua.

En el Título XI – Los Fenómenos Naturales, artículo 119° se establece que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en conjunto con los Consejos de Cuencas, deben establecer programas de control de avenidas, desastres e inundaciones.

B) Decreto Supremo N° 039-2008-AG, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua – ANA

En el artículo 31°, establece que la Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales, debe coordinar acciones para prevenir o minimizar los efectos de

eventos extremos, así como promover obras de encauzamiento, **defensa ribereña** y protección de estructuras de captación de los ríos.

C) Plan Estratégico Sectorial Multianual de Agricultura 2007-2011

Este plan hace mención que existe una insuficiente prevención de desastres debido principalmente a factores climatológicos.

D) Ley 28611, Ley General del Medio Ambiente.

La Ley General del Medio Ambiente es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

E) Ley 27446, Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental SEIA

La evaluación de impacto ambiental –EIA como instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo, contribuye a hacer más eficiente la planificación y ejecución de planes y toma de decisiones en materia ambiental y debe ser utilizada por las autoridades competentes, para aprobar y emitir la certificación ambiental y contribuir a la mayor eficacia y eficiencia de las políticas, planes, programas y proyectos de inversión bajo los mandatos.

F) Reglamento Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338.

En el Título VIII, capítulo III, Encauzamiento de cursos de agua y defensa ribereña, en sus artículos 223° y 224°, hace mención a las obras de encauzamiento y defensa ribereña y a la autorización para la ejecución.

G) Ley Orgánica de Municipalidades, Ley 27972, Artículo 69° Rentas Municipales

Los derechos por la extracción de materiales de construcción ubicados en los alveolos y cauces de los ríos y canteras localizadas en su jurisdicción.

H) Ley que regula el derecho por extracción de materiales de los alveolos o cauces de los ríos por las municipalidades, Ley 28221.

Las Municipalidades Distritales y las Municipalidades Provinciales en su jurisdicción, son competentes para autorizar la extracción de materiales que acarrear y depositan las aguas en los álveos o cauces de los ríos y para el cobro de

los derechos que correspondan, en aplicación de lo establecido en el inciso 9 del artículo 69° de la Ley N° 27972.

I) Ley que establece la obligación de elaborar y presentar planes de Contingencia Ley N° 28551

Tiene por objeto establecer la obligación y procedimiento para la elaboración y Presentación de planes de contingencia, con sujeción a los objetivos, principios y estrategias del Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres (INDECI).

J) Ley Orgánica de los Gobiernos Regionales N° 27867, Artículo N 61°

Formular, aprobar, ejecutar, evaluar, dirigir, controlar y administrar las políticas en materia de Defensa Civil. Organizar y ejecutar acciones de prevención de desastres y brindar ayuda directa e inmediata a los damnificados y la rehabilitación de las poblaciones afectadas.

- ✓ Formular, aprobar, ejecutar, evaluar, dirigir, controlar y administrar las políticas en materia de Defensa Civil, en concordancia con la política general del gobierno y los planes sectoriales.
- ✓ Dirigir el Sistema Regional de Defensa Civil
- ✓ Organizar y ejecutar acciones de prevención de desastres y brindar ayuda directa e inmediata a los damnificados y la rehabilitación de las poblaciones afectadas.

1.5.2.4 Marco conceptual

Cuando hablamos de investigación o estudios de diferentes tipos, siempre aparece el concepto abstracto. El mismo puede ser definido como aquel conjunto de ideas o teorías que tomara el investigador para guiar su trabajo para darle un marco ordenado y claro, esta será el espacio en el que esas ideas se pondrán en cuestión o se analizaran.

En el presente trabajo de investigación, se aplicarán teorías referidos a los estudios básicos de ingeniería:

Teorías de Hidrología superficial: Teoría de Gumbell, Log Pearson Tipo III.

Teorías de Mecánica de suelos: Teoría de la granulometría de suelos, como determinarla.

Teorías de hidráulica fluvial: Teoría de Blench, Teoría de Altunnin, Teoría de List Van Lebediev, etc.

Teorías de la topografía: Teoría de levantamiento topográfico de áreas continentales, etc.

1.6 Hipótesis

En base a la formulación del problema, se plantea la siguiente Hipótesis:
Para dar solución al problema de erosión e inundaciones es necesario elaborar el dimensionamiento hidráulico y estructural de obras de protección en la localidad de Shanao, capaz de dar seguridad a la población en época de máximas avenidas en el río Mayo.

.

CAPÍTULO II

MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Materiales

2.1.1 Recursos humanos

- a) Autor del Proyecto (Bach. Jimmy Holdem Fasanando Sinti)
- b) Asesor Metodológico (Ing. Daniel Díaz Pérez)
- c) Personal auxiliar de Campo
- d) Personal de Laboratorio de Suelos

2.1.2 Recursos materiales

- a) Material de estudio
 - ✓ Muestras de suelo del ámbito urbano de la localidad de Shanao.
 - ✓ Planos topográficos del área urbana.
 - ✓ Datos hidrométricos registrados por el SENAMHI sobre caudales máximos instantáneos en el río Mayo ubicado en el ámbito del área de estudio.
- b) Material de escritorio
 - ✓ Cámara fotográfica
 - ✓ 1 computadora personal e impresora
 - ✓ 2 memorias USB
 - ✓ Papel (bond A4 de 75gr)
 - ✓ Libretas de apunte
 - ✓ Bibliografía

2.1.3 Recursos económicos

- ✓ Gastos generados para el siguiente trabajo de investigación:
- ✓ Obtención de muestras de suelo
- ✓ Traslado de muestras
- ✓ Planos topográficos
- ✓ Estudio topográfico
- ✓ Adquisición de Información hidrométrica

2.2 Metodología

2.2.1 Universo, muestra y población

2.2.1.1 Universo

El universo está conformado por toda la red hidrográfica del río Mayo.

2.2.1.2 Muestra

Se tomará como muestra el tramo del río Mayo que comprende desde la localidad de Pinto Recodo del río Mayo hacia aguas abajo, hasta llegar a las inmediaciones del Puente Bolivia.

2.2.1.3 Población

3,538 habitantes del distrito de Shanao.

Fuente:https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/capacita/2017/Febrero/Sistema_Informacion_Distrital_INEI.

2.2.2 Sistema de variables

Cuadro 1

Sistema de Variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente	Estudio topográfico.	Se aplicarán en campo el método taquimétrico y en gabinete los software AIDC NS y el Atutocad Land.	Pendiente del cauce.	m/m
			Secciones transversales del cauce.	m
	Estudio Granulométrico – Mecánica de suelos.	Se aplicarán el método del tamizado de muestras de suelo.	Diámetro de partículas del suelo: D ₁₀ , D ₅₀ y D ₉₀	mm
	Estudio hidrológico	Se aplicarán métodos estadísticos e hidrometeorológicos.	Caudales máximos.	m ³ /seg
			Tirantes de agua.	m
	Estudio Hidráulico	Se aplicarán teorías de la hidráulica fluvial.	Fuerza tractiva.	KN/m ²
			Gradiente hidráulica.	m/m
			Velocidad de flujo.	m/seg

			Socavación general.	m	
			Socavación local	m	
Variable Dependiente	Dimensionamiento hidráulico de la defensa ribereña	Se tendrá en consideración teoría para el diseño de obras de defensa ribereña	Espigón	Longitud.	m
				Altura.	m
			Muro de encauzamiento	Longitud.	m
				Altura.	m

Fuente: Propia

2.2.3 Diseño del método cobertura del estudio

La presente investigación se realizará en gabinete. El diseño de la investigación experimental es el siguiente:

Antes	Después
X	Y

X : Situación de la investigación en la fase de estudio.

Y : Resultados de la investigación con información precisa que formula la propuesta.

2.2.4 Diseño Experimental de la Investigación

La investigación a realizar es Explicativa y Experimental.

2.2.5 Hidrografía

2.2.5.1 Características principales de la cuenca de interés.

La amplitud y suave pendiente de la cuenca de la margen izquierda del río Mayo ha permitido que los ríos Huasta, Cachiyacu, Tioyacu, Avisado y Huascayacu, que nacen en las estribaciones de la Sierra Cahuapanas, El río Mayo, perteneciente al sistema hidrográfico del Atlántico, tiene sus orígenes en los contrafuertes montañosos de la Sierra Cahuapanas y de la Cordillera Oriental, alimentando sus cursos de agua primordialmente con las precipitaciones estacionales.

La zona estudiada comprende básicamente un tramo de 254 Km. del río Mayo, medido dentro del área en estudio. En el Alto Mayo existen en total 30 subcuencas. Los afluentes más importantes del río Mayo en la margen derecha son los ríos Serranoyacu, Amangay, Aguas Claras, Mirador, Naranjos, Túmbaro, Naranjillo, Soritor, Yuracyacu y río Negro; mientras que, por la margen izquierda, los ríos Huasta, Cachiyacu, Tioyacu, Avisado y Huascayacu.

La zona estudiada comprende básicamente un tramo de 254 Km. drenen a través de extensas áreas y presenten un gran desarrollo, observándose la presencia de numerosos meandros con intercalaciones de pequeños tramos rectos, que se hacen más notables en el río Huascayacu. En la cuenca de la margen derecha, la cercanía del río Mayo a la Cordillera Oriental, ha condicionado la existencia de tributarios como el Aguas Verdes, Serranoyacu, Aguas Claras, Amangay y Mirador, que presentan un regular desarrollo, tramos rectos, regular caudal y fuerte pendiente; mientras que los ríos Naranjos, Túmbaro, Naranjillo, Soritor, Yuracyacu y río Negro presentan regular desarrollo, tramos rectos con pequeños meandros y regular caudal y pendiente.

Para una mejor descripción del río Mayo dentro de la zona de estudio, se ha creído necesario subdividirlo en tres sectores: Inferior, que comprende desde aproximadamente Moyobamba hasta la desembocadura del río Naranjillo, abarcando el sector del río Huascayacu hasta más o menos cerca de la Comunidad Aguaruna Morroyacu; Medio, que comprende desde aproximadamente la desembocadura del río Naranjillo hasta las estribaciones montañosas de la Cordillera Oriental y la Sierra Cahuapanas, abarcando los sectores de los ríos Negro, Yuracyacu, Soritor, Naranjillo, Túmbaro, Naranjos, Huascayacu, Avisado, Tioyacu, Cachiyacu y Huasta; y Superior, que comprende las redes hidrográficas secundarias.

En el sector Inferior, el ancho del río es mayor que en los sectores Medio y Superior, alcanzando un máximo de aproximadamente 150 m. Este sector se caracteriza por la presencia de numerosos, grandes y amplios meandros, con intercalaciones de largos tramos rectos. El Sector Medio presenta meandros de tipo ensortijado, separados por pequeñas rectas; y el sector Superior se caracteriza por tener tramos más largos, presentando “rápidos” que muestran un descenso sostenido y brusca elevación del nivel. El río Mayo presenta un alineamiento Norte – Sur, desde sus nacientes hasta la

desembocadura del río Serranoyacu, y desde este punto al alineamiento es Sur-Sureste hasta su desembocadura en el río Huallaga.

En cuanto a la ubicación territorial tenemos:

Mapa del Perú



Figura 11: Mapa Político del Perú

Mapa Departamental



Figura 12: Departamento de San Martín

Mapa de la provincia de San Martín

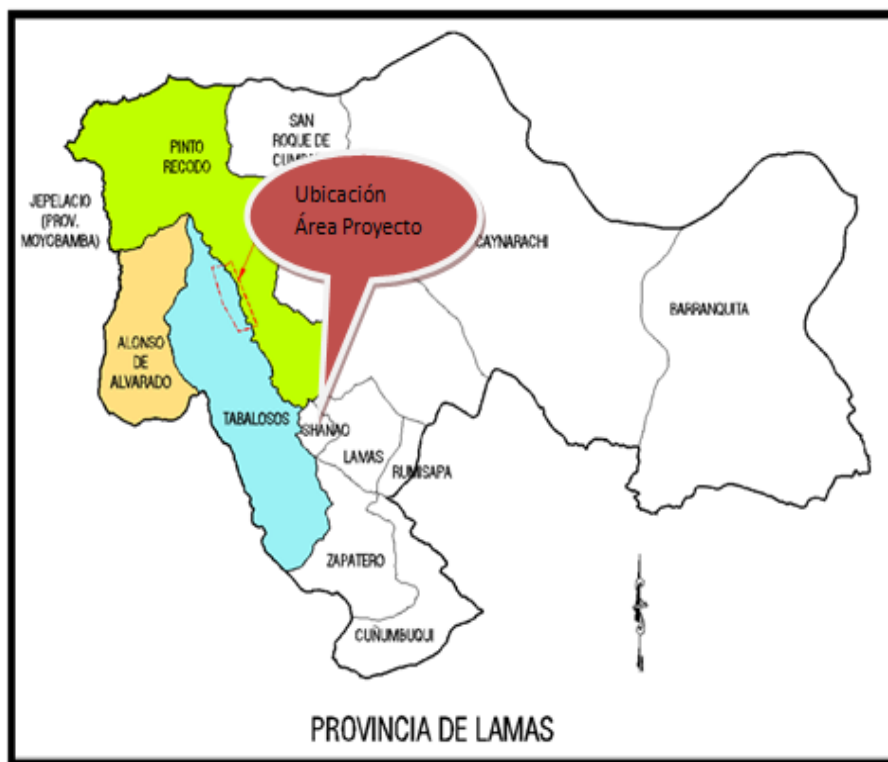


Figura 13: Provincia de Lamas

2.2.5.2 Topografía.

La topografía del relieve de la cuenca denominada Alto Mayo, está plenamente caracterizada de acuerdo a las áreas o pisos altitudinales que identifican plenamente la parte alta de la cuenca.

La topografía o relieve de la parte alta de la cuenca es accidentada, en sus nacientes en Aguas Claras las cumbres alcanzan la cota 2,800 msnm y continúa descendiendo hacia aguas abajo pasando por las cotas 1,400 msnm, 1,200 msnm y en las cercanías de la localidad de Shanao las líneas de cumbres alcanzan los niveles de 800 a 600 m.s.n.m. En este tramo, el río se encuentra encajonado por una cadena de montañas de baja altitud que delimitan la cuenca colectora del tramo Alto Mayo. Ya en la provincia de Lamas, la cuenca del río Mayo presenta una mayor amplitud, sin embargo su relieve sigue siendo accidentado. Al aproximarse a la localidad de Shanao, lugar donde se ubica el área del proyecto de defensa ribereña, la cuenca presenta una topografía ligeramente ondulada con la presencia de colinas de baja altitud que alcanzan los 800 y 600 msnm. y las planicies de los angostos valles llegan a ubicarse entre los 300 y

350 msnm, pudiéndose apreciar también pequeñas lomadas o colinas de muy baja altura dentro del valle el mismo que es angosto. La topografía de la cuenca de interés, es representativa y condiciona el escurrimiento del agua hacia el río durante la caída de precipitaciones especialmente en las partes altas.

El punto de interés en estudio se ubica exactamente en la localidad de Shanao en la margen izquierda del río Mayo frente a la localidad de Shanao.

2.2.5.3 Cubierta Vegetal.

La cubierta vegetal de la cuenca del Alto Mayo hasta el punto de interés, está conformada por bosque con vegetación alta y densa en sus nacientes y a medida que se aproxima hacia el inicio del tramo Bajo Mayo, el bosque se torna de baja altura, y en la parte baja la vegetación es menos densa, es decir está constituida por purmas de última generación o bosque secundario.

Desde el punto de vista florístico, el ambiente ecológico en la cuenca del Alto Mayo, es favorable para una selecta diversidad de árboles maderables, así como, hierbas volubles de flores rojas y orquídeas.

