

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**“DISEÑO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL DE LA
DEFENSA RIBEREÑA DEL RÍO NEPEÑA, SECTOR
PUENTE HUAMBACHO –DISTRITO DE NEPEÑA –
SANTA-ANCASH”**

TESISTAS:

BACH. ING. DENNIS ALBERTO OTINIANO ARRIBASPLATA

BACH. ING. JULIO VICENTE CIELO SALDAÑA

ASESORA :

ING. JANET VERONICA SAAVEDRA VERA

Nueva Chimbote - Perú

2016



DEDICATORIA

A Dios.

Por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres

Por ser el pilar fundamental en todo lo que somos, en toda nuestra educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A nuestros maestros

Por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Julio y Dennis.



AGRADECIMIENTO

Nuestros agradecimientos en una forma especial a Dios por habernos permitido culminar satisfactoriamente nuestros estudios superiores en la especialidad de Ingeniería Civil.

Asimismo a nuestra "Alma Mater" Universidad Nacional del Santa por habernos acogido en sus aulas, a nuestros profesores por el apoyo académico brindado y en especial a nuestro asesora Ing. Janet Veronica Saavedra Vera por el apoyo y la orientación brindada durante la realización de nuestro trabajo de investigación.

LOS AUTORES



ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRATC

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1 Aspectos informativos..... 03

1.2 Plan de investigación..... 04

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1 Generalidades..... 09

2.2 Estudio de Ingeniería Básica..... 12

2.3 Criterios y Modelos Matemáticos para las Evaluaciones y Cálculos
Hidráulicos, Socavación y Transporte de Sedimentos en el sector puente
Huambacho..... 59

2.4. Criterio de Diseño y Evaluación de las Obras de Defensas Contra
Inundaciones en el sector puente Huambacho 80

2.5. Consideraciones Finales.....108

2.6. Evaluación de Impacto Ambiental..... 108

2.7. Análisis de Riesgo y Vulnerabilidad..... 109



CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del Modelo Hec–Ras 4.1.0.....	111
--	-----

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados.....	118
----------------------	-----

4.2. Análisis y Discusión de Resultados.....	130
--	-----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo 01: Planos



RESUMEN

El presente trabajo de investigación está orientado a proporcionar protección a las áreas de cultivo y a la población del centro poblado la Huaca emplazadas a la margen derecha del río Nepeña así también dar protección a la carretera Panamericana Norte, frente a las cada vez más frecuentes avenidas del río. La infraestructura vial, tiene su recorrido perpendicular al cauce del Río Nepeña, la cual se expuesto ante los efectos erosivos, por el incremento del caudal del Río Nepeña especialmente ante el Fenómeno del Niño, tal como se vió en el último, evento extraordinario del año 1998, debido a ello la infraestructura vial colapsó ocasionando una interrupción vial y de personas por lo que ocasionaría cuantiosas pérdidas en la actividad económica, la propiedad y grandes riesgos de pérdidas de vidas humanas.



ABSTRACT

This research work is aimed at providing protection to the growing areas and population of the center of the Huaca located on the right bank of the Nepeña River, as well as protecting the Panamericana Norte highway, in front of the increasingly frequent avenues of the River. The road infrastructure is perpendicular to the Nepeña River, which is exposed to erosive effects, due to the increase in the Nepeña River flow especially to the El Niño Phenomenon, as seen in the last extraordinary event of the year 1998, because of this the road infrastructure collapsed causing a road and people interruption that would cause large losses in economic activity, property and great risks of loss of human lives.



INTRODUCCIÓN

Debido a la ocurrencia del Fenómeno El Niño en el año 1983 y con las ocurridas posteriormente con menor intensidad en los años 1998, el valle Nepeña en el Sector Huambacho fue muy afectado, cuyos efectos negativos se reflejaron en inundaciones, que en algunos casos llegaron a destruir áreas de cultivo, así como el colapso de la infraestructura de riego, vías de comunicación, etc. afectando de esta manera, principalmente la actividad agropecuaria, y en especial la actividad agrícola en todos los sectores del valle, lo que significó el incremento de la crisis económica de sus pobladores, especialmente de los que basan sus medios de vida en las tareas agrícolas.

Teniendo en cuenta las características del río Nepeña en la parte media a baja del valle, es que de año en año sus riberas vienen siendo afectadas por las descargas, teniendo que realizarse posteriormente tareas de rehabilitación para garantizar la protección de las áreas agrícolas y asentamientos poblacionales colindantes a través del Ministerio de Agricultura dentro del Programa de Encauzamiento de Ríos y Protección de Estructuras de Captación (PERPEC) y Programa de Prevención de Desastres por el Fenómeno El Niño, ejecutando obras de defensas ribereñas y protección de estructuras de captación. El presente estudio se hace con el fin de mitigar los posibles daños que se pueden presentar en el futuro, garantizar el riego de los cultivos de la zona, infraestructura hidráulica y protección del centro poblado de Huambacho.



CAPÍTULO I



CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. ASPECTOS INFORMATIVOS

1.- TITULO: “DISEÑO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL DE LA DEFENSA RIBEREÑA DEL RÍO NEPEÑA SECTOR PUENTE HUAMBACHO – DISTRITO DE NEPEÑA – SANTA - ANCASH”

2.- PERSONAL INVESTIGADOR:

- **TESISTAS:**
 - CIELO SALDAÑA JULIO VICENTE.
 - OTINIANO ARRIBASPLATA DENNIS ALBERTO.
- **ASESORA:**
 - Ing. JANET VERONICA SAAVEDRA VERA

3.- TIPO DE INVESTIGACIÓN:

El tipo de investigación es de carácter Aplicativo-Descriptivo.



4.- UBICACIÓN DONDE SE DESARROLLA EL PROYECTO:

Localidad : Huambacho La Huaca.

Distrito : Samanco.

Provincia : Santa.

Departamento : Ancash.

1.2. PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cuál serán los criterios para desarrollar un diseño de la hidráulico y estructural de defensa ribereña del río Nepeña en el Sector Puente Huambacho?

1.2.2 OBJETIVOS

GENERAL:

- Realizar un diseño hidráulico y estructural de la defensa ribereña del río Nepeña en el sector puente Huambacho, del distrito de Samanco, Provincia de Santa, Departamento de Ancash.

ESPECÍFICOS:

- Realizar una evaluación hidráulica y estructural actual del río Nepeña
- Realizar el levantamiento topográfico de la zona en estudio en una longitud de 02 Kilómetros.
- Realizar el estudio de suelos para determinar el material del lecho de río predominante.
- Proponer una estructura óptima y económica para la defensa ribereña del río Nepeña



1.2.3 HIPÓTESIS

“Si se hace un diseño óptimo en la estructura de protección del río Nepeña se logrará la protección de los terrenos de cultivo, así como la infraestructura vial”

1.2.4 VARIABLES

Variables Independientes:

- Condiciones de hidráulicas, topográficas y geotécnicas del río Nepeña

Variables Dependientes:

- Diseño hidráulico y estructural de la defensa ribereña

1.2.5 DISEÑO DEL ESTUDIO

El diseño óptimo de la estructura de protección del río Nepeña, se logrará en base a la información recopilada en campo como es los estudios de mecánica de suelos, la geología, la hidrología y la hidráulica fluvial, la topografía, con estos estudios básicos se obtendrán los parámetros tanto físicos como mecánicos, para hacer la evaluación y determinar el estado actual como se encuentra, posteriormente se planteará la estructura hidráulica y estructural del río Nepeña en el sector Puente Huambacho.

1.2.6 ESTRATEGIA DE TRABAJO

1.2.6.1.- MÉTODO DE ESTUDIO.-

Se realizará una inspección y evaluación del área por el problema planteado, recopilando todos los datos necesarios que permiten efectuar un buen análisis e interpretación de los resultados.



1.2.6.2.- POBLACIÓN MUESTRAL.-

Se realizará una inspección y evaluación del Río Nepeña tramo Puente Huambacho 1km aguas abajo y 1Km aguas arriba.

1.2.6.3.- UNIDAD DE ANÁLISIS.-

Río Nepeña Sector Puente Huambacho 1km aguas abajo y 1Km aguas arriba.

1.2.6.4.- TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.-

- Fuente de información Hidrográfica.
- Estudio topográfico
- Estudio de Mecánica de suelos.

1.2.6.5.- TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS, INTERPRETACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.

- Uso de computadoras y software de ingeniería.
- Uso de tablas.
- Fotografías aéreas.



CAPÍTULO II



CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1. GENERALIDADES

2.1.1. Introducción

En la mayoría de los ríos de la costa peruana y ante la presencia de eventos extraordinarios tales como los caudales de máximas avenidas asociados al fenómeno el Niño 1983-1998 (y con desbordes del río) se han ocasionado daños importantes principalmente en terrenos agrícolas, zonas urbanas, obras de infraestructura de riego; causando por tanto un fuerte impacto en la estructura socioeconómica del país.

Las obras hidráulicas que se proyectan y se ejecutan representan infraestructuras de apreciables inversiones en recursos, cuya inversión debe preservarse y protegerse en el contexto de las inversiones que efectúan los proyectos de irrigación y de infraestructura vial.

Estas razones hace que las obras tanto hidráulicas como viales proyectadas y ejecutadas requieran protegerse de los efectos destructivos del régimen del río, como es la socavación, el desborde y la inundación, por lo que es necesario plantear presentar un programa de obras de protección sobretodo de la infraestructura hidráulica mayor y de las áreas agrícolas colindantes al río.



2.1.2. Antecedentes

Debido a las características topográficas y morfológicas del Valle de Nepeña, así como por la ubicación y características geomorfológicas del cauce del río Nepeña y sus regímenes hidrológico, hidráulico y sedimentológico, el Valle Nepeña siempre ha sufrido daños por inundaciones y por inestabilidad del cauce, durante las épocas de avenidas extraordinarias en los años 1983 y 1998.

En las ciencias de la tierra ha sido reconocida la dependencia de la geomorfología en la interacción de la geología, el clima y el movimiento del agua sobre la tierra. Esta interacción es de gran complejidad y puede ser simulada a través de la modelación hidrológica. La cuenca, vista como un sistema hidrológico, utiliza ecuaciones que gobiernan el flujo de agua, las cuales relacionan variables de estado, de entrada/salida y parámetros físicos de la cuenca.

Los modelos hidrológicos necesitan información fisiográfica, las cuales influyen profundamente en el comportamiento hidrológico de la cuenca y por ello, son punto de partida de los análisis hidrológicos que se realicen en la cuenca.