La vegetación natural existente varía desde la Estepa Espinosa Montano Baja caracterizada por especies representativas como la “cabuya” (*Fourcroya andina*), la “tara” (*Caesalpinatinotorea*), la “chamana” (*Dodonaea viscosa*), el “molle” (*schinus molle*) entre otras.

Conforme se va descendiendo rápidamente se pasa al Bosque Húmedo Montano Tropical donde se encuentra especies arbustivas llamadas “chilca” (*Baccharis* spp), el “quishuar” (*Buddleiaincana*) el “quinhual” (*Polylepis racemosa*) entre otras.

El bosque, ha sido y sigue siendo aprovechado para la extracción de madera.

En las partes media y baja de la cuenca, la cubierta vegetal natural está constituida por purmas bajas que vienen siendo eliminadas para dar paso al desarrollo de cultivos en limpio y en secano, como son, cacao, café, maíz, algodón y productos de panllevar.

En la siguiente imagen, se presenta la cuenca de interés del río Mayo, desde sus nacientes, hasta el punto de interés donde se emplazarán las obras de defensa ribereña, frente a la localidad de Shanao, en la provincia de Lamas, región San Martín.

Cuenca del Rio Mayo hasta el punto de interés

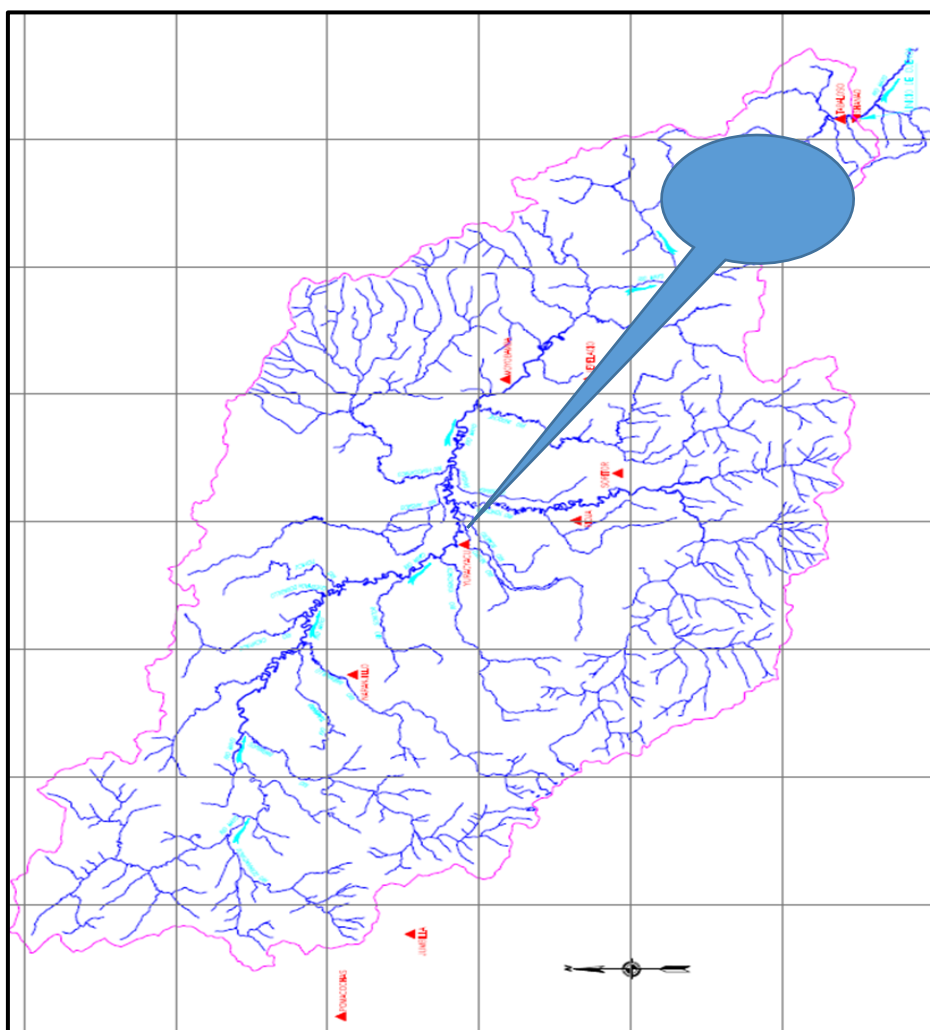


Figura 14: Plano de Curvas Topográficas de la Cuenca

2.2.5.4 Área de la Cuenca.

El área total del ámbito de influencia de la cuenca colectora del río Mayo, es decir hasta la localidad de Shanao es de 8,490.36 Km². (Ver Plano de Cuenca)

2.2.5.5 Longitud del Cauce Principal.

La longitud del cauce principal desde sus nacientes hasta el punto de interés es de **307.25 km** y su cauce varía entre una altura comprendida entre los 1,800 m.s.n.m en sus nacientes, hasta los 275 m.s.n.m en el punto de interés (localidad de Shanao).

2.2.5.6 Pendiente Media del cauce principal (Sm).

El agua superficial concentrada en los lechos fluviales, escurre con una velocidad que depende directamente del declive de éstos, así a mayor declividad habrá mayor

velocidad de escurrimiento. La pendiente media del cauce del río Mayo desde sus nacientes hasta la desembocadura en el río Huallaga, es un parámetro empleado para determinar la declividad del curso de agua entre dos puntos, que generalmente lo constituye la naciente y su desembocadura en otro río, en este caso el río Huallaga. En el presente estudio, se presenta el valor de la pendiente del cauce principal entre sus nacientes y la localidad de Shanao.

La fórmula es la siguiente:

$$S = (HM - Hm) / (L)$$

Siendo:

S = pendiente media del río Mayo

L = Longitud del cauce principal en m = 307.25 km

HM = Altitud máxima msnm. = 1,800.00

Hm = Altitud mínima msnm. = 275.00

Reemplazando valores, se tiene:

$$S = (1,800 - 275) / (307,250) = 0.004963 = 0.005$$

$$\underline{Sm = 0.005}$$

La pendiente media del río Mayo es de 5.00 m por cada kilómetro de longitud. Sin embargo el río Mayo en sus dos tramos plenamente establecidos presenta pendientes variables de valores altos en su tramo Alto hasta valores sumamente bajos en el tramo final en la desembocadura en el río Huallaga.

2.2.5.7 Densidad de drenaje (Dd).

La Densidad de drenaje puede definirse como la relación entre la longitud total de los cauces de una cuenca y el área de ésta.

$$Dd = \Sigma Lu / A$$

Donde Dd es la densidad de drenaje (en Km/Km²), ΣLu es la longitud total de cauces (en Km) y A es el área total de la cuenca en Km².

Este parámetro representa la longitud de cauces por unidad de superficie de cuenca. Su valor está controlado por las características litológicas (muy especialmente la permeabilidad, hasta el punto de aportar una impresión cualitativa sobre ésta) y estructurales de los materiales que conforman el área de la cuenca, por el tipo y densidad de vegetación y por factores climáticos. Las mayores densidades de drenaje

se encuentran en rocas blandas de baja permeabilidad y en regiones con escasa cobertura vegetal, sobre todo allí donde la precipitación se distribuye en lluvias intensas y espaciadas.

La cuenca de río Mayo hasta el punto de interés, tiene una relación de 0.342 km/km².

2.2.5.8 Ancho medio de la cuenca (Am)

El ancho medio de la cuenca, es la relación que existe entre el área de la cuenca (**A**) y longitud del cauce más largo dentro de la cuenca, es decir, el cauce principal (**Lp**).

$$\mathbf{Am = (A / Lp)}$$

Reemplazando valores:

$$Am = (8,490.36 \text{ Km}^2) / (307.25 \text{ km})$$

$$\mathbf{\underline{Am = 27.63 \text{ Km}}}$$

Por lo tanto, el ancho medio de la cuenca del río Mayo, hasta el punto de interés es de 27.63 km.

2.2.5.9 Factor de forma (Ff)

Este parámetro representa la relación entre el ancho medio de la cuenca (**Am**) y la longitud del cauce principal (**Lp**).

El ancho medio de la cuenca se obtiene dividiendo el área de la misma entre la longitud del curso de agua más largo, es decir el cauce principal.

Lo descrito líneas arriba se puede presentar en la siguiente fórmula:

$$\mathbf{F_f = Am / Lp}$$

Dónde:

F_f = Factor de Forma.

Am = Ancho medio de la cuenca en Km.

L_p = Longitud del cauce principal en Km.

Reemplazando valores:

$$\mathbf{F_f = (27.63 \text{ km}) / (307.25)}$$

$$\mathbf{\underline{F_f = 0.0899}}$$

Es preciso indicar que, la cuenca del río Mayo hasta el punto de interés con factor de forma ligeramente alto, presenta mayor tendencia a concentrar las intensidades de lluvia, por lo tanto está sujeta a mayores crecientes que otra del mismo tamaño pero con Factor de forma menor. El Factor de forma es adimensional al igual que el índice de compacidad.

2.2.5.10 Índice de Compacidad.

Representa la relación entre el perímetro de la cuenca y el área de la misma.

$$Kc = 0.28 P / (A)^{1/2}$$

Donde:

Kc = Índice de compacidad (adimensional).

P = Perímetro de la cuenca en Km.

A = Área de la cuenca en Km².

Reemplazando valores, se tiene:

$$Kc = 0.28(557.60 \text{ Km}) / (8,490.36 \text{ km}^2)^{1/2}$$

$$\underline{Kc = 1.694}$$

El índice de compacidad de la cuenca del río Mayo es de **1.694** lo que demuestra que su forma es alargada.

Este parámetro, nos evidencia que la respuesta de transformación de la precipitación en escorrentía es alta.

2.2.5.11 Tiempo de concentración.

Se denomina así, al tiempo que transcurre desde que una gota de agua cae en el punto más alejado de la cuenca (nacientes del curso principal), hasta que llega a la estación de aforo, o punto de interés alguno o a la salida de ésta (desembocadura).

Este tiempo, está en función de las características geográficas y topográficas de la cuenca.

Para la cuenca del río C, el tiempo de concentración será calculado hasta el punto de interés que es el lugar donde se ubica el área del proyecto de defensa ribereña.

Para el cálculo, se ha utilizado la fórmula empírica de Kirpich, que es la siguiente:

$$Tc = 0.0195 (L^3 / H)^{0.385}$$

Dónde:

Tc = Tiempo de concentración en minutos.

L = longitud máxima de recorrido en m. $L = 307.250 \text{ km}$.

(hasta la desembocadura en el punto de interés)

H = Diferencia de elevación entre la naciente y el punto de interés en el cauce principal en m. $H = 1,525.00 \text{ m}$.

Cota naciente = 1,800.00 msnm (Plano PC).

Cota en el punto de interés = 275.00 msnm.

Reemplazando valores, se tiene:

$T_c = 2526.55$ min. Se convierte a horas y se tiene que:

$T_c = 42.10$ hr.

Este valor nos indica que ante la ocurrencia de lluvias efectivas en la cabecera de la cuenca, éstas se convierten en escurrimiento de manera rápida y las aguas alcanzan el punto de interés en un tiempo relativamente corto que es de 42.10 horas.

2.2.6 Climatología de la zona del proyecto.

El clima de la Cuenca del Alto Mayo, está influenciado por la altitud y por otros fenómenos meteorológicos regionales propios de la zona de Selva Alta y Baja.

Por encontrarse el Perú en la zona de convergencia intertropical, las masas de viento provienen desde la dirección noreste, produciendo abundantes precipitaciones estacionarias. Los vientos provenientes del noreste, con abundante humedad, al llegar a la cordillera de los Andes, se elevan ocasionando alta pluviosidad en la vertiente oriental.

Los vientos tienen un mayor contenido de humedad en los meses de diciembre a abril, por lo que en esta época aumentan considerablemente las precipitaciones en la Sierra y en la Selva.

El régimen térmico para la zona del proyecto es variable hasta los 1000 m.s.n.m. bordea los 25 °C. Respecto a las precipitaciones, mostramos la siguiente tabla:

Cuadro de estaciones

ESTACIONES UTILIZADOS EN EL PROYECTO				
ESTACION	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	PRECIPITACIÓN ANUAL
MOYOBAMBA	6° 00'	76° 58'	842	1283
RIOJA	6° 05'	77° 10'	817	1563
SORITOR	6° 08'	77° 06'	890	1819
JEPELACIO	6° 06'	76° 54'	1292	1339
TABALOSO	6° 24'	76° 36'	341	1319
SHANAO	6° 25'	76° 36'	427	1190
NARANJILLO	5° 49'	77° 23'	900	1481
JUMBILLA	5° 53'	77° 45'	2284	781
POMACOCHAS	5° 48'	77° 55'	2181	800
PACAYZAPA	5° 15'	76° 46'	924	1167

La estación más cercana a la zona del proyecto es la de Pacayzapa con una precipitación total anual media de 1167 mm.

2.2.6.1 Aspectos ecológicos de la cuenca

□ Bosque Seco Tropical

Es una de las zonas de vida más importante de la región, principalmente en el bajo Mayo y el Huallaga central entre Tarapoto, Bellavista y Juanjuí.

Ocupa las colinas bajas y las lomadas así como las planicies y terrazas cercanas a los ríos Cumbaza, Mayo, Huallaga, Sisa, Saposoa, Chipurana, Tocache y Uchiza. Su altitud oscila entre los 350 y 600 msnm.

□ Bosque Húmedo Pre Montano Tropical

Es otra importante zona de vida. Está ubicada entre los 650 y los 1000 msnm (Lamas, Sauce, áreas cercanas a Juanjuí y Tarapoto).

En la cuenca del Alto Mayo se ubica entre los 850 y 1200 msnm ocupando las colinas bajas y las lomas así como el plano central aluvional del río Mayo (entre Moyobamba, Rioja y Naranjos). Las lluvias son moderadas y las temperaturas más frías que en el bosque seco tropical. Su relieve es muy accidentado mostrándose colinas altas, depresiones, laderas y montañas.

□ Bosque Muy Húmedo Pre Montano Tropical

Es un ecosistema húmedo por el aumento de las lluvias y la disminución de la temperatura. Se ubica entre los 1400 y 1800 msnm. Muestra sectores montañosos donde no hay asentamientos humanos por factores climáticos, edáficos y topográficos. Su temperatura promedio anual es de 18° C abarcando zonas de selva alta.

□ Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Tropical.

Está conformado por los cerros altos de las cordilleras del flanco oriental rodeados íntegramente por el bosque muy húmedo pre montano tropical.

Se distribuye entre los 1800 y los 2600 msnm. Su relieve está determinado por el ecosistema montañoso por lo que es una zona muy accidentada.

□ Bosque Pluvial Montano Bajo Tropical.

Es una zona de vida templada y súper húmeda. Se distribuye entre los 1800, y 2600 msnm. Su precipitación anual varía entre los 4000 y 4200 mm y su temperatura anual oscila entre los 12 y 17° C. Es una región montañosa muy abrupta con laderas que superan el 75% de pendiente siendo la zona muy susceptible a la erosión hídrica, deslizamientos y derrumbes.

□ Bosque Pluvial Montano Tropical.

Ocupa las partes más altas de la zona con clima súper húmedo. Está ubicada sobre los

3000 msnm y tiene un alto grado de nubosidad, las lluvias son casi diarias alcanzando valores de los 3000 a 4000 mm anuales. La temperatura oscila entre los 10 y 12 °C. Es una región abrupta y tiene muchos picos, cimas y laderas largas con declives que sobrepasan el 75% propia de la cordillera de los Andes.

2.2.6.2 Precipitación

La precipitación es el principal parámetro que determina el escurrimiento dentro de una cuenca. En el área del proyecto, el régimen de precipitaciones es variable, tanto espacial (dentro de la cuenca), así como temporal, es decir a lo largo de los doce meses del año. De la información pluviométrica registrada durante el período 2003- 2012 en la Estación San Shanao, de propiedad y bajo la operación del SENAMHI, se puede apreciar que en el área del proyecto, existen debidamente marcadas tres estaciones climáticas, dos húmedas y otra ligeramente seca, las primeras durante los meses de Setiembre-Diciembre – y de Febrero-Mayo, y la tercera durante los meses de Junio a Agosto, inclusive el mes de Enero. Las láminas anuales de precipitación durante este período de registro (Tal como se presenta en el Cuadro N° 02), van desde los 993.60 mm hasta los 1,339.10 mm, con una lámina promedio del período que asciende a los 1,194.04 mm anuales.

Este valor de precipitación, evidencia que en las inmediaciones del área del proyecto, la cuenca presenta cierto nivel de humedad que está acorde con su condición climática y que por cierto contribuye con un importante aporte al escurrimiento de la cuenca del río Mayo.

Cuadro estación Co Shanao

Cuadro 2

Precipitación Total Mensual, Estación CO SHANAO. Ubicada dentro de la cuenca del río Mayo.

ESTACION: SHANAO													
ARAMETR: PRECIPITACION TOTAL MENSUAL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2003.0	70.3	52.7	181.9	148.3	75.4	93.9	49.8	52.3	145.6	139.7	115.4	213.8	1339.1
2004.0	38.2	188.1	130.2	89.4	159.7	73.6	99.8	60.4	76.4	74.0	85.8	125.0	1200.6
2005.0	68.0	250.2	95.9	190.5	50.3	38.6	42.6	33.3	56.5	145.6	181.1	41.3	1193.9
2006.0	92.1	68.3	88.1	102.6	102.9	39.3	79.7	45.3	162.3	127.1	130.1	78.1	1115.9
2007.0	49.6	5.4	168.8	79.3	164.1	18.1	39.0	70.0	157.9	121.6	199.2	49.3	1122.3
2008.0	43.8	178.8	146.2	71.9	28.6	115.3	50.5	55.1	158.5	94.6	156.3	65.7	1165.3
2009.0	149.8	81.7	140.4	224.3	91.0	145.7	81.5	100.2	173.8	76.1	52.7	9.8	1327.0
2010.0	29.9	156.9	98.5	140.3	111.9	31.6	91.6	43.4	28.2	47.0	87.1	127.2	993.6
2011.0	46.1	57.6	113.7	198.8	124.8	46.2	69.1	29.3	113.1	92.6	158.7	137.7	1187.7
2012.0	124.7	59.3	214.1	168.4	197.1	71.7	19.5	6.9	56.3	150.5	145.0	81.5	1295.0

Sin embargo, es preciso indicar que el escurrimiento en el río Mayo que pasa por el punto de interés, se genera en la parte alta de la cuenca, es decir por las lluvias que caen en las provincias de Rioja y Moyobamba cuyos valores son registrados por el SENAMHI.

2.2.7 Temperatura

En el área del proyecto, este parámetro es controlado a través de la Estación CO Lamas ubicada a una altitud de 835.00 msnm e instalada en la vecindad del área del proyecto. La temperatura media promedio es de 22.90 °C y los valores máximos y mínimos son de 30.10 °C en el mes de Enero y de 25.6 °C en el mes de Julio respectivamente. Así mismo, se observa una variación mínima a lo largo del año.

Pese a no existir en las inmediaciones estaciones climatológicas que controlen este parámetro a altitudes mayores de los 300 msnm, se estima que la relación de la temperatura con la altitud es inversa en la cuenca del río Huallaga, es decir, a mayor altitud se presentan menores temperaturas.

2.2.8 Humedad Relativa

Este parámetro, es controlado desde la Estación CO “Lamas” por su cercanía al área de estudio. La humedad Relativa Media Promedio Mensual es de 83 % y presenta como valores máximos y mínimos los valores de 84 % y 78 % respectivamente. Como se puede apreciar, la variación mensual de la humedad relativa a lo largo del año es mínima.

(Fuente: “Estudio de Evaluación de los Recursos Naturales y Plan de Protección Ambiental”, Pag.51 y Anexo I).

2.2.9 La Evaporación

Según los Estudios realizados por ONERN en el año 1984, En cuanto a los valores de Evaporación, de acuerdo a la información existente en la Estación CO “Lamas”, ésta se encuentra alrededor de los 631.70 mm anuales, con una distribución mensual de dos épocas bien marcadas. Así, entre Abril y Octubre, la evaporación es relativamente baja, oscilando entre los 43.70 mm a 48.80 mm, en cambio, entre Julio a Diciembre, la evaporación es notoriamente más alta, variando entre los 78.10 mm a 83.80 mm.

(Fuente: “Estudio de Evaluación de los Recursos Naturales y Plan de Protección Ambiental”, Pag.51 y Anexo I).

2.2.10 Velocidad del Viento

Según los Estudios realizados por la ONERN, en el año 1984, en lo que respecta a los vientos, éste presenta una característica especial. De los datos registrados en la Estación CO Lamas, los vientos son persistentes en dirección S, E y O a través de todo el año. En cuanto a las velocidades los promedios alcanzados por los vientos son mayores de 8.50 Km/hr vientos Norte y 6.80 Km/hr vientos Este y de 5.10 Km/hr vientos Sur.

En general, se puede decir que dentro del conjunto de sus elementos meteorológicos, este tipo climático presenta una influencia de vientos cruzados aunque poco variables y de poca fuerza, no constituyendo problemas para las labores agropecuarias u otras actividades humanas. Sin embargo, no se descarta la ocurrencia de vientos fuertes aunque esporádicos y acompañados de fuertes precipitaciones, cuyas consecuencias pueden ser funestas en algunos casos.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Estudio hidrológico

3.1.1 Estudio de máximas avenidas aplicando métodos probabilísticos.

Objetivo:

El objetivo de calcular los caudales máximos o descargas máximas es el poder realizar diseños de estructuras hidráulicas confiables, que nos brinden la suficiente seguridad de que no colapsarán cuando se presente u ocurra un evento extraordinario de avenidas dentro de un período de años T. Aquí está la importancia del por qué es necesario calcular las descargas máximas o caudales máximos.

3.1.2 Conceptos clave.

Período de retorno (T): Está definido, como el tiempo que transcurre entre dos sucesos o eventos iguales.

Riesgo de falla hidrológico (R): En el diseño de obras hidráulicas expuestas a grandes avenidas, es necesario considerar el riesgo asociado con el valor seleccionado para el diseño. Por lo común, el ingeniero diseña una obra para resistir una avenida de cierta magnitud. Se define el riesgo R de un diseño como la probabilidad de que la avenida para la cual se diseña la obra sea excedida. Se entiende que ésta es una situación de riesgo, pues la obra se diseña para soportar cierta avenida máxima, y crecientes mayores le podrían hacer daño o incluso destruirla.

El riesgo R puede entonces escribirse como:

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

Dónde:

R: Riesgo de falla hidrológico

Tr: Período de retorno en años.

n: Vida útil de la obra en años.

La seguridad o confiabilidad (S):

Se define como el complemento del riesgo.

(Seguridad = 1 - R).

Siempre se quiere que la obra tenga un riesgo pequeño de dañarse o, lo que es lo mismo, una alta confiabilidad.

3.1.3 Información hidrométrica disponible.

Para la aplicación de los métodos probabilísticos para el cálculo de caudales o descargas máximas, se dispone de la información hidrométrica de caudales máximos instantáneos registrados en la Estación HLG – SHANAO ubicada inmediatamente aguas abajo del Tramo de Interés.

Se dispone de un registro de veinte años comprendidos en el período: 1993 – 2012, suficientes para la aplicación de los métodos de Gumbell Tipo I y Log Pearson Tipo III.

A continuación, se presenta las descargas máximas del río Cumbaza, registradas en la estación HLG “SHANAO”.


Cuadro 3

Caudales máximos en el río Mayo para diferentes períodos de retorno

INFORMACIÓN METEOROLÓGICA													
ESTACION: HLG "SHANAO"													
Latitud : 06° 26'			Departamento : San Martín			Provincia : Lamas			Distrito : Shanao				
Longitud : 76° 36'			Altura : 500 m.s.n.m.										
DESCARGAS MÁXIMAS INSTANTÁNEAS EN M ³ S													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAXIMA
1993	349.682	749.456	1121.777	744.488	344.005	299.953	338.733	411.035	502.823	685.455	695.455	589.073	4121.777
1994	394.519	586.666	716.463	724.961	763.803	750.825	675.026	321.814	540.477	572.412	176.934	690.662	783.893
1995	984.523	938.152	1094.940	956.998	923.133	881.814	692.993	829.032	868.577	873.411	889.038	1126.425	8135.429
1996	905.398	625.448	658.111	1019.401	901.609	671.282	358.441	949.233	361.505	1271.321	883.140	362.887	1271.321
1997	651.614	2879.585	2419.788	694.221	678.531	482.729	291.293	450.267	684.221	408.001	754.690	214.449	3576.585
1998	782.645	1348.390	1157.325	1841.861	2489.697	529.243	225.137	271.944	249.847	732.767	344.192	950.184	2499.697
1999	1903.838	2012.717	951.028	658.785	1038.144	737.938	1385.078	710.335	370.813	750.648	090.879	449.455	2012.717
2000	513.147	1188.125	820.933	915.480	889.527	1032.672	658.945	711.600	1701.316	441.950	311.589	1004.580	1701.316
2001	379.817	808.684	1838.016	1637.742	1869.287	656.645	432.372	235.391	527.984	718.331	816.139	1410.105	1838.016
2002	572.891	168.912	713.350	846.396	789.568	434.795	622.660	334.749	564.790	558.732	650.881	573.888	846.396
2003	629.754	772.755	806.277	934.267	885.433	894.956	652.369	471.657	514.289	854.772	654.078	800.458	885.433
2004	621.685	573.109	694.575	877.940	677.949	640.141	420.714	520.892	395.712	517.458	651.468	805.290	884.575
2005	715.279	627.275	580.184	737.922	679.838	396.584	372.296	189.189	313.902	583.094	978.296	479.749	928.295
2006	688.416	736.665	823.843	847.160	565.701	439.107	289.505	288.195	395.062	526.009	626.800	886.149	823.843
2007	1112.127	722.523	1016.406	1573.181	1092.635	478.754	691.515	419.859	907.228	1247.730	2382.560	1576.056	2382.660
2008	643.641	1103.072	1306.577	2008.108	892.756	1016.287	381.672	350.812	493.887	645.670	730.333	835.389	2008.108
2009	1177.872	891.524	1197.956	1654.185	1899.040	1118.526	448.342	337.431	609.881	251.808	694.937	484.826	1197.896
2010	271.315	1497.747	544.679	743.209	845.814	504.291	628.781	278.028	396.205	428.484	538.749	568.265	1497.747
2011	478.601	635.849	791.833	710.429	595.778	584.251	628.168	790.204	366.352	701.705	642.526	1027.827	1057.827
2012	1001.331	1116.816	1034.830	668.663	648.436	499.259	351.633	274.816	511.772	567.437	1069.510	706.858	1116.816
MEDIA	722.613	819.824	827.931	900.709	753.798	648.823	484.234	348.308	439.342	616.938	697.929	792.589	2382.660

NOTA: LA PRESENTE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA SOLO SERA EMPLEADA PARA EL PROPÓSITO DE LA SOLICITUD QUEDANDO PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL.

Tarapoto, 10 de abril del 2013



Ing. M.Sc. Felipe Yamán Sola
DIRECTOR REGIONAL
SENAMH - SAN MARTÍN

3.1.4 Estudio de máximas avenidas en el río Mayo aplicando métodos probabilísticos: Gumbel tipo I y Log Pearson tipo III

En el cuadro adjunto se presenta el resumen del registro histórico de las descargas máximas del río Mayo. Realizar el estudio de las descargas máximas.

DESCARGAS MAXIMAS INSTANTÁNEAS RIO MAYO ESTACIÓN: HLG SHANO, PERÍODO 1993 - 2012		
N°	AÑO	DESCARGA MÁXIMA M3/seg
1	1993	1,121.777
2	1994	783.893
3	1995	1,136.429
4	1996	1,271.321
5	1997	3,670.985
6	1998	2,499.697
7	1999	2,012.717
8	2000	1,701.316
9	2001	1,838.016
10	2002	846.396
11	2003	986.458
12	2004	684.575
13	2005	928.296
14	2006	823.843
15	2007	2,362.560
16	2008	2,000.106
17	2009	1,197.956
18	2010	1,467.747
19	2011	1,057.827
20	2012	1,116.816
n = 20		

Fuente: Estación HLG Shanao

3.1.4.1 Aplicación del Método de Gumbel Tipo I.

El cálculo de las descargas máximas o caudales máximos, aplicando el método probabilístico de Gumbel Tipo I, se realiza mediante la aplicación de la siguiente relación:

$$Q = Q_m + K \sigma_Q$$

Q = Caudal con una probabilidad dada.

Q_m = Media de la serie de caudales.

$\sigma_{Q_{max}}$ = desviación estándar de la serie de caudales.

K = un factor de frecuencia definido por cada distribución.

a).- Ordenar el valor de las descargas máximas en orden descendente, es decir, del valor mayor al valor menor. Se prescinde del año.

DESCARGAS MAXIMAS INSTANTÁNEAS RIO MAYO	
ESTACIÓN: HLG SHANO, PERÍODO 1993 - 2012	
N°	DESCARGA MÁXIMA M3/seg
1	3,670.985
2	2,499.697
3	2,362.560
4	2,012.717
5	2,000.106
6	1,838.016
7	1,701.316
8	1,467.747
9	1,271.321
10	1,197.9561
11	1,136.429
12	1,121.777
13	1,116.816
14	1,057.827
15	986.458
16	928.296
17	846.396
18	823.843
19	783.893
20	684.575
n = 20	

b).- Cálculo de la descarga media máxima.

$$Q_m = \frac{\sum Q \text{ max}}{n}$$

Dónde:

Q_m : Caudal o descarga media máxima en m^3/seg .

$\sum Q \text{ max}$: Sumatoria de todos los valores de las descargas máximas en m^3/seg .

n : Numero de datos, o que es lo mismo al número de años de registro.

Se realiza el cálculo correspondiente:

DESCARGAS MAXIMAS INSTANTÁNEAS RIO MAYO	
ESTACIÓN: HLG SHANO, PERÍODO 1993 - 2012	
N°	DESCARGA MÁXIMA M3/seg
1	3,670.985
2	2,499.697
3	2,362.560
4	2,012.717
5	2,000.106
6	1,838.016
7	1,701.316
8	1,467.747
9	1,271.321
10	1,197.956
11	1,136.429
12	1,121.777
13	1,116.816
14	1,057.827
15	986.458
16	928.296
17	846.396
18	823.843
19	783.893
20	684.575
n = 20	Σ = 29,508.731

$$Q_m = \frac{\Sigma Q \text{ max}}{n} = \frac{29,508.731}{20} = 1,475.437 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

$$\underline{Q_m = 1,475.437 \text{ m}^3 / \text{seg.}}$$

c).- Se calcula la desviación estándar ($\sigma_{Q_{\max}}$) de la muestra o valores de descargas máximas.