En general, de acuerdo con las características propias del valle Nepeña Sector puente Huambacho, estos daños se han presentado de magnitud mayor sobre las áreas de la margen izquierda del río, que sobre los de la margen derecha. No obstante el efecto sobre determinadas zonas de la margen derecha se muestra todavía vulnerables ante tales efectos.



Asimismo del escenario descrito, las obras de defensa contra inundaciones en el tramo aludido resultan tareas o trabajos de mantenimiento a efectuarse generalmente cada año posterior a la ocurrencia de avenidas fuertes o cada dos años como máximo después de la ocurrencia de avenidas medias en este lapso.

2.1.3. Objetivos del Estudio

Conforme con las circunstancias indicadas, y considerando la importancia del tramo del río Nepeña se está considerando 1km aguas arriba y 1km aguas abajo para proponer el tipo de defensa más adecuado tanto en la margen izquierda como margen derecha.

La elaboración del presente informe de investigación tiene como plan principal, lograr la seguridad necesaria de toda la margen izquierda y derecha de las zonas aledañas al centro poblado de Huambacho, sector la Huaca, como se ha visto que durante la ocurrencia de eventos extraordinarios semejantes a los Fenómenos de El Niño ocurridos en los años 1982/1983 y 1997/1998, apoyándonos en el modelo hidráulico del HEC-RAS .

2.1.4. Ubicación y Vías de Acceso

El ámbito del Estudio comprende el cauce del río Nepeña, desde el puente Huambacho hasta 1 Km Aguas Abajo y 1 Km aguas arriba, este sector se ubica en el distrito de Samanco, provincia del Santa del departamento y región de Ancash.



El acceso al área de Estudio es por medio de la carretera Panamericana Norte, a la altura del km 407, de allí se realizara la evaluación de 1km aguas arriba y 1km aguas abajo, en total es 02 kilómetros materia del presente estudio.

2.2. ESTUDIO DE INGENIERÍA BÁSICA

Dentro del marco de las circunstancias indicadas, para la elaboración del Estudio del diseño hidráulico y estructural de defensas del río Nepeña, en el sector puente Huambacho 01 Km Aguas Abajo y 01 km aguas arriba de dicho puente, se consideró necesario oportuno aprovechar sin limitación alguna los resultados de todos los Estudios Ingeniería Básicos, elaborados como parte integrante de los Estudios que le han antecedido, (Proyecto Especial Chinecas), especialmente en lo que se refieren a la geología y geotecnia, y también a la evaluación del régimen hidrológico y sedimentario del río Nepeña; y todos los conocimientos sobre las canteras para los materiales locales para la construcción que se han utilizado para la construcción de varias obras semejantes en el Valle de Nepeña, (Roca, piedra Chancada, arena gruesa, filtros y afirmados).

2.2.1. Levantamientos Topográficos

2.2.1.1 Objetivos y Alcances

El levantamiento topográfico del tramo en mención del río Nepeña realizados para la elaboración de los planos correspondientes, se han llevado a cabo en base a los reconocimientos de campo, trabajo de campo y trabajo de gabinete, para dicho levantamiento se ha



utilizado equipos topográficos como son: una Estación Total Sokkia 650R, con sus respectivos Prismas, Porta Prismas, trípode, nivel de ingeniero automático, con trípode y mira , posteriormente se realizó los trabajos de gabinete teniendo también en consideración la geotecnia, estos planos han sido la base para realizar los cálculos hidráulicos y estructurales, profundidad de socavación general y análisis morfológicos del cauce del río, entre otros.

2.2.1.2 Recursos Utilizados

Equipos Y Materiales:

- Estación Total Sokkia 650R
 - Alcance de medición en distancias: 4 Km
 - Precisión en medición en distancias: 2 mm + 2 mm/Km
 - Precisión en medición de ángulos vert y horiz: 2 segundos
- GPS Navegador Garmin
- 02 Bastones y prismas reflectantes.
- Nivel de Ingeniero con Tripode y Mira.
- Equipo de comunicación portátil
- Accesorios de topografía tales como winchas y jalones
- Materiales para monumentación: Estacas, cemento, arena gruesa y pintura

La estación total registró automáticamente los ángulos, distancias y coordenadas de los puntos visados; la información es colectada en su memoria interna, la cual posteriormente fue descargda para su procesamiento en gabinete el software Prolink v1.50 .



Personal Técnico

Se ha trabajado con dos Brigadas de Topografía cada una compuesta por:

- a) Un técnico topógrafo con experiencia en trabajos con estación total. Y 02 ayudantes para los prismas.
- b) Un técnico topógrafo con experiencia en trabajos con Nivel de ingeniero automático, 01 ayudantes para la mira topográfica.

2.2.1.3 PROCEDIMIENTOS REALIZADOS:

RECONOCIMIENTO:

Se realizó el reconocimiento de campo para la verificación de la información como son planos de la zona en estudio, carta nacional planos de cofopri entre otros.

TRABAJOS DE CAMPO:

El levantamiento topográfico de los 02 km materia del presente estudio se realizó a partir de puntos de control obtenidos e identificadas con coordenadas absolutas que fueron encontrados en la carretera Panamericana Norte, kilómetro 407, cabe señalar en esta zona se proyecta un puente paralelo al existente.

Para generar una data de puntos más se trabajó con los puntos de la poligonal de la carretera panamericana, se realizó una poligonal del tipo abierta, por las características propias del trabajo. El Levantamiento Topográfico se desarrolló con Estación Total y prismas reflectantes. Se levantaron los detalles y puntos de relleno que permitan obtener curvas de nivel representativas del terreno. Se



fueron colocando BMs cada 0.5 km, mediante una nivelación compuesta utilizando para ello un nivel de ingeniero del tipo automático, además se monumento cada una de las estaciones para un posterior replanteo y/o verificación de medidas.

Las mediciones de coordenadas se realizaron el sistema UTM WGS-84.

TRABAJOS DE GABINETE:

La información colectada por la Estación Total es transferida a una PC mediante un programa Prolink V1.5, el cual sirve para la transferencia de datos.

Se realizó el procesamiento de los datos de campo utilizando para ello el programa Civil 3D, para luego continuar con el diseño de los planos con el software AutoCAD.

2.2.1.4 Resultados del Estudio Topográfico

Los levantamientos topográficos necesarios para la elaboración del tramo en mención del río Nepeña, y también para los cálculos hidráulicos, sedimentarios y socavación local y general del cauce producidos por la acción de los cambios energéticos de la corriente y análisis morfológicos referentes y la elaboración de los planos correspondientes, se han realizado, en estrecha coordinación con la Asesora de Tesis y en base al manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje vial, del ministerio de transportes y comunicaciones .



Para el propósito indicado se ha considerado realizar el levantamiento topográfico de toda la zona en estudio para posteriormente preparar los siguientes planos topográficos:

- Planta del cauce del Río nepeña en el tramo, a escala: 1/1000.
- Perfil Longitudinal del eje del cauce del río, a escala: $H=1/1000$ y $V= 1/100$.
- Secciones transversales del cauce del río de este sector distanciadas a cada 50 metros, en la escala: 1/500.

Como límites laterales del levantamiento topográfico se han considerado los terrenos de cultivo, obras de encauzamiento existentes, entre otros accidentes topográficos.

2.2.2. Geología y Geotecnia

2.2.2.1. Generalidades

2.2.2.1.1 Objeto del Estudio

El presente estudio tiene por objeto determinar las propiedades físico, mecánicas y químicas del subsuelo del área de estudio con fines de defensa ribereña. El estudio está realizado por medio de trabajos de exploración de campo afín de determinar las zonas más vulnerables ante un eventual desborde del río Nepeña, así como sus propiedades de esfuerzo y deformación, proporcionándose las condiciones mínimas del tipo de estructura a proyectar. Para alcanzar el objetivo principal, previamente se requiere lograr los siguientes objetivos secundarios: (Oner 72)



- Elaboración de un estudio geológico superficial de la zona, que sirva de marco para las investigaciones geotécnicas.
- Realización de los ensayos estándares de laboratorio de mecánica de suelos.
- Interpretación de los resultados de las investigaciones geotécnicas de campo y los ensayos de laboratorio.
- Elaboración de los perfiles geotécnicos del área del estudio.
- Elaboración de las recomendaciones técnicas para la ubicación y diseño de las estructuras.

2.2.2.2 Geología del Área en Estudio

2.2.2.2.1 Geomorfología

El área de estudio y sus alrededores está enmarcada dentro de las siguientes geomorfologías:

- Unidad de colinas
- Unidad de depósitos aluviales
- Unidad del valle

a) Unidad de colinas

Constituidas por elevaciones de rocas volcánicas e intrusivas cubiertas parcialmente por arenas eólicas y depósitos aluviales, formando colinas cuyas pendientes varían de 15° a 60°.



b) Unidad de depósitos aluviales

Se encuentra a lo largo del cono aluvial, ensanchándose cerca a la desembocadura del río Nepeña en el Océano Pacífico. Los depósitos aluviales están constituidos de Arenas y limos con gravas subredondeada.

c) Unidad del valle

Está constituido por depósito fluvio-aluvial, que son acumulaciones de arenas y limos que son actualmente aprovechadas como tierras de cultivo.

2.2.2.2.2 Geología Regional

Se han reconocido las siguientes unidades estratigráficas:

a) Cuaternario:

Son los más predominantes en el área de estudio y están constituidos principalmente por los siguientes depósitos:

Reciente:

- Depósitos aluviales (Q-al):

Sobreyacen a todas las unidades por describir, siendo los más importantes los depósitos fluvio-aluviales, que alcanzan su desarrollo máximo en la parte baja de la cuenca del río Nepeña.

b) Cretáceo Inferior: Formación Santa (Ki-c)

Es una secuencia volcánica de roca andesítica (Bocatoma La Víbora y la Huaca), conformada por lavas y brechas, de



composición básicamente de andesita y porfírica que presentan fenocristales de plagioclasas anfíboles y en menor proporción piroxenos.

c) Rocas Intrusivas (Kti-gd)

Son rocas granodioritas, son de grano fino a grueso y su textura varía desde equigranular a porfíricas.

2.2.2.3 Evaluación de los Resultados del Estudio

De acuerdo con los resultados de las investigaciones geotécnicas ejecutadas in situ, y la respectiva interpretación y correlación de la información obtenida se tienen las siguientes conclusiones:

Predominan los depósitos de grava arenosa mal graduados; depósitos que corresponden a la terraza fluvial mas reciente.