Para el cálculo, se aplica la siguiente fórmula:

$$\sigma_{Q_{\max}} = \sqrt{\frac{\Sigma (Q_{\max} - Q_m)^2}{n - 1}}$$

Para facilitar el cálculo, es necesario desarrollar el siguiente

METODO DE GUMBEL TIPO I

ORDEN (m)	AÑO	DESCARGA MAXIMA INSTANTANEA (m ³ /seg)	P=m/n+1	Tr=1/P	(Q _{mi} - Q _m) ²
1	1997	3670.99	0.05	21.00	4820432.9963
2	1998	2499.70	0.10	10.50	1049109.4694
3	2007	2362.56	0.14	7.00	786988.0155
4	1999	2012.72	0.19	5.25	288670.2820
5	2008	2000.11	0.24	4.20	275278.0318
6	2001	1838.02	0.29	3.50	131463.8576
7	2000	1701.32	0.33	3.00	51021.5259
8	2010	1467.75	0.38	2.63	59.1292
9	1996	1271.32	0.43	2.33	41663.1578
10	2009	1197.96	0.48	2.10	76995.4556
11	1995	1136.43	0.52	1.91	114926.1190
12	1993	1121.78	0.57	1.75	125075.0773
13	2012	1116.82	0.62	1.62	128608.6989
14	2011	1057.83	0.67	1.50	174397.7363
15	2003	986.46	0.71	1.40	239100.0224
16	2005	928.30	0.76	1.31	299362.7815
17	2002	846.40	0.81	1.24	395692.0135
18	2006	823.84	0.86	1.17	424574.1544
19	1994	783.89	0.90	1.11	478232.4815
20	2004	684.58	0.95	1.05	625461.9913
n=20	Σ Q max =	29508.731	Σ (Qmax- Qm)² =		10527112.9970

Luego, reemplazando valores se tiene:

$$\sigma_{Q_{\max}} = \sqrt{\frac{10,527,112.9970}{20 - 1}}$$

$$\sigma_{Q_{\max}} = 744.34 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

d).- Se determina la ecuación de Gumbel Tipo I.

Una vez obtenido el valor de la desviación standard, la ecuación de Gumbel Tipo I, queda definida como:

$$Q = 1,475.44 + 744.35 K$$

3.1.4.2 Cálculo de caudales máximos para diferentes períodos de retorno

aplicando el Método de Gumbel Tipo I.

Una vez determinada la Ecuación de Gumbel Tipo I, para el cálculo de caudales máximos para diferentes períodos de retorno, solo basta calcular el valor de K llamado factor de frecuencia, cuyo valor depende directamente del período de retorno

$$K = \frac{Y - Y_n}{\sigma_n}$$

Donde:

Y = variable reducida.

$Y = \text{Ln}\{ -\text{Ln}(1 - 1/T) \}$ También: $P = 1/T$

$Y = \text{Ln}\{ -\text{Ln}(1 - P) \}$

Y_n = valor medio esperado de la variable reducida. (Tabla)

σ_n = Desviación estándar de la variable reducida. (Tabla)

Tabla de valores de Y_n y σ_n

n (número de datos)	10	20	30	40	50	100	200
Y_n	0.5	0.52	0.54	0.54	0.55	0.56	0.57
σ_n	0.95	1.06	1.11	1.14	1.16	1.22	1.24

$Y_n = 0.52$

$\sigma_n = 1.06$

a).- Cálculo de K para diferentes períodos de retorno (T)

A continuación, se desarrolla un modelo de cálculo del valor de K para un período de retorno (**Tr**) de **25 años**. Para otros períodos el procedimiento de cálculo es el mismo.

Si T, es el período de retorno = 25 años

Entonces:

$$P = 1/25 = 0.04$$

Por lo tanto:

$$Y = \text{Ln}\{ -\text{Ln}(1 - 1/25) \}$$

$$\underline{\underline{Y = 3.20}}$$

Según la tabla anterior:

$$Y_n = 0.52$$

$$\sigma_n = 1.06$$

Reemplazando valores, se tiene:

$$3.20 - 0.52$$

$$K = \frac{\quad}{1.06}$$

$$\underline{K = 2.53}$$

b).- Cálculo de Q_{max} para el período de retorno (T) de 25 años.

Para ello, resolvemos la ecuación de Gumbel Tipo I.

$$\underline{Q = 1,475.44 + 744.35 K}$$

Reemplazando el valor de K, tenemos:

$$Q_{max\ 25} = \underline{1,475.44 + 744.35 (2.53)}$$

$$\underline{Q_{max\ 25} = 3,358.65\ m^3/seg.}$$

c) Cálculo de Q_{max} para diferentes períodos de retorno (Tr).

A continuación, se presenta el cálculo de caudales o descargas máximas para diferentes períodos de retorno:

Período de retorno en años (Tr)	Y	Y _n	σ _n	K	Descarga máxima Q (m ³ /seg)
2	0.37	0.52	1.06	-0.14	1,371.23
5	1.50	0.52	1.06	0.92	2,160.24
10	2.25	0.52	1.06	1.63	2,688.73
25	3.20	0.52	1.06	2.53	3,358.65
50	3.90	0.52	1.06	3.19	3,849.92
100	4.60	0.52	1.06	3.85	4,341.19
200	5.30	0.52	1.06	4.51	4,829.10
500	6.21	0.52	1.06	5.37	5,472.60

3.1.5 Aplicación del método de Log Pearson Tipo III.

El cálculo de las descargas máximas o caudales máximos, aplicando el método probabilístico de Log Pearson Tipo III, se realiza mediante la aplicación de la siguiente relación:

$$\text{Log } Q = \text{Log}_{\text{med}} Q + \sigma \text{Log } Q_{\text{max}} (K)$$

Log Q = Logaritmo del caudal máximo probable.

Log_{med}Q = Media de los logaritmos de la serie de caudales.

σLog Q_{max} = Desviación estándar de los logaritmos de la serie de caudales.

K = Factor de frecuencia definido por cada distribución.

a).- Ordenar el valor de las descargas máximas en orden descendente, es decir, del valor mayor al valor menor. Se prescinde del año.

DESCARGAS MAXIMAS INSTANTÁNEAS RIO MAYO ESTACIÓN: HLG SHANO, PERÍODO 1993 - 2012	
Nº	DESCARGA MÁXIMA M3/seg
1	3,670.985
2	2,499.697
3	2,362.560
4	2,012.717
5	2,000.106
6	1,838.016
7	1,701.316
8	1,467.747
9	1,271.321
10	1,197.9561
11	1,136.429
12	1,121.777
13	1,116.816
14	1,057.827
15	986.458
16	928.296
17	846.396
18	823.843
19	783.893
20	684.575
n = 20	

b).- Cálculo de los logaritmos de los valores de las descargas máximas.

En el siguiente Cuadro, se presentan los valores de los logaritmos correspondientes a los valores de las descargas máximas.

ORDEN (m)	AÑO	DESCARGA MAXIMA INSTANTANEA (m ³ /seg)	Log. Q
1	1997	3670.99	3.5648
2	1998	2499.70	3.3979
3	2007	2362.56	3.3734
4	1999	2012.72	3.3038
5	2008	2000.11	3.3011
6	2001	1838.02	3.2643
7	2000	1701.32	3.2308
8	2010	1467.75	3.1667
9	1996	1271.32	3.1043
10	2009	1197.96	3.0784
11	1995	1136.43	3.0555
12	1993	1121.78	3.0499
13	2012	1116.82	3.0480
14	2011	1057.83	3.0244
15	2003	986.46	2.9941
16	2005	928.30	2.9677
17	2002	846.40	2.9276
18	2006	823.84	2.9158
19	1994	783.89	2.8943
20	2004	684.58	2.8354
n=20		Σ Log Q=	62.4981

c).- Cálculo de La media de los logaritmos de la serie de caudales

$$\text{Log}_{\text{med}} Q = \frac{\Sigma \text{Log } Q}{n}$$

Donde:

Log_{med}Q : Media de los logaritmos de la serie de caudales.

Σ Log Q : Sumatoria de todos los valores de los logaritmos de las descargas máximas.

n : Numero de datos, o que es lo mismo al número de años de registro.

Se realiza el cálculo correspondiente:

62.4981

$$\text{Log}_{\text{med}} Q = \frac{\quad}{20} = 3.125$$

$$\underline{\text{Log}_{\text{med}} Q = 2.382}$$

d).- Se calcula la desviación estándar ($\sigma \text{Log } Q_{\text{max}}$) de los logaritmos correspondientes a los valores de descargas máximas.

Para el cálculo, se emplea la siguiente ecuación:

$$\sigma \text{Log } Q = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } Q_i - \text{Log}_{\text{med}} Q)^2}{n-1}}$$

Los valores de la ecuación anterior, se calculan en el siguiente Cuadro:

ORDEN (m)	AÑO	DESCARGA MAXIMA INSTANTANEA (m ³ /seg)	Log. Q	(Log Q-Log med Q) ²
1	1997	3670.99	3.5648	0.1934933591
2	1998	2499.70	3.3979	0.0745200238
3	2007	2362.56	3.3734	0.0617418320
4	1999	2012.72	3.3038	0.0319976628
5	2008	2000.11	3.3011	0.0310285418
6	2001	1838.02	3.2643	0.0194450414
7	2000	1701.32	3.2308	0.0112108236
8	2010	1467.75	3.1667	0.0017428447
9	1996	1271.32	3.1043	0.0004263642
10	2009	1197.96	3.0784	0.0021588050
11	1995	1136.43	3.0555	0.0048110179
12	1993	1121.78	3.0499	0.0056245917
13	2012	1116.82	3.0480	0.0059170221
14	2011	1057.83	3.0244	0.0100980716
15	2003	986.46	2.9941	0.0171152356
16	2005	928.30	2.9677	0.0247172890
17	2002	846.40	2.9276	0.0389392107
18	2006	823.84	2.9158	0.0437058133
19	1994	783.89	2.8943	0.0531980493
20	2004	684.58	2.8354	0.0838002766
n=20		Σ Log Q=	62.4981	0.71569187627

Dando valores, se tiene:

$$\sigma \text{Log } Q = \sqrt{\frac{0.71569187627}{19}}$$

$$\sigma \text{ Log Q} = 0.19408$$

e).- Se determina la ecuación de Log Pearson Tipo III.

Una vez obtenido el valor de la desviación estándar de los logaritmos, la ecuación de Log Pearson Tipo III, queda definida como:

$$\text{Log Q} = 3.125 + 0.19408 (K)$$

3.1.5.1 Cálculo de caudales máximos para diferentes períodos de retorno aplicando el método de Log Pearson tipo III.

Una vez determinada la Ecuación de Log Pearson Tipo III, para el cálculo de caudales máximos para diferentes períodos de retorno, solo basta calcular el valor de K llamado factor de frecuencia, cuyo valor depende directamente del período de retorno (Tr) y del Coeficiente de Asimetría (Ag).

a).- Cálculo del coeficiente de Asimetría (Cs).

El coeficiente de Asimetría (Cs), se calcula mediante la ecuación:

$$Cs = \frac{n \sum (\text{Log Q} - \text{Log}_{\text{med}} \text{Q})^3}{(n-1)(n-2)(\sigma \text{ Log Q}_{\text{max}})^3}$$

Donde:

Log_{med}Q : Media de los logaritmos de la serie de caudales.

Log Q : Valores de los logaritmos de las descargas máximas.

n : Numero de datos, o que es lo mismo al número de años de registro.

σLog Q_{max}: Desviación estándar de los logaritmos.

Los valores de la ecuación anterior, se calculan en el siguiente Cuadro:

ORDEN (m)	AÑO	DESCARGA MAXIMA INSTANTANEA (m3/seg)	Log. Q	(Log Q - Log _{med} Q) ²	(Log Q - Log _{med} Q) ³
1	1997	3670.99	3.5648	0.1934933591	0.085113626731
2	1998	2499.70	3.3979	0.0745200238	0.020342741356
3	2007	2362.56	3.3734	0.0617418320	0.015341550976
4	1999	2012.72	3.3038	0.0319976628	0.005723706894
5	2008	2000.11	3.3011	0.0310285418	0.005465652917
6	2001	1838.02	3.2643	0.0194450414	0.002711523095
7	2000	1701.32	3.2308	0.0112108236	0.001187015200
8	2010	1467.75	3.1667	0.0017428447	0.000072759222
9	1996	1271.32	3.1043	0.0004263642	-0.000008803819
10	2009	1197.96	3.0784	0.0021588050	-0.000100304433
11	1995	1136.43	3.0555	0.0048110179	-0.000333699427
12	1993	1121.78	3.0499	0.0056245917	-0.000421829069
13	2012	1116.82	3.0480	0.0059170221	-0.000455150253
14	2011	1057.83	3.0244	0.0100980716	-0.001014746750
15	2003	986.46	2.9941	0.0171152356	-0.002239104298
16	2005	928.30	2.9677	0.0247172890	-0.003885986182
17	2002	846.40	2.9276	0.0389392107	-0.007683882506
18	2006	823.84	2.9158	0.0437058133	-0.009137109064
19	1994	783.89	2.8943	0.0531980493	-0.012269971699
20	2004	684.58	2.8354	0.0838002766	-0.024258736569
n=20		Σ Log Q=	62.4981	0.71569187627	0.074149252320

Reemplazando valores en la ecuación, se tiene:

$$Cs = \frac{(20) (0.074149252320)^3}{(20-1) (20-2) (0.19408)^3}$$

$$\underline{Cs = 0.593}$$

b).- Cálculo del valor de K para diferentes períodos de retorno.

Con el valor de Asimetría (Cs) se determina el valor de K para diferentes períodos de retorno, siguiendo el siguiente procedimiento:

En la Tabla 2.6, en la primera columna que dice Coeficiente de Asimetría Cs, buscar el valor de 0.593, como no lo hay, es necesario interpolar este valor, que está comprendido en el valor valores de 0.5 y 0.6.

Luego, en la misma Tabla 2.6, en la primera y segunda fila, se encuentran representados los valores de diferentes períodos de retorno, 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años.

¿Cómo determinar los valores de K para diferentes períodos de retorno?

Se procede de la siguiente manera:

c).- Cálculo del valor de K para un período de retorno Tr de 2 años

Es necesario hacer la interpolación, para ello con el valor de 0.593 se busca la intersección con la columna que corresponde al período de retorno Tr de 2 años y se selecciona sus valores adyacentes, tanto el que corresponde al valor de asimetría de 0.6.

PARA K₂:

0.6	-0.099
0.593	X
0.5	-0.083

$$K_2 = -0.098$$

PARA K_5 :

0.6	0.8
0.593	X
0.5	0.808

$$K_5 = 0.801$$

PARA K_{10} :

0.6	1.328
0.593	X
0.5	1.323

$$K_{10} = 1.328$$

PARA K_{25} :

0.6	1.939
0.593	X
0.5	1.91

$$K_{25} = 1.937$$

PARA K_{50} :

0.6	2.359
0.593	X
0.5	2.311

$$K_{50} = 2.356$$

El mismo procedimiento se sigue para determinar los demás valores de K para diferentes períodos de retorno, tal como se presenta en el siguiente Cuadro:

Coeficiente de Asimetría Cs	PERÍODO DE RETORNO (Años)								
		2	5	10	25	50	100	200	500
0.6		- 0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132	3.609
0.593		- 0.098	0.801	1.328	1.937	2.356	2.750	3.126	3.601
0.5		- 0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041	3.487

Tabla 6*Coefficiente de Asimetría*

COEFICIENTE DE ASIMETRÍA C_s	PERIODO DE RETORNO (Años)							
	1.0101	2	5	10	25	50	100	200
	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA $P(y \geq y_t)$							
	0.99	0.50	0.20	0.10	0.04	0.02	0.01	0.005
3.0	-0.667	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970
2.9	-0.690	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.909
2.8	-0.714	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847
2.7	-0.740	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783
2.6	-0.769	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718
2.5	-0.799	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652
2.4	-0.832	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584
2.3	-0.867	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515
2.2	-0.905	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444
2.1	-0.946	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372
2.0	-0.990	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298
1.9	-1.037	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223
1.8	-1.087	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147
1.7	-1.140	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069
1.6	-1.197	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990
1.5	-1.256	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910
1.4	-1.318	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828
1.3	-1.383	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745
1.2	-1.449	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661
1.1	-1.518	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575
1.0	-1.588	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489
0.9	-1.660	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401
0.8	-1.733	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312
0.7	-1.806	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223
0.6	-1.880	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132
0.5	-1.955	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041
0.4	-2.029	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-2.104	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2.178	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2.252	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670
0	-2.326	0	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576

d).-Cálculo de descargas máximas para diferentes períodos de retorno

Una vez obtenido los valores de **K**, podemos realizar el cálculo de descargas máximas o caudales máximos (**Qmax**) esperados para los períodos de retorno **Tr** considerados, para ello es necesario utilizar la ecuación ya calculada.

$$\text{Log } Q = 3.125 + 0.19408 (K)$$

e).- Cálculo del caudal máximo para un período de retorno **Tr de 2 años**

$$\text{Log } Q_2 = 3.125 + 0.19408 (- 0.098)$$

$$\mathbf{\text{Log } Q_2 = 3.106}$$

Para calcular el valor del caudal máximo, se calcula el antilogaritmo y el valor obtenido corresponderá al caudal máximo o descarga máxima para un período de retorno de 2 años.

$$\mathbf{Q_{\max 2} = \text{Antilog } Q_2 = \text{Antilog } (3.106)}$$

Entonces:

$$\mathbf{\underline{Q_{\max 2} = 1,276.15 \text{ m}^3/\text{seg.}}}$$

f).- Cálculo del caudal máximo para un período de retorno T_r de 5 años

$$\mathbf{\text{Log } Q_5 = 3.125 + 0.19408 (0.801)}$$

$$\mathbf{\text{Log } Q_5 = 3.280}$$

Para calcular el valor del caudal máximo, se calcula el antilogaritmo y el valor obtenido corresponderá al caudal máximo o descarga máxima para un período de retorno de 5 años.

$$\mathbf{Q_{\max 5} = \text{Antilog } Q_5 = \text{Antilog } (3.280)}$$

Entonces:

$$\mathbf{\underline{Q_{\max 5} = 1,906.67 \text{ m}^3/\text{seg.}}}$$

g).- Cálculo del caudal máximo para un período de retorno T_r de 10 años

$$\mathbf{\text{Log } Q_{10} = 3.125 + 0.19408 (1.328)}$$

$$\mathbf{\text{Log } Q_{10} = 3.383}$$

Para calcular el valor del caudal máximo, se calcula el antilogaritmo y el valor obtenido corresponderá al caudal máximo o descarga máxima para un período de retorno de 10 años.

$$Q_{\max 10} = \text{Antilog } Q_{10} = \text{Antilog } (3.383)$$

Entonces:

$$\underline{Q_{\max 2} = 2,413.12 \text{ m}^3/\text{seg.}}$$

Continuando el mismo procedimiento, se calculan las descargas máximas para los demás períodos de retorno.

En el siguiente cuadro, presentamos los resultados de descargas máximas para diferentes periodos de retorno.

Período de retorno en años (Tr)	Valor de K	Descarga máxima Q (m ³ /seg)
2	-0.098	1,276.15
5	0.801	1,906.67
10	1.328	2,413.12
25	1.937	3,168.42
50	2.356	3,820.36
100	2.750	4,557.02
200	3.126	5,389.61
500	3.601	6,663.79

3.1.5.2 Análisis comparativo de valores de descargas máximas obtenidas mediante la aplicación de los métodos probabilísticos de Gumbell tipo I y Log Pearson tipo III.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

DESCARGAS MAXIMAS (m³/seg) RIO MAYO ESTACION HLG - SHANAO		
PERIODO DE RETORNO Tr EN AÑOS	METODO PROBABILITICO	
	GUMBEL TIPO I	LOG PEARSON TIPO III
2	1,371.23	1,276.15
5	2,160.24	1,906.67
10	2,688.73	2,413.12
25	3,358.65	3,168.42
50	3,849.92	3,820.36
100	4,341.19	4,557.02
200	4,829.10	5,389.61
500	5,472.60	6,663.79

Una vez obtenido los resultados, se hace un análisis comparativo de valores de descargas máximas. Se aprecia que para períodos de retorno comprendidos entre 2 y 100 años las diferencias de valores de descargas máximas son aceptables. Sin embargo para períodos mayores a 100 años ya la diferencia de valores es notable, por ejemplo para períodos de retorno comprendidos entre 200 y 500 años.

También, se debe tener en consideración que desde el punto de vista estadístico, la distribución Gumbell Tipo I se adecua bien para muestras que tengan como mínimo 20 datos y Log Pearson Tipo III para muestras mayores de 20 datos, se podría optar por el método de Gumbell Tipo I, sin embargo, se va a seleccionar el valor promedio obtenido por ambos métodos, tal como se presenta en el siguiente Cuadro:

DESCARGAS MAXIMAS (m³/seg) RIO MAYO ESTACION HLG - SHANAO			DESCARGA MÁXIMA (m³/seg)
PERIODO DE RETORNO Tr EN AÑOS	METODO PROBABILITICO		
	GUMBEL TIPO I	LOG PEARSON TIPO III	
2	1,371.23	1,276.15	1,323.70
5	2,160.24	1,906.67	2,033.50
10	2,688.73	2,413.12	2,550.90
25	3,358.65	3,168.42	3,263.50
50	3,849.92	3,820.36	3,835.10
100	4,341.19	4,557.02	4,449.10
200	4,829.10	5,389.61	5,109.40
500	5,472.60	6,663.79	6,068.20

A continuación, se presenta el Cuadro Resumen:

RIO MAYO ESTACIÓN HLG - SHANAO	
PERIODO DE RETORNO T_r EN AÑOS	DESCARGA MÁXIMA (m³/seg)
2	1,323.70
5	2,033.50
10	2,550.90
25	3,263.50
50	3,835.10
100	4,449.10
200	5,109.40
500	6,068.20

Los valores presentados en el Cuadro anterior corresponden a las descargas máximas esperadas en el río Mayo, Estación Shanao para diferentes períodos de retorno.

3.1.6 Cálculo de caudal de diseño para las obras de defensa ribereña.

El caudal de diseño para las obras de Defensa Ribereña en la margen izquierda del río Mayo, en la Localidad de Shanao, será calculado en función al período de retorno (T_r) seleccionado, para lo cual, se ha tenido en consideración que la Defensa Ribereña, conformada por espigones y muros de encauzamiento, es una estructura hidráulica que permitirá estabilizar el cauce del río en un tiempo relativamente corto. Sin embargo, la permanencia de las obras continuará, por lo tanto la vida útil (n) considerada es de 20 años y el riesgo de falla Hidrológico (R) asumido es del 20%.

3.1.6.1 Cálculo del Período de Retorno (T_r).

Conocidos la vida útil de la obra (Defensa Ribereña conformada por espigones para controlar la erosión y por un muro de encauzamiento contra inundaciones), así como el riesgo hidrológico o riesgo de falla, se ha procedido el cálculo del período de retorno:

$$R = 0.20 \text{ (Nivel de seguridad 80\%).}$$

$$n = 20 \text{ años.}$$

Luego:

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

Dónde:

R = Riesgo de falla hidrológico permitido.

Tr = Período de retorno en años.

n = Vida útil de la estructura.

Reemplazando valores, tenemos:

$$0.20 = 1 - (1 - 1/Tr)^{20}$$

Hechos los cálculos respectivos, se tiene que:

Tr = 90.12 años.

Este valor se ajusta a 100.

Por lo tanto:

Tr = 100 años.

3.1.7 Caudal de diseño para las obras de Defensa Ribereña.

Luego, el caudal de diseño para las obras de defensa ribereña en el río Mayo, será el que corresponde a un período de retorno de 100 años tal como se puede apreciar en el Cuadro siguiente:

Cuadro 4

Cálculo del caudal de diseño

RIO MAYO ESTACIÓN HLG - SHANAO	
PERIODO DE RETORNO Tr EN AÑOS	DESCARGA MÁXIMA (m³/seg)
2	1,323.70
5	2,033.50
10	2,550.90
25	3,263.50
50	3,835.10
100	4,449.10
200	5,109.40
500	6,068.20

Por lo tanto, el Caudal de diseño para las obras de defensa ribereña en el río Cumbaza, en la localidad de Cumbaza es **4,449.10 m³/seg**,

3.2 Diseño hidraulico

3.2.1 Ubicación de las obras de defensa ribereña.

El lugar de ubicación para el emplazamiento de las obras de defensa ribereña, es el cauce del río Mayo, margen izquierda, que en la actualidad está sometido a un severo proceso de erosión e inundación, con la pérdida de terrenos ribereños de alto valor económico. El tramo de estudio está conformado por una curva ligeramente cóncava que presenta una longitud media de 1,200 metros y se ubica exactamente la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas N°1 y la Planta de Tratamiento N°2, ambas construidas en la margen izquierda del río Mayo. Las obras de defensa ribereña se emplazarán en este lugar y tendrán como objetivo mitigar el efecto de erosión, así como de inundación producida por el desbordamiento de las aguas en época de avenidas. El área no presenta limitaciones para el desarrollo de los trabajos pues es un área ligeramente ondulada y plana y presenta vías de acceso muy cercanas a ellas, así mismo, se cuenta con canteras de materiales ubicadas en puntos cercanos al lugar de las futuras obras.

3.2.2 Comportamiento hidráulico del río, en el tramo de interés.

En el tramo de interés, el comportamiento hidráulico del río Mayo, corresponde a flujo súper crítico, con una velocidad promedio de flujo de 4.511 m/seg, que corresponde al caudal de máxima avenida, dado su alto valor, ocasiona el arrastre de partículas de suelo que conforman tanto el talud, así como el lecho del cauce del río originando la erosión de la ribera y la consiguiente pérdida de terreno, por lo que resulta necesario proyectar obras para el control de la erosión.

Por otro lado, resulta que a consecuencia de que el área que conforma la ribera del río presenta una baja altura respecto al fondo del cauce, esta resulta insuficiente para transportar el caudal en época de avenidas, produciéndose el desbordamiento de las aguas ocasionando la inundación del área ribereña, por lo que será también necesario proyectar obras para el control de inundaciones.

3.2.3 Pendiente del cauce en el tramo de interés.

Teniendo en consideración el Estudio Topográfico – Plano PT del río Mayo en el Tramo de Interés, se han realizado los cálculos correspondientes de las curvas de nivel del lecho del río y aplicando el método de Taylor Schwarz, se ha obtenido el valor de la pendiente S.

El valor de la pendiente ha sido obtenido de la siguiente manera:

$$S = \left[\frac{m}{\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Donde:

m = Número de tramos del cauce en la zona de interés.

$m = 3$

S_1, S_2, \dots, S_n = Pendiente que corresponde a cada tramo.

Reemplazando valores según la fórmula, se tiene:

TRAMO	COTA (msnm)		DISTANCIA (m)	PENDIENTE (Si)	\sqrt{Si}	$1/\sqrt{Si}$
	SUPERIOR	INFERIOR				
1	274	273	300	0.003333333	0.057735	17.3205
2	273	272.5	140	0.003571429	0.059761	16.7332
3	272.5	272	45	0.011111111	0.105409	9.4868
					TOTAL=	43.5405

$$S = 0.00475$$

3.2.4 Rugosidad del cauce en el tramo de interés.

Es valor de la rugosidad de Manning, que se ha obtenido levantando la información de campo y desarrollando el Método de Cowan, el cual relaciona la sinuosidad del cauce, la pendiente, el tipo de material, la cobertura vegetal así como las obstrucciones que pudieran presentarse en el cauce.

El valor de “n”, se ha obtenido en base a los siguientes cálculos:

Cuadro 5

Cálculo del valor de la rugosidad según el método de Cowan

CONDICION DEL CAUCE	SIMBOLO	VALOR
<i>Material : Grava fina y gruesa</i>	no	0.026
<i>Irregularidad: Liso</i>	n1	0.000
<i>Variación de la sección Transversal: Ocasionalmente alternante</i>	n2	0.005
<i>Efecto relativo de obstrucciones: Despreciable.</i>	n3	0.000
<i>Vegetación: Baja.</i>	n4	0.007
<i>Presencia de meandros: Menor.</i>	n5	1.00

Desarrollando el método se tiene:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) n_5$$

Reemplazando valores, se tiene:

$$\underline{n = 0.038}$$

3.2.5 Ancho de la sección estable del río Mayo en el tramo de interés.

Si se tiene en consideración que el ancho estable de un río es aquel que permite la circulación del caudal máximo sin causar erosión ni sedimentación, es decir es una condición de equilibrio hidráulico en el curso de agua, entonces, resulta conveniente que estas condiciones sucedan cuando el caudal pasa a través de una estructura hidráulica cualquiera, con la finalidad de garantizar su estabilidad y sostenibilidad a través del tiempo. Por lo tanto, conocer el ancho estable de un cauce, nos permite proponer el dimensionamiento hidráulico o establecer las medidas de cada una de estas estructuras.

En el presente proyecto, se considera construir estructuras (espigones) fuera del cauce del río Mayo, por lo que es necesario calcular el ancho estable con la finalidad de poder determinar los posibles efectos de erosión o sedimentación en el tramo de interés del cauce del río que se pudieran presentar, para ello es necesario conocer el valor estimado del caudal de diseño que circulará por el cauce en época de máximas avenidas, así como también el valor de los resultados obtenidos en el estudio de Mecánica de suelos (laboratorio de ensayo de materiales – análisis granulométrico) realizado por tal fin, específicamente en lo que respecta a la granulometría media, es decir, el valor del diámetro medio (d_{50}) del material que conforma tanto el talud y lecho en el tramo del brazo del río que se va a proteger con las obras de defensa ribereña.

El ancho estable en los cursos de agua se puede determinar a través de dos métodos muy conocidos y utilizados en los estudios hidráulicos para defensas ribereñas, puentes, etc, y son: La Teoría del Régimen estable de Blench – Altunin y el método de Símons y Henderson, estos métodos ya han sido utilizados en el estudio de varios puentes construidos en la región San Martín (Puente Chaquishca en Juanjuí, puente Belén en Shunté, puente Pelejo, puente Yanayacu en la provincia de Alto Amazonas, etc), así como en defensas ribereñas conformadas por espigones como son Huicungo y

Pachiza en el río Huayabamba, Campanilla, Juanjuí, Bellavista, San Hilarión, Puerto Rico y Shapaja en el río Huallaga, con muy buenos resultados de operatividad hidráulica.

3.2.6 Cálculo del ancho estable en el tramo de interés, aplicando el método de Blench – Altunin.

El método, se sustenta en la presente relación:

$$B = 1.81 \left(\frac{(Q_{\max}) F_b}{F_s} \right)^{1/2}$$

Donde:

Q_{\max} = representa el caudal o avenida de diseño en m^3/seg , para el período de retorno y riesgo de falla considerada (100 años).

F_b = Factor de fondo.

F_s = Factor de orilla.

B = Ancho estable en m.

3.2.6.1 Cálculo del Factor de orilla (F_s)

F_s = Se obtiene su valor según el tipo de material que conforma el cauce (barro, material muy cohesivo, arena gruesa) y su valor oscila entre 0.10 y 0.30. Es adimensional.

El valor del factor de orilla F_s , está en función del tipo de orilla, para el caso del cauce del río Mayo en el tramo de interés, que presenta material de arena fina y algo cohesivo el valor de F_s es de 0.30

3.2.6.2 Cálculo del Factor de Fondo (F_b)

$$F_b = F_{bo} (1 + 0.12C)$$

Dónde:

C = Concentración de material de fondo igual a 0.05

Pero:

$$F_{b0} = (D_{50})^{1/3}$$

Para la aplicación del método de Blench Altunin, el valor de F_s es igual a 0.30 y el valor de F_b , está en función al diámetro medio del material que conforma el cauce del río y se ha tomado de la curva granulométrica (ver Estudio de Mecánica de Suelos) de cada una de las calicatas excavadas en las proximidades del talud de la margen izquierda del río en el tramo de interés y según se puede apreciar en el Plano UC (Plano de ubicación de Calicatas).