Las gravas arenosas fluviales carecen de cementantes y el porcentaje de finos plásticos es nulo, esta es una de las razones principales por la que en su parte superficial estos depósitos ofrecen baja resistencia a los procesos erosivos.

Las investigaciones geotécnicas han consistido en la ejecución de excavaciones de calicatas a cielo abierto. Se ejecutaron 05 calicatas y 02 auscultaciones (DPL).

Con los valores de densidad relativa, tenemos compacidades medias a densas. A partir de 1.20 m de profundidad predominan las arenas densas.

En los cálculos de las cargas admisibles, se ha considerado un Angulo de fricción de 34° (Compacidad Densa) los valores



determinados al nivel de cimentación son del orden de 1.42 Kg/cm² a mayor, mientras que a mayor profundidad son mayores a 2.02 Kg/cm².

2.2.2.4 Canteras de Materiales para la Construcción de Procedencia Local

La ejecución de las obras de la infraestructura hidráulica del Proyecto Especial CHINECAS y de la infraestructura vial autopista del Norte Tramo Pativilca- Salaverry, se lleva a cabo hace varios años, a precisar que en el año 1998, cuando se ejecuto el canal principal Cascajal Nepeña, bajo los diferentes contratos dentro del área integra del Proyecto existe una serie de canteras de afirmado, piedra chancada, arena gruesa y roca, abiertas en el pasado, durante la ejecución de las obras mencionadas.

Para la construcción del dique de defensa tanto de la margen izquierda y derecha del río Nepeña a lo largo de 02 kilómetros, un kilómetro aguas arriba y un kilómetro aguas abajo se ha optado por las siguientes canteras para el aprovisionamiento de los materiales de préstamo y procedencia local:

2.2.2.4.1 Materiales para Afirmado: Cantera de los cerros aledaños al Pueblo de San Pedrito perteneciente al distrito de Samanco. (Ver anexo 01, Estudio Geotécnico).

2.2.2.4.2 Materiales para Rellenos de los Espaldones de los Diques. Material propio del cauce del río (ver anexo 01, Estudio Geotécnico).



2.2.2.4.3 Roca para Protección de los Taludes: Cantera San Pedrito y Pancho Medina (ver anexo 01, Estudio Geotécnico).

2.2.3 Estudio del Régimen Hidrológico del río Nepeña en el Tramo 01 Km aguas arriba y 01 km aguas abajo.

2.2.3.1 Objetivos y Alcances.

Determinación de los caudales de diseño:

- Para el dimensionamiento de la capacidad del cauce de la corriente, así como todas sus características hidráulicas y de los diques de defensa ribereñas.
- Para la determinación del dimensionamiento todos de los elementos de protección de los diques.

2.2.3.1.1 Aspectos Generales

El análisis de la información hidrológica superficial de la cuenca del río Nepeña se ha realizado básicamente la información hidrológica de la estación de aforo de San Jacinto para el periodo de 1960 a 1999, complementada para los fines de generación de información inexistente, aplicando el método de los promedios con los datos de la misma estación. Fue necesario utilizar este método debido a que la información en el periodo 1989 a 1999 le falta siete meses del año 1989, totalmente en el año 1992, siete meses del año 1993, cuatro meses del año 1994, siete meses del



año 1995, tres meses del año 1996, un mes del año 1997 y cinco meses del año 1999.

Las descargas en el río Nepeña por no existir obras de regulación ni derivaciones de otras cuencas, el régimen que muestra el río Nepeña representa el comportamiento hídrico natural de su cuenca. De acuerdo a las características generales de sus descargas, el río Nepeña se encuentra encuadrado dentro de las propiedades comunes a todos los ríos de la costa, es decir como torrente de régimen irregular, los hidrogramas anuales evidencian una corta duración, durante el cual el caudal del río disminuye notablemente, haciéndose insuficiente para las necesidades del valle, en el siguiente cuadro se muestran los siguientes módulos mensuales del río Nepeña. Entendiéndose por tales a los caudales promedios del año durante el periodo de registro considerado. Este cuadro presenta además, las descargas máximas, mínimas y medias de cada mes, registradas en el periodo de estudio.

El análisis de estos parámetros permite apreciar el grado de irregularidad de las descargas del río Nepeña a nivel mensual es decir el rango de oscilación de los valores de las descargas en cada uno de los meses del año, notándose que la diferencia de los valores extremos se hace mayor en



los meses de mayores descargas, para reducirse en los meses de menores descargas.

2.2.3.2 Resultados de los Estudios que serán tomados para el Diseño de las Obras de Defensa Contra Inundaciones

Las obras de defensa contra inundaciones del río Nepeña en el sector puente Huambacho, 01km aguas arriba y 01 km tramo aguas abajo, el planteamiento hidráulico que se está considerando en este tramo es parte de la solución integral del río, en general se deberán considerar todas las características hidráulicas y geométricas tanto en su diseño como en su construcción los cuales servirán para proteger las márgenes tanto derecho como izquierdo del río para proteger a la población, infraestructura hidráulica y vial que es materia del presente estudio.

Por lo tanto los diques calculados y plasmados en los planos proyectados, deberán de tener similares características hidráulicas y geométricas a las existentes en algunos tramos del río como son: la base de la caja hidráulica, talud del dique, corona del camino de servicio borde libre entre otros elementos, así como son también los elementos longitudinales como son los radios de curvatura, tangentes, longitud de curva, etc. De acuerdo con lo indicado el Caudal de Diseño de los diques que se proyectaran, para la determinación del nivel de máximo, no deberá ser menos de **88 m³/s** (para un periodo de retorno de 200 años), ver cuadro N°02, así mismo para mayor detalle se encuentra en el anexo N°02, ni mayor



a 112 m³/s, a cuánto asciende el caudal de diseño de los diques de encauzamiento existentes del río Nepeña en el tramo de Estudio.

Cuadro N°01: Caudales Máximos anuales para diferentes periodos de retorno (Anexo N°02, cuadro N°06), este cuadro se obtiene después de hacer la prueba de bondad de ajuste.

Período de retorno (T, años)	Probabilidad de ocurrencia (P, %)	Descarga máxima (Q, m ³ /s)
2	50.00	18.00
5	20.00	30.00
10	10.00	41.00
25	4.00	52.00
50	2.00	66.00
100	1.00	77.00
200	0.50	88.00
1000	0.20	112.00

Fuente: Elaboración propia.

Además conforme a lo indicado y para un régimen de flujo permanente, el mismo caudal de diseño también deberá mantenerse a lo largo de todo el río Nepeña hasta su desembocadura en el Océano Pacífico.

Para el segundo caudal de diseño, referente a la determinación de niveles de cimientos y dimensionamiento de los elementos de protección de los taludes de los diques y de las orillas contra la erosión y socavación, no es necesario cumplir estrictamente con el anterior requerimiento, pues no incide sobre la capacidad de las defensas contra inundación y grado de protección del área



defendida. Por lo tanto este caudal se deberá evaluar por separado de acuerdo con las propiedades energéticas de la corriente.

De acuerdo con los análisis antes realizados y por la experiencia en obras similares de la zona en estudio, la magnitud del caudal de diseño para cimentación de diques no debería ser por debajo de 100 m³/s.

Conforme con las explicaciones anteriores para los fines indicados se considera adecuado el Caudal de Diseño de **120 m³/s** para los niveles de las obras de protección del dique, este valor de diseño se obtiene del estudio.

2.2.4 Propiedades Morfológicas y Evaluación del Régimen Hidrológico, Hidráulico y Sedimentario del Río Nepeña en el Sector Puente Huambacho

El río Nepeña nace en las alturas de las lagunas de Chupicocha, a 4600, msnm, alimentándose con las precipitaciones que caen en las partes altas del flanco occidental de la cordillera negra.

La cuenca del río Nepeña cuenta con una área de drenaje total, hasta la desembocadura en el océano Pacífico de 1900km², y una longitud máxima de recorrido desde sus nacientes de 73.50km, presentando una pendiente promedio del 6%, la cual se hace más fuerte en el tramo de la parte más alta comprendido entre la laguna de Matarococha y Colcap, donde la pendiente alcanza aproximadamente el 22%, así mismo la superficie de la cuenca húmeda o ibrifera es de 900km², es decir que el 47% del área contribuye sensiblemente al escurrimiento superficial.



El curso del río Nepeña, desde sus nacientes hasta su desembocadura, es algo sinuoso, siendo en general una dirección predominante noreste a sureste; a la altura de la localidad de Huambacho adopta una dirección este a oeste y desemboca al océano Pacífico en las cercanías de la bahía de Samanco.

2.2.4.1 Propiedades Morfológicas del río Nepeña en el sector Puente Huambacho.

Las variaciones estacionales del régimen de descarga del río Nepeña son una consecuencia directa del comportamiento de las precipitaciones que ocurren en la cuenca húmeda siendo significativo el aporte que podría provenir de los deshielos que eventualmente coronan la cordillera Negra. Mediante el análisis de hidrogramas de descarga diarias correspondientes al periodo 1960 – 1999 ha sido posible dividir el régimen natural en tres periodos. Que conforman un ciclo anual en las variaciones el periodo de avenidas y estiajes. El periodo de avenidas empieza la primera quincena de enero se manifiesta con los primeros repuntes notables en el río y termina al presentarse en el último pico del hidrógrama que antecede a la curva de agotamiento del mismo (Fines de marzo).

El periodo traslacional entre avenidas y estiaje empieza a finalizar el periodo de avenidas y termina con la curva de agotamiento.

Estas propiedades morfológicas del río son consecuencia de la composición geológica y la pendiente longitudinal del Valle y sus propiedades topográficas del Valle, que en este caso son:



- Poderosos depósitos de arena suelta con rellenos de arenas de granulometría fina y uniforme, con casi total escasez de materiales finos como el material cementante, que proporciona al río Nepeña favorables condiciones para ilimitada alimentación con sólidos que en general se transportan como arrastres del fondo; y
- Alta pendiente longitudinal del Valle, en dirección Este–Oeste, que proporciona al río considerable potencial energético para los movimientos y arrastre de sólidos del fondo y para la socavación de las orillas.

La forma del curso y la geometría del cauce de una corriente son producto directo de sus regímenes sedimentario, hidrológico, hidráulico y energético.

De acuerdo a lo indicado es evidente que el fondo del cauce del río Nepeña en el sector del puente Huambacho, está expuesto al permanente proceso de sedimentación por la baja pendiente que presenta, así como se va a comprobar por medio de los cálculos y evaluaciones hidráulicas correspondientes, lo que tiene como la consecuencia el acorazamiento de los contornos del cauce, es decir de su fondo, debido al desplazamiento selectivo de los sólidos de diferentes tamaños, de acuerdo con las descargas en el río y su potencial energético. Este proceso directamente se refleja en la estabilidad del curso de la corriente y de su cauce, debido a la reducción y/o eliminación total de erosión y socavación del cauce.



De acuerdo a lo indicado no son necesarias explicaciones mayores para tener conocimiento sobre el peligro que representa el río Nepeña sobre los terrenos colindantes de los sectores Huambacho y en especial para el éxito de las obras de defensa contra inundaciones ubicadas en su cauce u orillas.

2.2.4.2 Evaluación del Régimen Hidrológico del río Nepeña en el sector Puente Huambacho.

El Estudio hidrológico y el análisis del régimen hidrológico del río Nepeña han efectuado en varias oportunidades a partir del inicio del Estudio de Factibilidad del Proyecto Especial CHINECAS, como lo hacer pasra cruzar mediante un sifón el río Nepeña en base a los registros de aforos de las descargas mensuales que se han iniciado en el año 1960, en la estación hidrométrica de San Jacinto , ver Anexo N°02, Cuadro N°01 y 02, del Estudio Hidrológico.



Cuadro N°02: Caudales Medios Mensuales, ver Anexo N°02, cuadro N°02).

SISTEMA DE INFORMACION HIDROLOGICA													
DESCARGAS MENSUALES (M3/SEG) REGISTROS HISTORICOS DE LA ESTACION DE SAN JACINTO													
Dist.	Nepeña	Area	1900	Km2	Latitud	8°40'	Maximo	80.86	m3/seg	Periodo			
Rio	Nepeña	Altitud	200	msnm	Longitud	78°15'	Minimo	0	m3/seg	(1960-1999)			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROMEDIO
1960	1.47	4.26	7.57	2.33	0.58	0.46	0.41	0.35	0.24	0.2	0.17	0.13	1.51
1961	7.34	5.28	8.3	8.73	0.72	0.62	0.54	0.43	0.42	0.24	0.19	1.89	2.89
1962	6.08	10.82	17.87	5.67	1.09	0.75	0.65	0.52	0.43	0.34	0.25	0.22	3.72
1963	0.32	2.44	9.41	7.38	0.8	0.39	0.36	0.34	0.21	0.2	0.18	1.62	1.97
1964	0.3	3.25	6.42	4.32	0.9	0.5	0.43	0.35	0.27	0.19	0.27	0.19	1.45
1965	0.29	1.02	8.86	3.07	0.67	0.23	0.52	0.2	0.18	0.15	0.14	0.16	1.29
1966	3.61	2.24	2.73	0.33	0.32	0.26	0.34	0.25	0.14	0.37	0.1	0.07	0.90
1967	2.59	18.73	12.86	2.62	0.64	0.24	0.35	0.24	0.14	0.64	0.19	0.16	3.28
1968	0.18	0.13	0.63	0.34	0.1	0.07	0.2	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.16
1969	0.04	0.1	2.06	1.58	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	2.23	0.53
1970	13.77	0.15	1.44	1.74	2.1	0.6	0.59	0.39	0.27	0.32	0.79	0.67	1.90
1971	0.53	2.41	12.84	7.98	3.82	1.98	1.4	1.35	0.81	0.19	0.26	2.65	3.02
1972	3.85	5.22	31.68	31.68	2.53	1.14	0.76	0.6	0.36	0.3	0.37	3.82	6.86
1973	10.27	2.25	11.81	9.9	1.84	0.61	0.65	0.61	0.45	0.88	0.61	0.84	3.39
1974	6.84	11.79	10	1.79	1.71	0.53	0.5	0.44	0.07	0.04	0.04	0.03	2.82
1975	0.59	1.82	27.87	2.55	0.93	0.42	0.3	0.21	0.2	0.15	0.1	0.1	2.94
1976	1.26	2.55	3.97	1.57	0.36	0.12	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.87
1977	0.44	11.79	5.68	2.4	0.53	0.21	0.12	0.12	0.08	0.08	0.08	0.08	1.80
1978	0.08	1.82	0.68	0.68	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.02	0.03	0.29
1979	0.03	1.12	17.03	3.33	0.1	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	1.83
1980	0.03	0.03	2.65	0.19	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.89	0.68	2.2	0.57
1981	0.79	16.33	6.54	1.05	0.21	0.19	0.16	0.15	0.11	0.06	0.13	0.17	2.16
1982	1.9	8.27	0.72	0.56	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.99	2.79	1.29
1983	15.41	9.57	71.65	72.77	21.3	8.73	2.77	0.64	0.28	0.24	0.14	2.42	17.16
1984	2.63	42.81	33.48	9.97	6.55	1.18	0.28	0.12	0.05	2	0.22	2.23	8.46
1985	0.05	2.6	3.61	0.58	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.60
1986	0.54	4.71	7.89	5.87	1.9	0.93	0.59	0.29	0.17	0.1	0.1	0.13	1.94
1987	8.77	11.07	11.93	0.66	0.37	0.18	0.14	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	2.79
1988	1.21	9.01	1.81	3	0.34	0.14	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	1.31
1989						0.02		1.16	0.75	2.55	1.14	0.85	1.08
1990	2.82	3.01	1.04	0.4	0.04	1.6	0.01	0.01	0	3.15	2.92	1.54	1.38
1991	0.78	0.78	2.1	7.79	6.08		0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	1.63
1992													
1993		4.57	3.89	0.98		0.32					1.5	2.19	2.24
1994	4.52	11.71	22.48	19.1	9.58	0.32		0.04	0.03				8.47
1995	1.09	3.93	1.58	2.05	0.43								1.82
1996	3.94	10.47	13.81	14.7		0.47	0.23	0.14			0	0	4.86
1997	0.26		0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0.1	8.73	0.92
1998	23.45	66.97	80.86	29.13	6.53	3.97	1.44	0.89	0.47	0.25	0.31	0.35	17.89
1999	4.77	39.82	14.73	6.5	4.02	2.26	1.47						10.51

Fuente: Datos obtenidos de la Estación Hidrométrica San Jacinto, serie histórica 1960-1999.



2.2.4.2.2 Caudales Máximos Anuales del río Nepeña

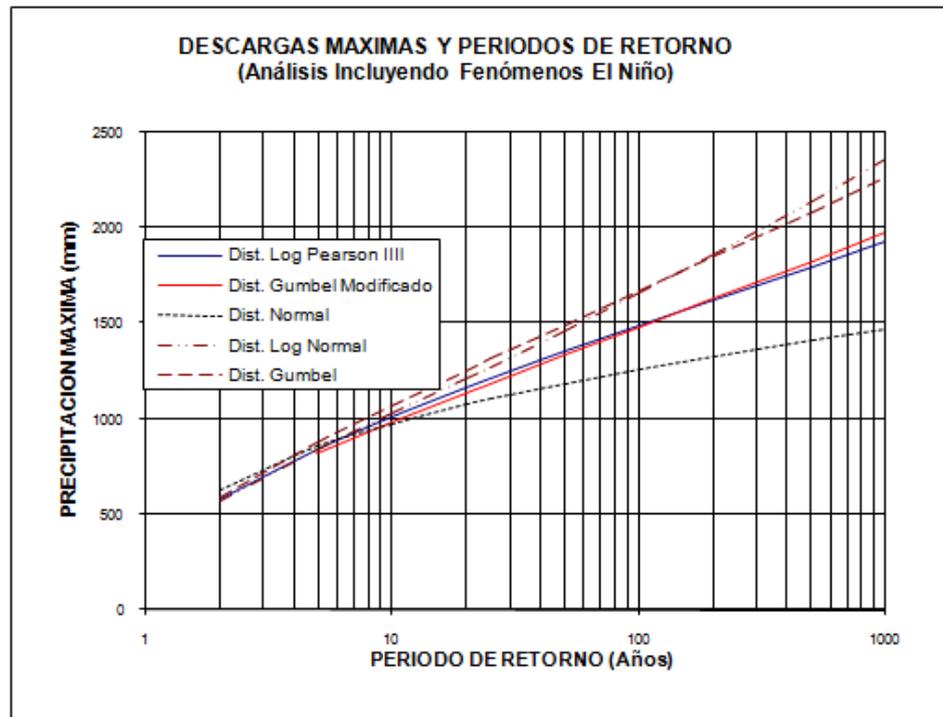
Durante la temporada húmeda, las precipitaciones más intensas y consecuentes altas descargas, se presentan en los meses de febrero a abril. Los meses Enero y Mayo como los meses transitorios entre las dos estaciones, en general carecen de lluvias intensas, y por ende de altas descargas del río Santa, salvo en los años de la presencia del Fenómeno de El Niño en la costa norte del Perú de magnitud extraordinaria, así como ha ocurrido en los años 1982/83 y 1997/98.

Los caudales máximos anuales del río para diferentes períodos de retorno se han evaluado en base al análisis estadístico de la serie de los caudales máximos anuales registrados durante 40 años de aforos en la **estación hidrométrica de San Jacinto, de 1960 a 1999**, se aprecia en el cuadro N°02.

Los resultados de la evaluación estadística de los caudales máximos anuales del río Santa para los diferentes periodos de retorno, se presentan en el cuadro N°01, antes descrito. Las pruebas de Bondad de ajuste de Smirnov - Kolmogov, determinó que el valor de Δ máx. corresponde a la distribución de Log Normal igual a 0.10136; por lo que se puede decir que los valores proporcionados por esta distribución son los que se ajustan a los datos en análisis, tal como se aprecia en el

Gráfico N°01. Con ello se encontró los caudales máximos anuales para los periodos de retorno ver Cuadro N°01:

Gráfico N°01: Descargas máximas vs periodos de retorno.



Anexo N°02 Evaluación Hidrológica, Gráfico N°06.

Fuente: Elaboración propia.

En base al análisis mencionado, se ha mostrado que el caudal máximo del río Nepeña con el período de retorno de 1000 años, asciende a 122.00 m³/s, considerado como el caudal de diseño para el dimensionamiento del sifón San Jacinto y obras de defensa contra inundaciones.