De los resultados obtenidos del ensayo de materiales en el laboratorio, los valores de (D_{50}) en muestras obtenidas en cada una de las tres trincheras excavadas en el talud de la margen izquierda del río en el tramo de interés, son los siguientes:

En la Calicata C-1 : $(D_{50}) = 1.50\text{mm}$

En la Calicata C-2 : $(D_{50}) = 1.60\text{mm}$.

En la Calicata C-3 : $(D_{50}) = 1.49\text{mm}$.

En la Calicata C-4 : $(D_{50}) = 1.60\text{mm}$.

Según los resultados del Estudio de Mecánica de suelos, se tiene:

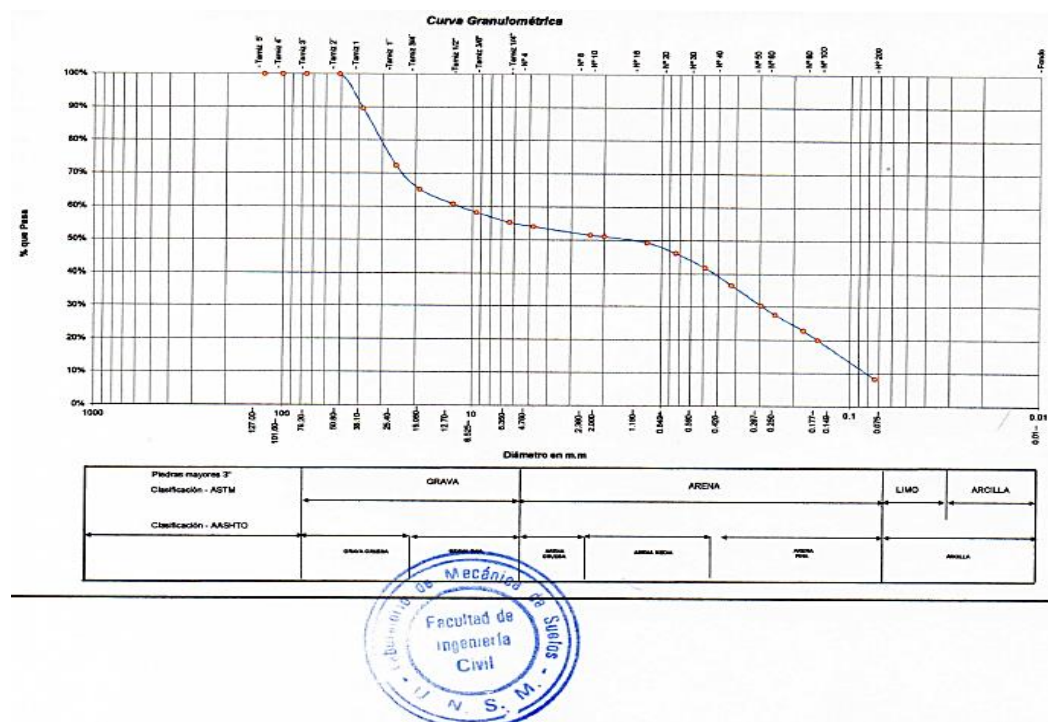


Figura 15: Curva granulométrica, talud margen izquierda río Mayo

Se ha calculado el valor de **B** para la condición extrema, es decir para valores de (D_{50}) igual a 1.49mm.

a).- Cálculo de F_b cuando (D_{50}) = 1.49 mm

Con el valor de D_{50} , se calcula el valor de F_b aplicando la formula presentada líneas arriba:

$$F_b = F_{b0} (1 + 0.12C)$$

Pero.

$$F_{b0} = (D_{50})^{1/3} = (1.00)^{1/3} = 1.12$$

Por lo tanto:

$$F_b = 1.12 (1 + 0.12 \times 0.05)$$

Luego:

$$F_b = 1.126$$

$$\underline{F_b = 1.126}$$

Aplicando la fórmula, el ancho estable (B) será:

$$B = 1.81 \left(\frac{Q_{max}}{F_s} F_b^{1/2} \right)$$

F_s

Dónde:

$Q_{max} = 4,446.10 \text{ m}^3/\text{seg}$, para el período de retorno considerado (100 años), por tratarse de una obra de defensa ribereña.

$$F_b = 1.126$$

$$F_s = 0.30$$

De donde:

$$B = 233.90 \text{ m}$$

$$\underline{B = 234.00 \text{ m}}$$

b.- Cálculo de la sección estable: Simons y Henderson.

Para el cálculo, se aplica la siguiente relación:

$$B = K_1 (Q)^{1/2}$$

Donde:

$K_1 = 2.8$ (Condiciones de fondo de arena y orillas de material no cohesivo en el talud y lecho del río Huallaga).

Por lo tanto:

$$B = 2.8 (4.446.10)^{1/2}$$

$$\underline{B = 187.00m.}$$

En base a los cálculos efectuados, aplicando los dos métodos para el cauce del río Mayo, elegimos como ancho de la sección estable o de equilibrio hidráulico, el valor promedio obtenido por ambos métodos tal como detallamos a continuación:

Cuadro 6

Cálculo del ancho estable

Método	Sección estable calculada (m)	Sección estable adoptada (m).
Blench - Altunin	234.00	
Símons – Henderson	187.00	
		210.00

3.2.6.3 Profundidad de socavación general, local y total

La profundidad de socavación, es necesaria calcularla de tal manera que los valores obtenidos nos permitan dimensionar la pantalla antisocavante para la protección de las obras de defensa ribereña.

En el presente estudio, se hará el cálculo de la profundidad de socavación, en el cauce del río Mayo, de tal manera que permita diseñar y dimensionar los espigones según su ubicación en el cauce a lo largo del tramo de interés

Profundidad de socavación general

Para el cálculo de la socavación general, se ha considerado que el método propuesto por List Van Lebediev, que se ajusta a las características morfológicas e hidráulicas del río Mayo, teniendo en consideración obras ya construidas en ríos de la región San Martín y que en la actualidad se encuentran en condiciones óptimas de operatividad hidráulica.

El modelo a utilizar es el siguiente:

$$Y_s = \frac{a \times Y^{5/3}}{0.68 \times D_m^{0.28} \times b} \left| \frac{1}{(1 + x)} \right.$$

Y_s : Profundidad a la que se ubica la Socavación, desde la superficie de agua hasta el fondo del cauce.

$D_m = D_{50}$ para la condición extrema superior en el cauce

$D_m = 1.18 \text{ mm}$

b = Coeficiente de frecuencia con que se repite la avenida.

Cauce del río Mayo, Sector Shanao:

a. Cálculo del valor de "a"

a = Coeficiente de sección de pendiente

Proceso de cálculo

Sabemos que: $Q_d = (AR^{2/3} \cdot S^{1/2})/n$

Q_d = Caudal de diseño

A = Area hidráulica

R = Radio Hidráulico

S = pendiente hidráulica.

n = coeficiente de rugosidad de manning

Por lo tanto:

$$(Q_d / AR^{2/3}) = (S^{1/2})/n = a$$

Luego:

Si $S = 0.00475$ y $n = 0.038$, entonces:

$$\mathbf{a = 1.81}$$

b. Cálculo del valor de Y.

Aplicando la fórmula de Manning, se calcula el valor del tirante de agua que corresponde al caudal de diseño ($4,449.10\text{m}^3/\text{seg}$).

$$Q_d = \text{Caudal de diseño} = 4,449.10\text{m}^3/\text{seg}.$$

$$S = \text{pendiente hidráulica} = 0.00475$$

$$n = \text{coeficiente de rugosidad de Manning} = 0.038$$

$$z = \text{talud medio del cauce} = 1$$

$$B = \text{ancho natural del cauce} = 300 \text{ m}.$$

Desarrollando los cálculos se tiene que:

$$\mathbf{Y = 4.041\text{m}}$$

Lugar: Río Mayo	Proyecto: Def. Ribereña Shanao	Calculadora
Tramo: Localidad Shanao	Revestimiento: Cauce Natural	
Datos:		
Caudal (Q):	4449.1	m ³ /s
Ancho de solera (b):	240	m
Talud (Z):	1	
Rugosidad (n):	0.038	
Pendiente (S):	0.00475	m/m
Resultados:		
Tirante normal (y):	4.0414	m
Área hidráulica (A):	986.263	m ²
Espejo de agua (T):	248.082	m
Número de Froude (F):	0.7223	
Tipo de flujo:	Subcrítico	
Perímetro (p):	251.430	m
Radio hidráulico (R):	3.9226	m
Velocidad (v):	4.5111	m/s
Energía específica (E):	5.0786	m-Kg/Kg
Cuidado velocidad erosiva		

Figura 16: Aplicación software Hcanales

c. Cálculo de la Profundidad de Socavación (H_s)

$$Y_s = \left| \frac{1.81 \times (4.041)^{5/3}}{0.68 \times (1.40)^{0.28} \times 1.00} \right|^{0.70} = 9.786\text{m}$$

El valor de D₅₀ es equivalente a 1.40mm, según los resultados del estudio de suelos de muestras obtenidas en las calicatas excavadas en la ribera del río muy próximo al talud y cauce del río Mayo en el tramo de interés, tal como se presenta en la siguiente imagen.

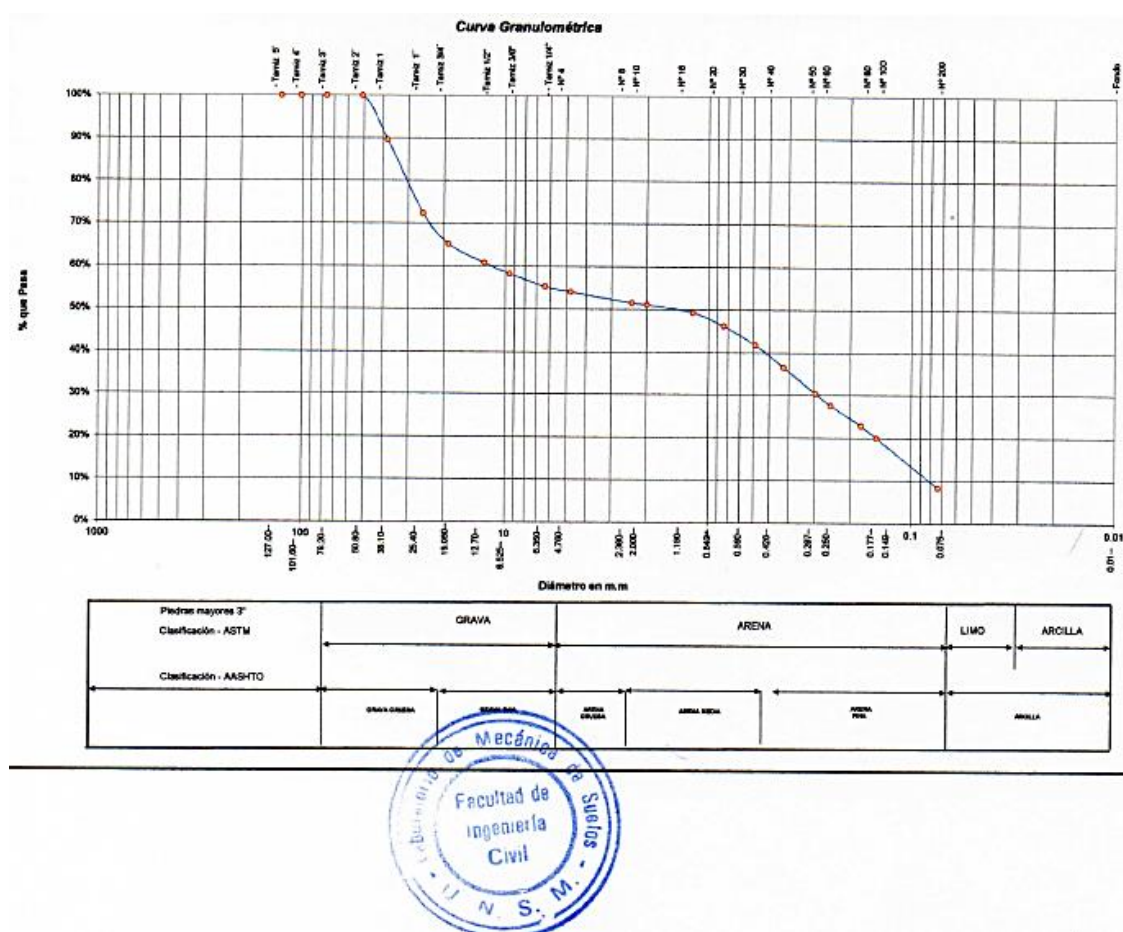


Figura 15. Curva granulométrica, talud margen Izquierda río Mayo

Luego; la profundidad de socavación general será:

$$H_s = Y_s - Y = 9.786 \text{ m} - 4.041 \text{ m} = 5.745 \text{ m}$$

$$\underline{H_s = 5.75 \text{ m}}$$

Profundidad de socavación local.

La socavación local del cauce de un río, se origina cuando las condiciones físicas e hidráulicas del río han sido o son alteradas como consecuencia de la instalación de alguna estructura sobre el lecho del mismo.

Si se tiene en consideración que las obras de defensa ribereña a construirse en el lecho del río Mayo margen izquierda estarán conformadas por espigones, de hecho que se producirá una socavación local con mayor incidencia en el morro o cabeza terminal sobre todo del primer espigón el cual orientará la nueva dirección principal del flujo de agua, en los demás espigones ubicados hacia aguas abajo, los efectos de socavación local serán menores siempre y cuando el emplazamiento de cada cabezal terminal del espigón determinen una futura línea de estabilización de cauce de geometría regular con un cierto grado de hidraulicidad que deberán tenerse en consideración durante la elaboración del planteamiento hidráulico del proyecto.

La socavación local, será calculada aplicando el método de Artamanov, que se presenta a continuación:

$$Zl = Pa.Pq.Pr.Ho$$

Dónde:

Zl: Socavación total al pie del muro

Ho: Tirante medio del agua en m.

Sl: Profundidad de socavación local al pie del muro

$$Sl = Zl - Ho$$

Pa: Factor que depende del ángulo que forma la corriente de agua con el eje del muro.

Pq: Factor que depende de la relación del caudal total al caudal interceptado por el muro.

Pr: Factor que depende del ángulo que tiene la cara del muro que da hacia la corriente, $z=0$.

Dando valores, se tiene que:

Para el caudal de diseño, se tiene un tirante medio de agua que corresponde al caudal de diseño es de 4.041 m

$H_o = 2.70$ m (para un ancho natural del cauce de 240m en el eje del espigón)

$P_a = 1.00$ (ángulo de 90°)

$P_q = 2.00$ (ya $Q_1/Q_2 = 0.13$)

$P_r = 1.00$ (talud $z=0$)

Realizando los cálculos, resulta que:

$$ZL = (1.00)(2.00)(1.00)(2.70) = 5.40\text{m}$$

Por lo tanto: $S_l = ZL - H_o$

$$S_l = 5.75 - 2.70 = 3.05 \text{ m}$$

$S_l = 3.05 \text{ m}$

Es el valor de la socavación local

Profundidad de socavación total.

La profundidad de socavación total queda definida como:

Cuadro 7

Cálculo de socavación total

Tipo de socavación	Método	Caudal (m ³ /seg)	Periodo de retorno (años)	Valor de la socavación (m)
Socavación general	List Van Lebediev	4,449.10	100	5.75
Socavación local	Artamanov	4,449.10	100	3.05
Socavación total				8.80

Para el caso de estructuras conformadas por espigones (dentro del cauce), se recomienda asumir un valor entre 1.00 a 1.20 el valor de la socavación local, por lo tanto, se tendrá un valor de H_s igual comprendido entre los 8.80 m y 10.60 m.