Además de lo mencionado, referente a la evaluación y elección del caudal de diseño para las defensas contra las inundaciones del río Nepeña en sus diferentes tramos, también se deberá considerar como las estructuras existentes



coo los que están en el sector de Pañamarca que se realizaon en el año 2003, las cuales presentaron un buen comportamiento hidráulico y estructural en estos últimos años. De acuerdo con los análisis llevados a cabo, y resumen de los resultados correspondientes, el período de retorno de este caudal asciende entre 500 y 1000 años, y por ende su probabilidad de ocurrencia es entre 0.10 y 0.05 %.

Se ha procedido a la evaluación de las siguientes curvas de persistencias:

(1) Persistencias promedio mensuales para los siguientes grupos de años hidrológicos:

- Años húmedos.
- Años muy húmedos.
- Años 1971/72, 1993/94 y 1998/99, considerados de humedad extraordinaria por la presencia del Fenómeno de El Niño.

(2) Persistencias diarias de los caudales máximos instantáneos diario a de enero a julio del año crítico de humedad extraordinaria:

- Año 1998/99.

Es un hecho que la magnitud de escorrentías del río Nepeña, y por lo tanto sus caudales promedio diarios, son muy variables, tanto en volúmenes como en el tiempo, y por ende



difieren de un año a otro y de una estación a otra. Para el propósito indicado son de suma importancia los caudales promedio diarios relativamente altos, con persistencia larga, que por la energía que generan puedan afectar y dañar, hasta destruir completamente obras de encauzamiento y protección ribereña.

En tal sentido, considerando el régimen hidrológico del río Nepeña y su cuenca, **se ha analizado la persistencia diaria de las descargas promedio diarias**, en la bocatoma San Jacinto, para diferentes series de años hidrológicos, así como:

- **25 años húmedos:** 1961/1962, 1962/1963, 1963/1964, 1964/1965, 1970/1971, 1971/1972, 1972/1973, 1973/1974, 1974/1975, 1975/1976, 1977/1978, 1979/1980, 1981/1982, 1982/1983, 1983/1984, 1984/1985, 1989/1990, 1993/1994, 1994/1995, 1996/1997, 1998/1999, 1999.
- **10 años muy húmedos:** 1971/1972, 1972/1973, 1973/1974, 1974/1975, 1975/1976, 1983/1984, 1984/1985, 1993/1994, 1998/1999, 2001/2002.
- **03 años de humedad extraordinaria:** 1971/72, 1993/94 y 1998/99.

De las curvas de las persistencias diarias de los caudales promedio diarios de los referentes años promedios se aprecia que los caudales promedio diarios de tres años de humedad

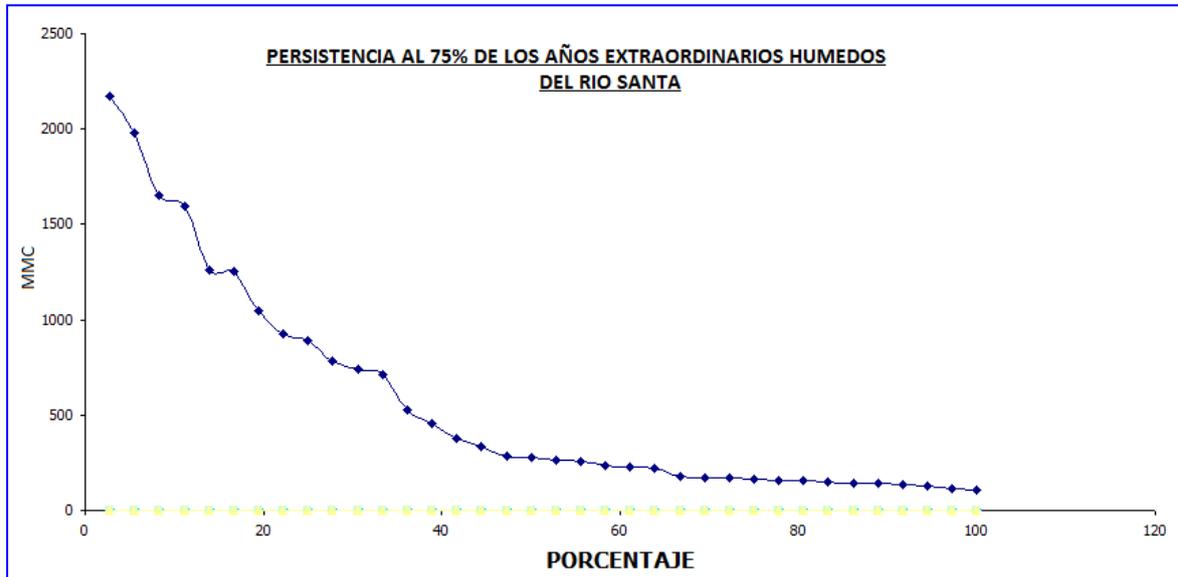


extraordinaria; 1971/72, 1993/94 y 1998/99, difieren sumamente de otros grupos de años, tanto en la magnitud de los caudales promedio diarios como en su persistencia. Por lo tanto, el año crítico para la evaluación del mencionado caudal de diseño deberá ceñirse a uno de estos tres años, que en general deberá presentar los caudales promedio diarios de la magnitud mayor y de más larga persistencia.

Por tal motivo se hizo una evaluación adicional de persistencias de los caudales medios mensuales del río en el tramo aludido de los tres años indicados, considerados como los años de humedad extraordinaria, De las correspondientes curvas de persistencias de los caudales medios mensuales, se concluye que la máxima esorrentía total del período de, de los años de humedad extraordinaria es de 160.71 MMC, así mismo se realizo una evaluación de contemplando sólo el período de avenidas, de Enero a Julio de 212 días en total del año critico (1998), resultado la máxima esorrentía total del período en 1192 MMC . Se muestran los gráficos de los diferentes análisis de persistencia de descarga que se hizo:

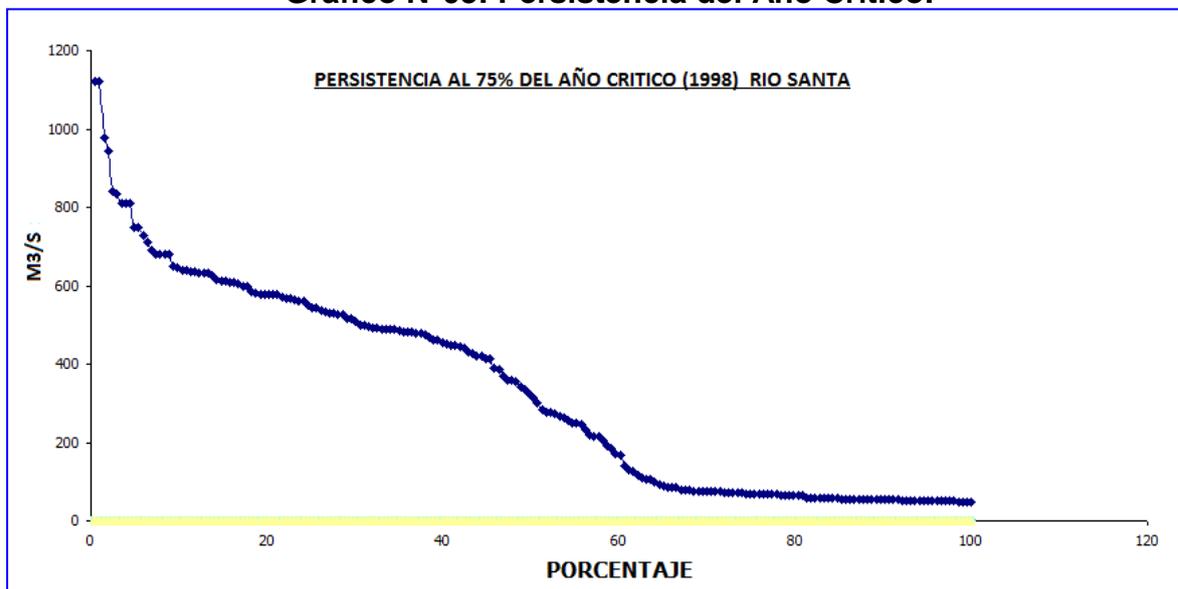


Gráfico N°02: Persistencia de los Años Extraordinarios húmedos.



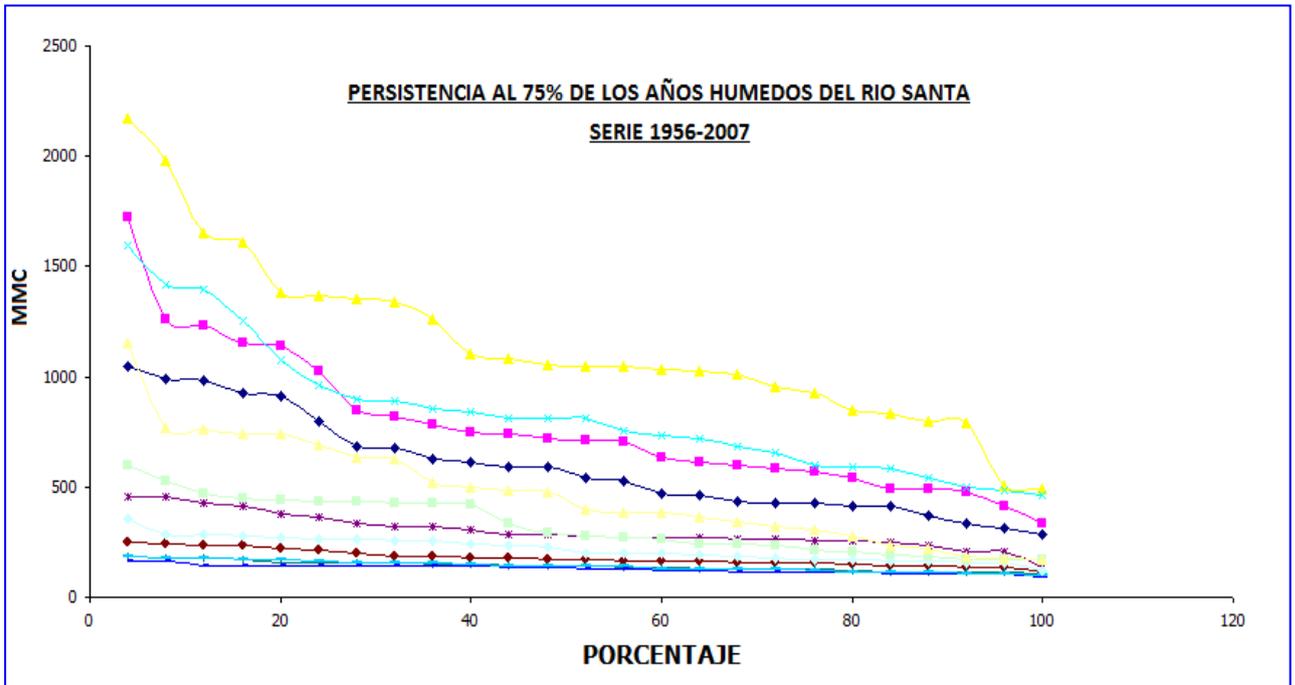
Fuente: Elaboración propia (Anexo N°02 Evaluación Hidrológica).

Gráfico N°03: Persistencia del Año Crítico.



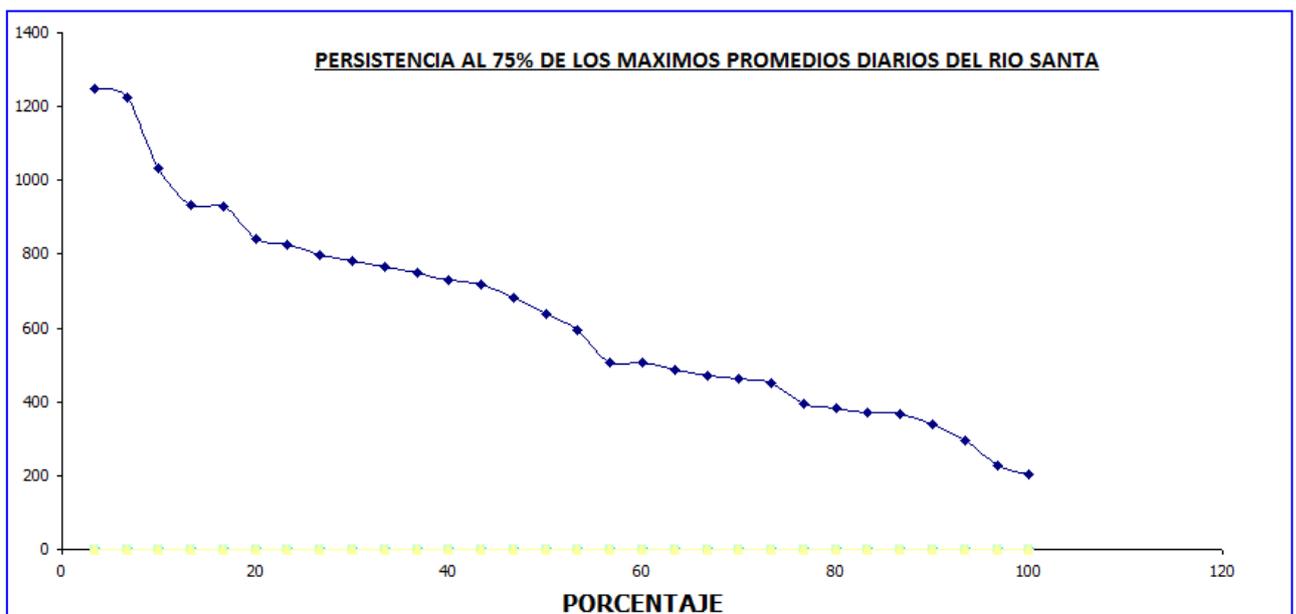
Fuente: Elaboración propia (Anexo N°02 Evaluación Hidrológica).

Gráfico N°04: Persistencia de los Años Húmedos.



Fuente: Elaboración propia (Anexo N°02 Evaluación Hidrológica).

Gráfico N°05: Persistencia de los Máximos Promedios diarios.



Fuente: Elaboración propia (Anexo N°02 Evaluación Hidrológica).



Los procesos hidrodinámicos de las corrientes, como el transporte de sólidos en suspensión y por arrastre del fondo, erosión y socavación del cauce, que finalmente distinguen el régimen sedimentario de la corriente e inciden sobre sus propiedades hidráulicas y al desarrollo de su cauce, los cuales son de suma importancia para el dimensionamiento de la cimentación y de los elementos de protección de las obras de encauzamiento y protección ribereña, ubicadas tanto en el cauce como en las orillas, no dependen de los caudales máximos anuales, sino de la energía total que genera el flujo, que depende directamente de la persistencia de los caudales promedio diarios.

Por lo indicado para la evaluación y elección del caudal de diseño para el dimensionamiento de la cimentación y elementos de protección de las obras de encauzamiento y protección ribereña, es necesario conocer el régimen de los caudales promedio diarios y Caudales máximos anuales de la corriente y su persistencia; dicho análisis, se llevó a cabo por medio de programas computarizados consistentes y confiables utilizados para este tipo de situaciones.

Para la evaluación hidráulica de las obras de defensa y encauzamiento en el tramo indicado, en su estado actual y proyectado respecto al comportamiento de la corriente del río; se han llevado a cabo las siguientes evaluaciones hidráulicas, con el modelo Hec-Ras 4.1.0:



Para los fines de evaluación de la capacidad de transporte de sedimentos por acarreo del río Nepeña en el tramo de interés, a precisar, se han utilizado las curvas granulométricas de los estudios de suelos, los cuales se llevaron a cabo en un Laboratorio Geomecánico certificado, GEOMG S.A.C. del ing. Julio Rivasplata Diaz .

La granulometría de estas muestras que se utilizaron para las evaluaciones del régimen sedimentario, movimiento y transporte de sólidos de fondo, y las profundidades de socavación, se presentan en el **Anexo N° 03, en los cuadros N° 04, 05, 06, 07, 08, 09: Evaluación Sedimentológica.**

Para las evaluaciones referentes al transporte de sólidos de fondo y las profundidades de socavación en el tramo de estudio, de las cuatro curvas granulométricas que se han evaluado dan como resultado los siguientes tamaños característicos:

a) En el Sector Puente Huambacho:

- Tamaño Promedio:

$$D_m = 6.36 \text{ mm.}$$

- Tamaño que participa en composición granulométrica con 50%:

$$D_{50} = 4.86 \text{ mm.}$$

- Tamaño que participa en composición granulométrica con 90%:

$$D_{90} = 9.10 \text{ mm}$$



Sin embargo, de acuerdo con las inspecciones y verificaciones de campo en la zona del Estudio, los depósitos de grava que predominan en el sitio de interés contienen bolones y cantos rodados de tamaño variable entre 2 y 9 cm, que en algunos casos no aparecen en las curvas granulométricas de las muestras del material.

Cuadro N°03: Porcentaje de influencia de bolones y como incrementaría el tamaño de los sedimentos.

Participación de Bolones (%)	Dm (mm)	D50 (mm)
15	33.60	22.00
26	49.90	27.00

Fuente: Elaboración propia, mostrando el incremento de las partículas en tamaño con las que se trabajaría, según las inspecciones de campo.

Lo indicado podría influenciar en los resultados de las evaluaciones del régimen sedimentario del río Nepeña en este tramo hasta un 15.00%.



2.3. CRITERIOS Y MODELOS MATEMÁTICOS PARA LAS EVALUACIONES Y CÁLCULOS HIDRÁULICOS, SOCAVACION Y TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL SECTOR PUENTE HUAMBACHO.

2.3.1 Modelo Matemático para Calcular los Niveles del Flujo en el Cauce del Nepeña sector Puente Huambacho – Evaluación Hidráulica.

De acuerdo con la forma de las secciones transversales del río Nepeña en el tramo aludido, variables e irregulares, la simulación del flujo en el río, y evaluación de las referentes magnitudes hidráulicas, se ha llevado a cabo por medio del paquete de programas computarizados **HEC-RAS 4.1.0, año 2010 “River Analysis System”**; U.S. Army Corps of Engineers, Department of Water Resources–Hydrologic Engineering Center; Davis, State of California; 1986, desarrollado precisamente para este tipo de simulaciones. El programa consiste en solución de la ecuación energética de Bernoulli, que tiene la siguiente forma:

$$Z_1 + h_1 + (v_1)^2/(2g) = Z_2 + h_2 + (v_2)^2/(2g) + \Delta E$$

$Z_{(1,2)}$, (m); - Nivel topográfico del fondo de las secciones transversales que delimitan el tramo de evaluación;

$h_{(1,2)}$, (m); - Tirante de agua en las referentes secciones transversales;

$v_{(1,2)}$, (m/s); - Velocidad del flujo en las referentes secciones transversales;

$g = 9.81$ m/s²; - Aceleración de la gravedad;

ΔE , (m); - Pérdidas energéticas del tramo de evaluación entre las referentes secciones transversales.



La solución de la ecuación indicada se lleva a cabo por medio de la evaluación de las pérdidas energéticas (ΔE), tanto lineales, por rozamiento, como locales debidos a las formas.

Para el cálculo del coeficiente de rugosidad del cauce se consideraron diversas fórmulas empíricas que se presentan en el cuadro, para la expresión siguiente:

$$n = K(d^{1/6}_{xx})$$

dxx: Diámetro característico del cauce.

K: Constante.

Cu: Coeficiente de Rugosidad:

Cu <3	Material Uniforme
Cu =1	Material Completamente Uniforme
Cu >3	Material No Uniforme



Factores para determinar la Rugosidad del cauce.

Cuadro N° 04: Factores para Determinar la Rugosidad del Cauce Principal y Taludes del Rio Santa.

AUTOR	K	dxx	Unidades
STRICKLER(1923)	0.0400	dm	mm.
MEYER MULLER(1948)	0.0380	d90	m.
EINSTEIN(1952)	0.0420	d65	m.
LANE Y CARLSON (1953)	0.0260	d75	m.
LAURSEN(1958)	0.0410	d50	m.
CHANG(1962)	0.0166	dm	mm.
HENDERSON (1966)	0.0340	dm	mm.
RAUDKIVI (1976)	0.0130	d65	m.
GARDE Y RAJU (1978)	0.0390	d50	Pies.
SUBRAMANYA (1982)	0.0470	d50	m.

Fuente: Proyecto Especial Chincas, año 2009.