De acuerdo al resultados obtenidos, y por facilidad de procedimiento constructivo (ya que en el cauce del río Mayo no se podrán hacer obras de desvío de agua para construir una pantalla antisocavante), se debe considerar en el extremo final de cada espigón en la cara que da a la corriente un derrame desde el extremo final de la corona hasta el fondo del cauce con talud $z = 2$, de tal manera que éste haga la función de pantalla antisocavante y además, se deberá recubrir el núcleo del espigón en su totalidad con gaviones tipo colchón.

Nivel máximo NAME que corresponde al caudal de diseño

Para el cálculo del NAME que corresponde al caudal de diseño, se ha tenido en consideración el valor medio de la cota del fondo del río (Configuración morfológica del cauce en el tramo de interés), a este valor se le ha sumado el valor del tirante de agua, obteniéndose así el valor del NAME.

$$\text{NAME} = \text{Cota de cauce} + \text{Tirante de agua}$$

$$\text{NAME} = 278.750 + 4.041$$

$$\text{NAME} = \mathbf{282.781 \text{ msnm}}$$

Por lo tanto el NAME que corresponde al caudal de diseño es de 282.781msnm.

3.3 Diseño estructural

3.3.1 Planteamiento hidráulico.

Para el diseño de Espigones, se ha tenido en consideración los resultados de los Estudios Básicos de Ingeniería realizados para tal fin, así como la aplicación de experiencias obtenidas en obras similares construidas en la región san Martín. Se ha realizado el cálculo hidráulico y estructural para la condición más crítica y para el caudal de diseño seleccionado y que transitará por el cauce del río Mayo.

Los Espigones Deflectores, son estructuras flexibles, en forma de pantallas, en los cuales, uno de sus extremos va anclado o empotrado en la ribera del curso de agua, en este caso el río Mayo, interponiéndose a las líneas de corriente de agua que se “pegan” al talud del cauce. La función principal del espigón dentro del esquema del planteamiento hidráulico del proyecto, es alejar las líneas de corriente de la orilla del río hacia el centro del cauce, evitando que las partículas del suelo que conforman el talud puedan ser erosionadas y arrastradas hacia aguas abajo.

El diseño hidráulico, comprende la geometría de la estructura, así como el pre dimensionamiento de cada uno de sus componentes. Una vez diseñada la sección transversal de los espigones (sección trapezoidal en este caso).

Los cálculos estructurales correspondientes se han basado en la comprobación de la estabilidad del espigón que consiste en:

- a) Estabilidad al vuelco

- b) Estabilidad al deslizamiento
- c) Capacidad de soporte del suelo

Tanto el cálculo hidráulico como estructural, han sido realizados para la sección del espigón más representativa y para la condición hidráulica de la avenida de diseño (condición más desfavorable), según se muestra en el Gráfico siguiente:

Gráfico para la verificación de la estabilidad del espigón durante la avenida de diseño

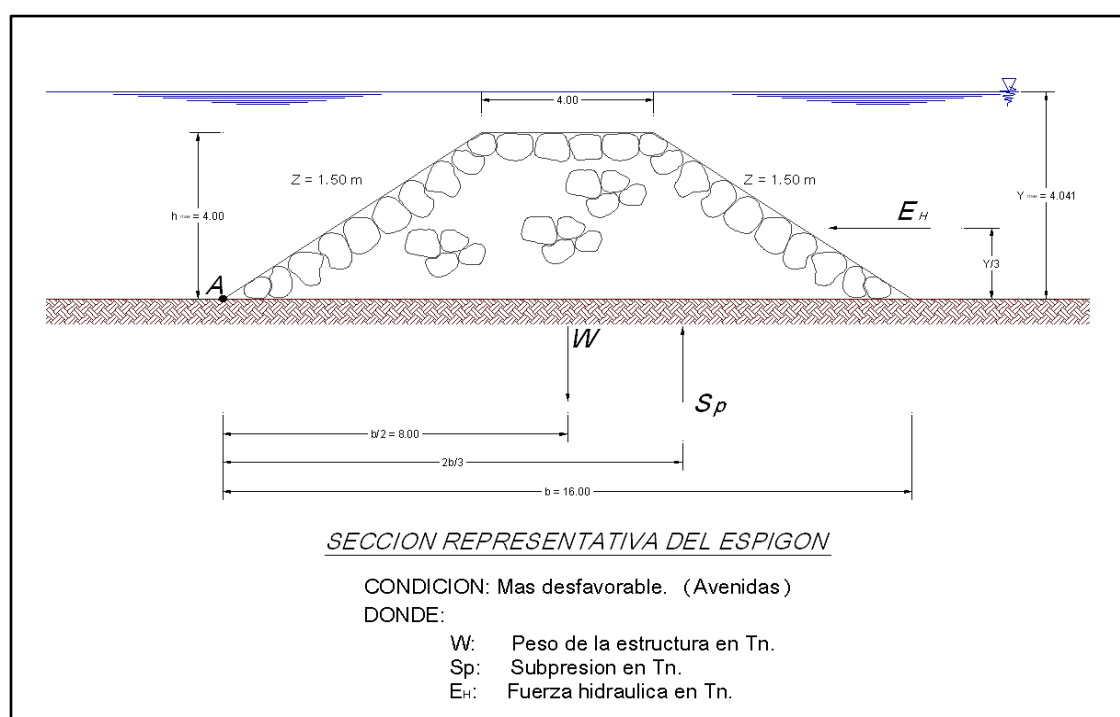


Figura 17. Gráfico para la evaluación de espigon

a) Estabilidad al Vuelco (Ev).

Para que el espigón no sufra un vuelco accionado por la fuerza hidráulica que actúa sobre él, se debe cumplir la siguiente relación:

$$E_v = M_r/M_v > 1.30$$

Dónde:

Ev = Estabilidad al vuelco

Mr = Momento Resistente

Mv = Momento Volcador

Cálculo de Mv

$$Mv = (EH) \left(\frac{1}{3} y \right) + Sp \left(\frac{2}{3} x b \right)$$

$$EH = \frac{1}{2} (\gamma a) (Y)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1 \text{ Tn}}{\text{m}^3} \right) (4.041)^2$$

$$\mathbf{EH = 8.16Tn}$$

$$Sp = \left(\frac{1}{2} \gamma a \right) (y \times b)$$

$$Sp = \left(\frac{1}{2} \times 1 \text{Tn} \right) (4.041 \times 16.00)$$

$$\mathbf{Sp = 32.33 Tn}$$

Luego:

$$Mv = \left(\frac{1}{3} \times 8.16 \text{Tn} \right) (4.041 \text{m}) + (32.33 \text{Tn}) \left(\frac{2}{3} \times 16.00 \text{m} \right)$$

$$Mv = 10.99 + 344.85 = 355.84 \text{ Tn-m}$$

Por lo tanto :

$$M_v = 355.84 \text{ Tn}$$

Cálculo de M_r

$$M_r = W \cdot \left(\frac{b}{2} \right)$$

Nota: Se considera un porcentaje de vacíos similar a: 15%.

$$W = (A) (Y_r) = Y_r = \text{peso específico roca} = 2.67 \text{ Tn/m}^3 (*)$$

(*) = Obtenido del Ensayo de materiales. Ver Estudio Mecánica de suelos).

Nota: Roca tipo sedimentaria extraída de la Cantera "Cerro Chumbakiwi".

$$W = (40.00) (2.67 \text{ Tn}) = 90.80 \text{ Tn}$$

Luego :

$$M_r = (90.80 \text{ Tn}) \times \left(\frac{16.00}{2} \right) = 726.40 \text{ Tn}$$

$$M_r = 726.40 \text{ Tn}$$

Por lo tanto :

$$M_v = 355.84 \text{ Tn}$$

$$M_r = 726.40 \text{ Tn}$$

Luego :

$$M_r = 726.40 \text{ Tn}$$

$$M_v = 355.84 \text{ Tn}$$

$$(M_r / M_v) = 2.04 > 1.30$$

Conclusión : El espigón es estable al volcamiento.

b) Estabilidad al Deslizamiento (Ed.)

Para que el espigón no se deslice, debe cumplir la siguiente relación:

$$Ed = \frac{\sum V \cdot \text{tang } \emptyset}{\sum H} > 1.30$$

$\emptyset =$ Angulo de fricción interna de la roca

$\emptyset = 34^\circ$ (roca Sedimentaria – Ensayo de materiales. Ver Estudio Mecánica de Suelos).

Cálculo de Σv : (fuerzas verticales)

$$\Sigma Ev = W - Sp = 90.80 \text{ Tn} - 32.33 \text{ Tn} = 58.47 \text{ Tn}$$

Cálculo de ΣH : (fuerzas horizontales)

$$\Sigma H = EH = 8.16 \text{ Tn}$$

Luego :

$$Ed = \frac{58.47 \text{ Tang } 34^\circ}{8.16} = 4.83$$

$$8.16$$

$$Ed = 4.83 > 1.30$$

Conclusión: El espigón es estable al deslizamiento.

c) Capacidad de Soporte del Suelo (σ)

Se calcula la capacidad de carga transmitida por la estructura al suelo de fundación y ésta debe ser menor que la capacidad admisible del suelo (tensión de trabajo).

$$\sigma = \frac{\Sigma V.}{b} \left(1 \pm \frac{6.e}{b} \right)$$

$$e = \frac{(Mr - Mv)}{\Sigma V} = \frac{(726.40Tn - 355.84Tn)}{58.47Tn} = 6.33$$

e = 6.33

$$\sigma = \left(\frac{58.47 Tn}{16.00 m} \right) \times \left(1 \pm \frac{6 \times 6.33}{16.00 m} \right)$$

$$\sigma = (3.65) \frac{Tn}{m} \times (1 \pm 2.37) = 8.60 \frac{Tn}{m^2}$$

$$\sigma = 12.30 \frac{Tn}{m^2}$$

Que es lo mismo a:

$$\sigma = 1.23 \text{ Kg/cm}^2$$

$\sigma = 1.23 \text{ Kg/cm}^2$

Si se tiene en consideración que el lecho del río Mayo que será el suelo de fundación donde se emplazará el espigón está conformado por arena gruesa,

gravas y canto rodado, según el estudio de Mecánica de suelos, la capacidad del suelo de fundación (σ_s) es de 1.61 Kg/cm², entonces para la condición más desfavorable del suelo, se asume:

$$\sigma_s = 1.61 \text{ Kg/cm}^2$$

Hecho el análisis correspondiente, el suelo de fundación tiene mayor capacidad de soporte ($\sigma_s = 1.61 \text{ Kg/cm}^2$) a la transmitida por el peso de la estructura ($\sigma = 1.23 \text{ Kg/cm}^2$).

Conclusión:

El espigón no estará expuesto al efecto del punzonamiento o hundimiento

Cálculo del Tamaño de Roca para el núcleo de los espigones.

El tamaño de la roca, lo calculamos en función al diámetro, para lo cual utilizamos la siguiente relación:

$$F = \sqrt{\frac{1 - \text{sen}^2 \alpha}{\text{sen}^2 \phi}}$$

Dónde:

α = ángulo de talud de espigón

ϕ = ángulo de fricción del material o roca

$\alpha = 33.70^\circ$ ($z = 1.5$)

$\phi = 34^\circ$. Estudio Mecánica de suelos y rocas.

Remplazando valores:

$$F = 1.193$$

Luego calculamos la densidad relativa de la roca:

$$\Delta = \frac{Y_r - Y_a}{Y_a}$$

Remplazando valores:

$$\Delta = 1.67 \text{Tn/m}^3$$

Luego, calculamos el diámetro medio del material (roca).

$$D_{50} = \frac{b}{\Delta} \times \frac{V^2}{2g} \times \frac{1}{F}$$

*Donde: $b = 1.40$

*(Factor para condiciones de mucha turbulencia y sin que permita el movimiento de la roca en época de creciente)

$V = 4.511 \text{ m/seg.}$ (Ver Estudio Hidrológico e Hidráulico)

Remplazando valores:

$$D_{50} = 0.73 \text{ m.}$$

Luego, calculamos la probabilidad de que se mueva una roca con el diámetro medio obtenido, para lo cual utilizamos la fórmula para el cálculo de Estabilidad:

$$n = 0.56 \left(\frac{V^2}{2g \times \Delta \times D_{50}} \right)$$

Remplazando valores:

$$n = 0.56 \left(\frac{4.511^2}{19.6 \times 1.67 \times 0.73} \right)$$

n = 0.48

Luego :

$$\frac{\tau_c}{\tau} = \frac{1}{n} = \frac{1}{0.48} = 2.08 > 0.99$$

Lo cual demuestra que existe seguridad y además que las estructuras con los taludes y el diseño propuestos, son estables.

Para dar mayor seguridad a la estabilidad de la estructura y facilidad durante el proceso constructivo, se ha considerado que el diámetro medio (D_{50}) de la roca a utilizar en la conformación del cuerpo de los espigones sea de 1.00 m. Además, el cuerpo de cada uno de los ocho (08) espigones en toda su longitud, incluyendo la longitud de anclaje, deberá ser recubierto con gavión tipo colchón de 0.30 m. de espesor, relleno con piedra de río, con la finalidad de conservar la geometría del cuerpo del espigón, así como, para protegerlo del deterioro que pudiera sufrir al soportar el paso del tránsito de palizadas en época de avenidas ya que éstos funcionarán sumergidos, además, el recubrimiento con gaviones le dará confinamiento al cuerpo del espigón, mejorando su función estructural.

3.4. Discusión de resultados

Análisis e interpretación de los resultados

El estudio hidrológico se desarrolló con datos del SENAMHI para poder calcular el caudal máximo a si calcula el tirante de la defensa ribereña.

El estudio hidráulico indica que la cuenca tiene una pendiente muy alta que esto es motivo de inundaciones, ya que no se puede tomar precauciones para esta.

La defensa ribereña que se utilizara en esta tesis es el uso de espigones con material granular. Asimismo las dimensiones usadas de los gaviones serán de 5.00x2.00x0.30, con material granular TIPO G-3;

El espigón deflector cumple con las especificaciones de suelo que tiene el área de trabajo.

3.5. Contrastación de hipótesis

Con la elaboración del cálculo de diseño hidráulico y estructural de obras de protección frente a inundaciones en la Localidad de Shanao, si se puede dar seguridad a la población en época de máximas avenidas en el río Mayo.