Por otro lado para estimar los valores de las rugosidades mencionados insitu y en forma preliminar se empleo los valores que se muestran en el Cuadro N° 4, donde se muestran diversos valores para el cauce principal y la planicie de inundación:



Cuadro Nº 05: Valores Estimados de Rugosidad del Cauce Principal y la Planicie de Inundación

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Máximum
Natural Streams			
1. Main Channels			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150
2. Flood Plains			
Pasture no brush			
1. Short grass	0.025	0.030	0.035
2. High grass	0.030	0.035	0.050
Cultivated areas			
1. No crop	0.020	0.030	0.040
2. Mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. Mature field crops Brush	0.030	0.040	0.050
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. Light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. Light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. Medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110
5. Medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
Trees			
1. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
2. Same as above, but heavy sprouts	0.050	0.060	0.080
3. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches	0.080	0.100	0.120
4. Same as above, but with flow into branches	0.100	0.120	0.160
5. Dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
3. Mountain Streams, no vegetation in channel, banks usually steep, with trees and brush on banks submerged			
Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070

Fuente: Manual del HEC RAS Versión 4.1.0



Teniendo en cuenta la presencia del material grueso incluyendo bolonería en el lecho y de acuerdo con las propiedades geológicas de los contornos del cauce, para la evaluación de las pérdidas energéticas lineales se ha considerado el coeficiente de rugosidad de Manning, $n = 0.040$, tanto para el cauce menor, como para el cauce mayor.

Para la evaluación de las pérdidas locales por expansión y contracción se han considerado los coeficientes de 0.30 y 0.10 respectivamente.

2.3.2. Modelos Matemáticos para Calcular la Profundidad de Socavación General, en el Cauce del Río Nepeña – Evaluación de Socavación General.

La evaluación de la profundidad del fondo de cauce por socavación general, es indirecta en base a la evaluación de los tirantes de agua para los flujos en el cauce con el fondo fijo y móvil, es decir socavado:

$$d_s = h_s - h$$

d_s , (m); - Profundidad de socavación general;

h_s , (m); - Tirante de agua en el cauce con fondo socavado;

h , (m); - Tirante de agua en el cauce con el fondo (contornos) fijos.

La evaluación del tirante de agua para el flujo en el cauce fijo, se llevará a cabo en base a las ecuaciones hidráulicas y modelos matemáticos usuales referentes al flujo uniforme y estacionario, gradualmente variable.

La evaluación del tirante de agua del flujo de la corriente en el cauce socavado se llevará a cabo en base a las siguientes ecuaciones:



(1) Según Lacey:

$$h_s = 1.50 (q^2/f)^{1/3}$$

(2) Según Blench, que presenta dos formas:

$$h_s = 1.20 [q^{2/3}/(d_{50})^{1/6}]$$

Válida para arenas de tamaño $0.06\text{mm} < d_{50} \leq 2.00\text{mm}$; y

$$h_s = 1.23 [q^{2/3}/(d_{50})^{1/12}]$$

Valida para arenas de tamaño $d_{50} > 2.00 \text{ mm}$.

h_s , (m); - Tirante de agua en el cauce socavado.

q , ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$); - Caudal unitario del flujo de la corriente.

$$q = Q/B$$

Q , (m^3/s); - Caudal de la corriente.

B , (m); - Ancho de sección mojada de la corriente.

f , - Factor granulométricos de sólidos de fondo de la corriente.

$$f = 1.75 (d_m)^{1/2}$$

d_m , (mm); - Tamaño promedio de sólidos del fondo de la corriente.

d_{50} , (mm); - Tamaño que participa en composición granulométrica con 50.00%.

(3) Según Abbot:

$$h_s = K (q)0.24$$

h_s , (m); - Tirante de agua en el cauce socavado.

q , ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$):- Caudal unitario del flujo de la corriente.



$$q = Q/B$$

Q, (m³/s): - Caudal de la corriente.

B, (m): - Ancho de sección mojada de la corriente.

K: 1.37

(4) Según Neill:

$$h_s = Z(h_f)$$

h_f, (m): - Tirante medio del caudal dominante.

$$h_f = y_i(q/q_i) \text{ m}$$

y_i, (m): - Tirante del caudal dominante.

q, (m³/s/m):- Caudal unitario del flujo de la corriente.

$$q = Q/B$$

Q, (m³/s): - Caudal de la corriente.

B, (m): - Ancho de sección mojada de la corriente.

q_i, (m³/s/m):- Caudal unitario del flujo de la corriente.

$$q_i = Q_i/B_i$$

Q_i, (m³/s): - Caudal dominante de la corriente.

B_i, (m): - Ancho de sección mojada dominante de la corriente.

(5) Según Lichtvan Lebediev:

a) Tirante sin socavación:

$$h_0 = \{Q/((K_s)(B)(S^{0.5}))\}^{3/5}$$

b) Tirante socavado:

$$h_s = \{ (\alpha h_0^{5/3})(0.68((d_m^{0.28})(\beta)))\}^{1/(x+1)}$$



$$\alpha = Q / \{ (d_m^{5/3})(B)(u) \}$$

K_s : - Coeficiente que depende de la rugosidad del fondo del cauce.

S , (o/oo): - Pendiente del lecho.

d_m , (mm): - Tamaño promedio de sólidos del fondo sin obstáculos de la corriente.

β : - Coeficiente que depende del Tiempo del Retorno del caudal de la corriente.

x : - Exponente que depende de:

d_m , (mm): Tamaño promedio de sólidos del fondo sin obstáculos de la corriente.

γ_s , (Kgf/m³): Peso específico del material del material en suspensión.

Q , (m³/s): - Caudal de la corriente.

y , (m): - Tirante medio de la corriente.

$$y = A/B$$

A , (m²): - Área mojada.

B , (m): - Ancho de sección mojada de la corriente.

u : - Coeficiente de contracción.

Ecuación para Calcular el Factor de Seguridad:

$$F_s = Q^{0.56} / d_{50}^{1.05}$$

Q , (m³/s): - Caudal de la corriente.

d_{50} (m): - Tamaño que participa en composición granulométrica con 50.00%..

Los resultados de la evaluación se muestran en el **ANEXO N° 03-Cuadros N° 04 A y 04 B, 05 A y 05 B.**



2.3.4. Modelos Matemáticos para Calcular la Capacidad de Transporte de Sedimentos, en el Cauce del Río Nepeña, en el Sector Puente Huamabacho – Evaluación Sedimentologica.

La determinación del gasto sólido de fondo está directamente relacionado con las características físicas de la cuenca donde nace el río materia del Estudio, principalmente con su erosionabilidad ósea con la producción de sedimentos, de aquí se deduce que para la cuantificación del gasto sólido, se debe de empezar por el conocimiento de la cuenca. Siendo la erosión un fenómeno variable en el tiempo y en el espacio, hace que el conocimiento de estos cambios y su origen sean fundamentales para la evaluación del régimen sedimentario de un río determinado.

Los datos de los sedimentos que son arrastrados por las corrientes, son fundamentales para el estudio de evaluación de la morfología de un río, mediante las ecuaciones existentes relacionados al transporte de sedimentos y los parámetros hidráulicos del río es posible determinar la capacidad de transporte de sedimentos.

Sin embargo de acuerdo a la experiencia en este tipo de estudios es posible que existan grandes diferencias entre los resultados de las ecuaciones, que puede conducir a errores de gran de magnitud.

Por las características morfológicas de cuenca del río Nepeña así como del lecho del mismo hace que este tenga una gran capacidad de transporte de sedimentos, sobretodo en la zona de estudio, por lo que su buena



evaluación es de gran importancia para la seguridad de las obras de defensa que se propongan y de las existentes.

Para el análisis del régimen sedimentario y evaluación de la capacidad máxima de transporte de material sólido de fondo del río Nepeña sector puente Huambacho, se van a utilizar ecuaciones confiables y consistente de las cuales se elegirá la que más se adapte a las condiciones reales del río, las ecuaciones son las que se van a utilizar para la evaluación de la capacidad de transporte de sedimentos del río Santa en el tramo de Estudio:

a) Velocidad de Caída de la Partícula

Las ecuaciones de Velocidad de Caída de Van Rijn a utilizar para la evaluación del transporte de fondo son las siguientes:

$$W = (s-1)gd/(18v), \text{ para } 0.001 < d \leq 0.1 \text{ mm.}$$

$$W = (10v/d)((1-0.01(s-1)gd^3/v^2)^{0.5}-1), \text{ para}$$

$$0.1 < d < 1 \text{ mm.}$$

$$W = 1.1((s-1)gd)^{0.5}, \text{ para } d \geq 1 \text{ mm.}$$

b) Función Transporte

(1) Meyer-Peter-Müller:

La ecuación de arrastre de sólidos de fondo según Meyer-Peter-Müller es la siguiente:

$$gRJ = 0.047 g'_s D_m + 0.25 r^{1/3} (g'_s)^{2/3}$$

g ; (T/m^3) - Peso específico del agua.

R ; (m) - Radio hidráulico de la corriente.

J ; (m/m) - Gradiente energético del flujo.



g'_s ; (T/m³) - Peso específico del acarreo sumergido.

D_m ; (m) - Diámetro representativo del acarreo.

$r=(g/g)$ - Densidad del agua.

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

g'_s ; (T/s/m) - Masa sumergida del acarreo arrastrado por la
Unidad de ancho de fondo de la corriente.

Considerando:

$$g = 1.00 \text{ T/m}^3$$

$$g'_s = g_s - g = 2.65 - 1.00 = 1.65 \text{ T/m}^3$$

$$r = 1.00/9.81 = 0.102$$

La ecuación de transporte del acarreo ha resultado en la siguiente forma final:

$$g'_s = 25.0567 (RJ - 0.07755 D_m)^{3/2}$$

Conforme a lo indicado la ecuación del inicio del acarreo o de equilibrio ha resultado en la siguiente forma final:

$$D_m = 12.895 (R)(J)$$

Para la evaluación del volumen del acarreo es válida la siguiente fórmula:

$$q_s = g'_s / g_s(1-n)$$

q_s ; (m³/s/m) - descarga del acarreo por unidad de ancho de fondo de la corriente

$n = 0.30$ - volumen unitario de poros (vacíos)

Que finalmente ha resultado en la siguiente forma final:

$$q_s = 0.866 g'_s$$



Para la descarga total de acarreo es válida la siguiente fórmula:

$$Q_s = 0.866 (B)(q'_s)$$

B, (m) - ancho de fondo de la corriente

Para diámetros medios de partículas entre $0.40 < d < 29.00$ mm.

(2) Ackres White:

La ecuación de arrastre de sólidos de fondo según Ackres White es la siguiente:

$$X = \{(G_{gr})(s)(d_s)\}/\{(D)(u^*/V)\}^n$$

$$G_{gr} = C\{(F_{gr}/A) - 1\}$$

- X; (T/s/m) - Concentración de sedimentos.
G_{gr}; (m) - Parámetro de transporte de sedimentos.
S; (T/m³) - Gravedad específica de los sedimentos.
d_s; (m) - Diámetro medio de la partícula.
D; (m) - Profundidad efectiva.
u*=(m/s) - Velocidad de corte.
V; (m/s) - Velocidad media en el cauce principal.
n; - Exponente de transición, dependiente del tamaño del sedimento.
C; - Coeficiente de proporcionabilidad.
F_{gr}; - Parámetro de movilidad de sedimentos.
A; (m) - Parámetro de movilidad crítica de sedimentos.