CONCLUSIONES

- Para la elaboración del presente proyecto se contó con los estudios básicos como: la topografía (áreas, ubicación), la hidrología (ocurrencia, ciclo hidrológico) y la mecánica de suelos (análisis granulométrico)
- Desde el punto de vista hidrológico, la cuenca colectora del río Mayo (hasta el punto de interés), tiene sus nacientes en la zona del alto mayo, desde la localidad de Aguas Claras. Tiene una longitud de 307.50 km y una altura que oscila entre los 1,800 y 275.00 m.s.n.m, en el tramo que comprende la cuenca colectora, es decir, hasta la localidad de Shanao.
- La pendiente media del río Mayo en el tramo de interés es de **s = 0.005**.
- Existe la información pluviométrica registrada durante el período 1993 - 2012 en la Estación Shanao, de propiedad y bajo la operación del SENAMHI, se puede apreciar que en el área del proyecto, existen debidamente marcadas tres estaciones climáticas, dos húmedas y otra ligeramente seca, las primeras durante los meses de Setiembre – Diciembre y de Febrero – Mayo, y la tercera durante los meses de Junio a Agosto, inclusive el mes de Enero. Las láminas anuales de precipitación durante este período de registro (Tal como se presenta en el Cuadro N° 02, PAG 74), van desde los 993.60 mm hasta los 1,339.10 mm, con una lámina promedio del período que asciende a los 1,194.04 mm anuales.
- Para el desarrollo del presente estudio, al existir información hidrométrica se han aplicado para el cálculo de avenidas máximas métodos probabilísticos conocidos como son el Método de Gumbell Tipo I y el método de Log Pearson Tipo III.
- Los resultados obtenidos mediante la aplicación de ambos métodos, son los siguientes:

DESCARGAS MAXIMAS (m³/seg) RIO MAYO ESTACION HLG - SHANAO		
PERIODO DE RETORNO Tr EN AÑOS	METODO PROBABILITICO	
	GUMBEL TIPO I	LOG PEARSON TIPO III
2	1,371.23	1,276.15
5	2,160.24	1,906.67
10	2,688.73	2,413.12
25	3,358.65	3,168.42
50	3,849.92	3,820.36
100	4,341.19	4,557.02
200	4,829.10	5,389.61
500	5,472.60	6,663.79

- Sin embargo, se ha optado por seleccionar los valores medios como resultado de la aplicación de ambos métodos, quedando determinados los caudales máximos instantáneos para diferentes períodos de retorno como se muestra en el siguiente Cuadro:

RIO MAYO ESTACIÓN HLG - SHANAO	
PERIODO DE RETORNO Tr EN AÑOS	DESCARGA MÁXIMA (m³/seg)
2	1,323.70
5	2,033.50
10	2,550.90
25	3,263.50
50	3,835.10
100	4,449.10
200	5,109.40
500	6,068.20

- El caudal o avenida de diseño obtenido para el lugar donde se emplazarán las obras de defensa ribereña, para un período de retorno de 100 años, un riesgo de falla de 20% y una vida útil de 20 años es de $4,449.10 \text{ m}^3/\text{seg}$
- La velocidad media del flujo de agua en el río Mayo, tramo de estudio, es de 4.511 m/seg , valor alto, que se traduce en un continuo y severo proceso de erosión en las márgenes del río.
- El ancho medio natural del cauce en el tramo de interés es de 240m.
- El valor de la profundidad de socavación total es de 8.80 m conformada por una socavación general de 5.75 m y socavación local 3.05 m.
- El ancho estable o de equilibrio hidráulico del cauce del brazo mayor del río Huallaga es de 210.00 metros y el ancho natural es de 240.00 metros, por lo tanto es procedente la proyección de espigones en el cauce, ya que existe espacio suficiente donde se puedan su emplazar estas estructuras.

RECOMENDACIONES

- Para la generación de caudales máximos en ríos que presentan registros de aforo, se recomienda emplear métodos estadísticos como de Gumbel Tipo I y Log Pearson Tipo III.
- Para determinar el caudal o avenida de diseño para el dimensionamiento hidráulico de la defensa ribereña, se debe tener especial cuidado en definir o establecer el riesgo admisible de falla hidrológica así como la vida útil de la estructura.
- La Avenida de diseño debe escogerse de modo de garantizar la estabilidad del río así como de las obras de protección y teniendo en consideración la evaluación de los daños potenciales que ocasionaría una eventual falla.
- Tener presente durante la fase de diseño que, la longitud de los espigones no debe “invadir” el ancho estable o de equilibrio hidráulico del cauce del río Mayo.
- Tener en consideración que los espigones son estructuras que deben trabajar sumergidos en época de avenidas extremas, de allí que será de importancia su recubrimiento, para evitar su deformación ante el tránsito de palizadas.
- Debido a que es difícil realizar obras de desvío de agua en el cauce del río Mayo, aún en época de estiaje, que permita la construcción de la pantalla anti socavante, se debe considerar en el extremo final de cada espigón en la cara que da a la corriente un derrame desde el extremo final de la corona hasta el fondo del cauce con talud $z = 2$, de tal manera que éste haga la función de pantalla antisocavante y deberá ser recubierta en su totalidad con gaviones tipo colchón rellenos con piedra de río de 6” a 8”.
- Fomentar y ejecutar la labor de reforestación en las cercanías de las estructuras de defensa y aquellas márgenes desprovistas de vegetación.

- Educar al campesino y poblador de la zona, con la finalidad de que eviten la utilización de los terrenos adyacentes a la ribera del río para fines agrícolas y de crianza de ganado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE P. Julián. “Hidráulica de sedimentos”. Mérida – Venezuela. 1980.
- GARCIA MARTÍN Antonio. “Topografía básica para ingenieros”. Servicio de Publicaciones, Universidad de Murcia. España. 1994.
- ROCHA FELICES Arturo. “Hidráulica Fluvial”. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.1998.
- RODRIGUEZ H. Alfonso “Hidráulica Fluvial”. 2010
- SEURZ ALLISON. Tesis: “Dimensionamiento hidráulico optimizado de puentes con terraplenes. Universidad Católica del Perú. 2007.
- SUAREZ J. Jaime. “Control de erosión en zonas tropicales”. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia.2001.
- TAPIA GONZALES Bolívar. Tesis. “Diseño estructural del puente sobre el canal internacional Ecuador – Perú. Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador.2009.
- TERZAGHI K. “Mecánica de suelo en práctica de la ingeniería”. 2da Edición. New York. 1967.
- TERAN S. Rubén. “Diseño y construcción de defensas ribereñas”, Lima – Perú.1980.
- VILLÓN BÉJAR Máximo. “Hidrología”. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 2002.
- VILLÓN BÉJAR Máximo. “Hidrología Estadística”. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 2001.
- ZEGARRA CIQUERO Luis. Tesis de maestría. “Análisis y diseño de puentes colgantes. Universidad Católica del Perú.2007.
- BADILLO J. y RODRIGUEZ. Mecánica de Suelos Tomo II
- HERNÁNDEZ Miguel, Diccionario publica en abril del 2010
- DEL AGUILA VELA Harold Tobias; Informe de ingeniería “DISEÑO HIDRÁULICO DE LA DEFENSA RIBEREÑA RIO HUALLAGA – BELLAVISTA, TRAMO I – SECTOR INTIYACU”, Perú, 2009
- TORRES ACOSTA Mauro; Informe de ingeniería “DISEÑO HIDRÁULICO DE ESPIGONES EN EL RIO HUALLAGA, SECTOR VERBENA – JUANJUI”, Perú, 2009
- CORAL FALCON Henry, Tesis “DISEÑO DE LA DEFENSA RIBEREÑA DE SHANAO”, Perú

GONZALES GARCIA Carlos Samuel, Tesis “DIMENSIONAMIENTO HIDRAULICO Y ESTRUCTURAL DE OBRAS DE PROTECCION FRENTE A INUNDACIONES DEL RIO CUMBAZA EN EL CENTRO POBLADO DE SANTA ROSA DE CUMBAZA, DISTRITO DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTIN – REGION SAN MARTIN”, Perú 2016

LOPEZ CARDENAS DE Lano F.. “Diques para la corrección de cursos torrenciales y métodos de cálculo” tomo I

MONSALVE SAENZ, Germán: “Hidrología en la ingeniería”

PIZARRO BALDERA, José del C.: “Curso de estructuras hidráulicas de la UNSM”, Perú, 2014

Revista CIDBINEMA “Conozcamos sobre inundaciones”

ROCHA FELICES, Arturo: “Introducción a la Hidráulica Fluvial”.

SANCHEZ CHOTA, Roberth: Informe de ingeniería “Criterios para el diseño hidráulico de obras de protección”.

TERAN A. Rubén: “Diseño y construcción de defensas ribereñas”

TORRES NIETO Álvaro, VILLARTE BONILLA Eduardo: Topografía

Linkografía

1. <http://portal.jne.gob.pe/informacionlegal/Documentos/Leyes%20Org%C3%A1nicas/LEY%20ORG%C3%81NICA%20DE%20MUNICIPALIDADES%20LEY%20N%C2%BA%2027972.pdf>
2. <http://reforestacion2011.blogspot.com/p/concepto.html>
3. http://servindi.org/pdf/Ley_28611_Ley_General_del_Ambiente.pdf
4. <http://www.ana.gob.pe/media/336341/reglamento.pdf>
5. http://www.ana.gob.pe/media/417426/pesem_2007-2011_actualizado_06oct.pdf
6. <http://www.ana.gob.pe/media/533045/reglamento%20lrh%20-%20n%C2%BA%2029338.pdf>
7. <http://www.congreso.gob.pe/ntley/Imagenes/Leyes/27972.pdf>
8. http://www.minsa.gob.pe/ogdn/cd1/pdf/NLI_12/contenido.pdf
9. http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/asuntos/docs/ley_29338.html
10. http://www.oefa.gob.pe/wp-content/uploads/2012/07/MJ004_L274461.pdf

ANEXOS

Panel Fotográfico



Tesis: Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la margen izquierda del Río Mayo en la localidad de Shanao – Lamas – Región San Martín

Se identifica el inicio de nuestra zona de estudio.



Tesis: Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la margen izquierda del Río Mayo en la localidad de Shanao – Lamas – Región San Martín

Se identifica el final de nuestra zona de estudio.



Tesis: Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la margen izquierda del Río Mayo en la localidad de Shanao – Lamas – Región San Martín

Se identifica la salida de todos los descargas de las aguas pluviales que discurren al río Mayo



Tesis: Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la margen izquierda del Río Mayo en la localidad de Shanao – Lamas – Región San Martín

Se realiza la extracción de muestras en la margen izquierda del río mayo



Tesis: Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la margen izquierda del Río Mayo en la localidad de Shanao – Lamas – Región San Martín

Se realiza los trabajos de estudio de mecánica de suelos con las muestra extraídas, para el ensayo de corte directo



Tesis: Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la margen izquierda del Río Mayo en la localidad de Shanao – Lamas – Región San Martín

Se registran todos los datos de los esfuerzos aplicados a nuestra muestra. Del ensayo de corte directo



Tesis: Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la margen izquierda del Río Mayo en la localidad de Shanao – Lamas – Región San Martín

Se observa la muestra después de ser aplicada a diferentes esfuerzos



Tesis: Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la margen izquierda del Río Mayo en la localidad de Shanao – Lamas – Región San Martín

Se realizan los procedimientos para el cálculo de humedad, peso específico, etc.



Tesis: Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la margen izquierda del Río Mayo en la localidad de Shanao – Lamas – Región San Martín

Se procede a poner al horno todas las muestras ya trabajadas para el cálculo de humedad, peso específico, etc.



Tesis: Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la margen izquierda del Río Mayo en la localidad de Shanao – Lamas – Región San Martín

Se procede a saturar las muestras para la determinación de los límites de ATTERBERG.



Tesis: Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la margen izquierda del Río Mayo en la localidad de Shanao – Lamas – Región San Martín

Se realiza la determinación del límite líquido de las muestras.



Tesis: Dimensionamiento hidráulico y estructural de la defensa ribereña en la margen izquierda del Río Mayo en la localidad de Shanao – Lamas – Región San Martín

Se realiza la determinación del límite plástico de las muestras.

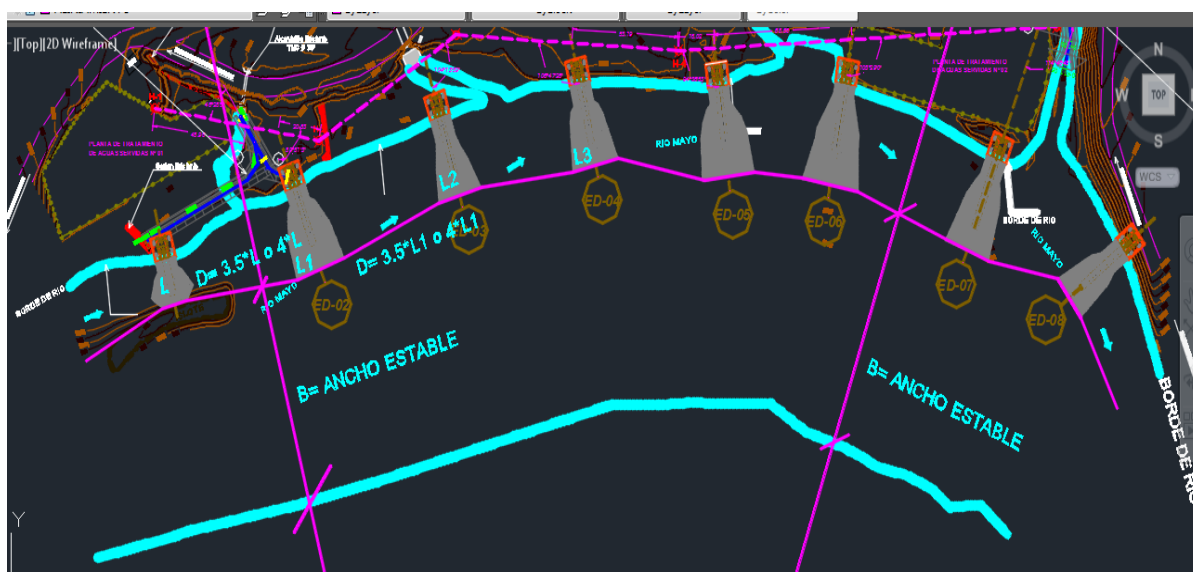
Estudio de Mecánica de Suelos

- SOLICITUD 001-2017-JHFS
- CONSTANCIA DE EJECUCION DE ENSAYOS DE LABORATORIO
- INFORME DE ESTUDIO DE SUELOS

Pasos para el Cálculo de Espigon

- Disponer de Plano Topográfico a curvas de nivel a escala 1/200.
- En el Plano Topográfico delimitar la línea del ancho estable del cauce de río Mayo comprendido entre la margen derecha e izquierda.
- Calcular el valor del ancho estable "B", paginas 106 y 107
- El espacio comprendido entre la línea del ancho estable y la orilla de la margen izquierda, que da listo para ser ocupada por los espigones. Grafico PH - 01
- Identificar en el Plano Topográfico el punto de inicio de la zona en proceso de erosión.
- Ubicar y trazar el eje del primer Espigón de tal manera que no invada el ancho estable del cauce de río (B), determinar su longitud en el plano, de tal manera que el extremo final no afecte al límite del ancho estable (B).
- Realizar el trazado de los siguientes ejes hasta ocupar la longitud total del área de erosión de la margen izquierda del río mayo.
- Si la longitud del primer espigón es "L", entonces la separación entre el primer espigón y el siguiente debe ser igual a 3.5 o 4 veces el valor de "L", según la teoría del Dr. Arturo Rocha Felices y referencia bibliográficas. Pagina 130
- Realizar el trazado de los siguientes ejes hasta ocupar la longitud total del área de erosión de la margen izquierda del río mayo.
- repetir los pasos anteriores para la ubicación y determinación de la longitud y separación entre los siguientes espigones, de tal manera de cubrir toda la área identificada en proceso de erosión.

GRAFICO PH - 01



Planos

Relación de planos

1. UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN (UL)
2. CUENCA COLECTORA RIO MAYO (C)
3. UBICACIÓN DE CANTERAS (U)
4. UBICACIÓN DE CALICATAS (UC)
5. TOPOGRAFICO (T)
6. PLANTEAMIENTO HIDRAULICO (PH)
7. PLANTA, PERFIL LONGITUDINAL Y SECCIONES TRANSVERSALES (ED-01)
8. PLANTA, PERFIL LONGITUDINAL Y SECCIONES TRANSVERSALES (ED-02)
9. PLANTA, PERFIL LONGITUDINAL Y SECCIONES TRANSVERSALES (ED-03)
10. PLANTA, PERFIL LONGITUDINAL Y SECCIONES TRANSVERSALES (ED-04)
11. PLANTA, PERFIL LONGITUDINAL Y SECCIONES TRANSVERSALES (ED-05)
12. PLANTA, PERFIL LONGITUDINAL Y SECCIONES TRANSVERSALES (ED-06)
13. PLANTA, PERFIL LONGITUDINAL Y SECCIONES TRANSVERSALES (ED-07)
14. PLANTA, PERFIL LONGITUDINAL Y SECCIONES TRANSVERSALES (ED-08)