Para diámetros medios de partículas entre $0.04 < d < 2.50$ mm.



(3) Engelund - Hansen:

La ecuación de arrastre de sólidos de fondo según Ackres White es la siguiente:

$$g_s = [0.05(g_s)(V^2)]\{(d_{50})/((g)(g_s/g - 1))\}^{1/2}[t_0((g_s - g) d_{50})]^{3/2}$$

- g_s ; (T/s/m) - Unidad de transporte de sedimentos.
 g ; (T/m³) - Peso específico del sedimento.
 g'_s ; (T/m³) - Peso específico del acarreo sumergido
 V ; (m/s) - Velocidad media en el cauce principal.
 t_0 ; (Pa) - Esfuerzo cortante de fondo.
 d_{50} ; (m) - Diámetro 50 de la partícula.

Para diámetros medios de partículas entre $0.19 < d < 0.93$ mm.

(4) Yang:

La ecuación de arrastre de sólidos de fondo según Yang es la siguiente:

$$\log C_t = 5.435 - 0.286 \log(wd_m/v) - 0.457 \log(u^*/w) + [1.799 - 0.409 \log(wd_m/v) - 0.314 \log(u^*/w)] \log(VS/w - V_{cr}S/w)$$

Para arenas $d_m < 0.02$ mm.

$$\log C_t = 6.681 - 0.633 \log(wd_m/v) - 4.816 \log(u^*/w) + [2.784 - 0.305 \log(wd_m/v) - 0.282 \log(u^*/w)] \log(VS/w - V_{cr}S/w)$$

Para gravas $d_m \geq 0.02$ mm.

- C_t ; (T/s/m) - Concentración total de sedimentos.
 w ; (m/s²) - Velocidad de caída de las partícula.
 d_m ; (m) - Diámetro medio de la partícula.
 v ; (cm²/s) - Viscosidad cinemática.
 u^* ; (m/s) - Velocidad de corte.



- V ; (m/s) - Velocidad media en el cauce principal.
 S ; (m/m) - Gradiente de energía.

Para diámetros medios de partículas entre $0.062 < d < 7.00$ mm.

(5) Laursen:

La ecuación de arrastre de sólidos de fondo según Laursen es la siguiente:

$$C_m = 0.001g(d_s/D)^{7/6}(t'_o/t_c - 1)f(u^*/w)$$

- C_m ; (T/m³) - Concentración de la descarga de sedimentos.
 G ; (T) - Peso del agua.
 d_s ; (m) - Diámetro principal de la partícula.
 D ; (m) - Profundidad efectiva del flujo.
 t'_o ; (Pa) - Esfuerzo cortante de resistencia de las partículas.
 t_c ; (Pa) - Esfuerzo cortante crítico de fondo.
 $f(u^*/w)$; - Función de el radio hidráulico de la velocidad de corte o de la velocidad de caída.

Para diámetros medios de partículas entre $0.011 < d < 29.00$ mm.

(6) Toffaleti:

La ecuación de arrastre de sólidos de fondo según Yang es la siguiente:

Para la zona baja.

$$g_{ssL} = M[(R/11.24)^{(1 + n_v - 0.756z)} - (2d_m)^{(1 + n_v - 0.756z)}] / (1 + n_v - 0.756z)$$

Para la zona media.



$$g_{ssM} = M(R/11.24)^{0.244z}[(R/2.5)^{(1+nv-z)} - (R/11.24)^{(1+nv-z)}] / (1+nv-z)$$

Para la zona alta.

$$g_{ssU} = M(R/11.24)^{0.244z}(R/2.5)^{0.5z} - [R^{(1+nv-1.5z)} + (R/2.5)^{(1+nv-1.5z)}] / (1+nv-1.5z)$$

Para el lecho.

$$g_{sb} = M(2d_m)^{(1+nv-0.756z)}$$

$$M = 43.2 C_L(1-nv)(V)(R)^{(0.756z-nv)}$$

$$g_s = g_{ssL} + g_{ssM} + g_{ssU} + g_{sb}$$

g_{ssL} ; (T/día/ft) - Transporte de sedimentos en suspensión en la zona baja.

g_{ssM} ; (T/día/ft)- Transporte de sedimentos en suspensión en la zona media.

g_{ssU} ; (T/día/ft) - Transporte de sedimentos en suspensión en la zona alta.

g_{sb} ; (T/día/ft) - Transporte de sedimentos en el lecho.

M; - Parámetro de concentración de sedimentos.

C_L ; - Concentración de sedimentos en la parte baja.

R; (ft) - Radio hidráulico.

d_m ; (ft) - Diámetro medio de la partícula.

z; - Exponente que describe la relación entre el sedimento y las características hidráulicas.

nv; - Exponente de la temperatura.

Para diámetros medios de partículas entre $0.3 < d < 0.93$ mm.

Los resultados evaluados de la manera indicada se deben considerar como la capacidad de la corriente para el acarreo en la sección de la evaluación.



El arrastre verdadero depende de la capacidad de la corriente en el tramo de aguas arriba para alimentar la sección de evaluación con el acarreo en cantidades suficientes para agotar su capacidad de arrastre. En el caso que la alimentación con el acarreo resulte mayor que la correspondiente capacidad de arrastre, el acarreo se iba a depositar, en caso contrario el lecho de la corriente se iba a erosionar y/o socavar.

Para los diámetros del sedimento del río Nepeña en la tramo de estudio, cuyo diámetro medio de acuerdo a la curva granulométrica es de 15.50 mm., la Función Transporte que más se ajusta es la de Meyer-Peter-Müller, cuyo rango para diámetros medios es de $0.40 < d < 29.00$ mm.

Los resultados de la evaluación se muestran en el **ANEXO N° 03-Cuadro N°08 y 09.**

2.3.5. Esquema Hidráulico del Río Nepeña en el Sector Puente Huambacho.

El esquema hidráulico del río Nepeña en el sector Huambacho, se ha conformado en base a los levantamientos topográficos y propiedades morfológicas del cauce del río, de acuerdo con los requerimientos del paquete de programas de computación **HEC-RAS 4.1.0**, adecuado para la evaluación hidráulica del flujo gradualmente variado en las corrientes de agua de la geometría, es decir contornos, variables.

La longitud total del tramo en estudio es de 2km, aproximadamente.

Para los fines de los cálculos y evaluaciones hidráulicas, el cauce del río en todo el tramo se ha considerado secciones transversales básicas, producto



de la correspondiente generación en base a los levantamientos topográficos del tramo, por medio del programa de computación Civil 3D.

La distancia entre las consecutivas secciones transversales del río asciende aproximadamente a 50 m. Sin embargo, debido a la alta pendiente longitudinal del cauce del río, que en promedio asciende a 3.5‰, y por lo tanto las pérdidas de la carga entre las dos secciones transversales consecutivas,

De este modo se va a cumplir todos los requerimientos del programa, referente al distanciamiento de las secciones transversales. El listado de las secciones transversales básicas, es decir generadas en base de los levantamientos topográficos, forma parte del listado de los resultados de cálculos hidráulicos, como datos de entrada.

2.4. CRITERIO DE DISEÑO Y EVALUACION DE LAS OBRAS DE DEFENSAS CONTRA INUNDACIONES EN EL RIO NEPEÑA, SECTOR PUENTE HUAMBACHO. .

Para lograr la continuidad e integridad de esta defensa a lo largo de toda su longitud, es necesario que a lo largo de toda su longitud esta defensa cuente con el (los) mismo(s) Caudal(es) de Diseño, e iguales propiedades técnicas, de acuerdo con los regímenes hidrológico, hidráulico y sedimentario del río Nepeña del tramo en mención.

Bajo las circunstancias indicadas se considera indispensable una evaluación hidráulica del río Nepeña y una evaluación hidráulica y



estructural de las obras de encauzamiento de ambas márgenes del río Nepeña.

2.4.1 Planteamiento y Criterios para el Diseño de las Obras de Encauzamiento y Defensas Ribereña en el sector Puente Huamabacho

En todo el tramo desde el transito del río Nepeña 2km aguas arriba y 2km aguas abajo para luego desembocar en el océano pacifico, su cauce es prácticamente lineal, según la clasificación morfológica, es angosto, compuesto en algunos casos de islas fluviales sumergibles, en general es inestable y afecta las dos orillas y los bienes ubicados en los terrenos colindantes.

Estas propiedades morfológicas en general se deben a los siguientes factores naturales a lo largo del curso del río:

- Alta pendiente longitudinal del cauce, por encima de 5.00 ‰, la que se debe a la igual alta pendiente del Valle en la dirección del curso del río.
- Debido a la alta pendiente la corriente dispone con alta carga energética, especialmente durante las crecidas que en general se disipa en transporte de sólidos de fondo.
- Irregular régimen hidrológico y enorme diferencia entre el régimen de escorrentías de las temporadas de avenidas y de estiaje; e
- Ilimitada alimentación con los sólidos gruesos, tanto de las orillas como del fondo, lo que se debe a la composición de las



formaciones geológicas del Valle y las propiedades litológicas del cauce.

Por lo indicado, el principal problema del río Nepeña en su curso a través del valle Nepeña su causa son las inundaciones, pues casi durante en todo el recorrido sus defensas son escasas.

Para enfrentar este problema futuro se necesita llevar a cabo las obras de encauzamiento total de la orilla izquierda principalmente, del río Nepeña en el tramo aludido.

En general para la ejecución de las obras de encauzamiento podrán usarse diferentes materiales de procedencia local, así como: roca, materiales sueltos disponibles en el cauce del río, a precisar; cantos rodados, grava y arena, y materiales homogéneos, así como limo y arcilla, para el relleno de los diques.

Para el éxito de estas obras únicamente es necesario protegerlas adecuadamente contra la erosión y socavación, especialmente el talud que se encuentra en contacto con el flujo de agua; por ejemplo con enrocado o con gaviones debidamente dimensionado, tanto en espesor como en granulometría.

De acuerdo con lo indicado la obra de encauzamiento, se ha planteando considerando lo siguiente:

- El ancho necesario del cauce de río, de acuerdo con el régimen hidrológico del río.
- Propiedades topográficas y morfológicas del actual cauce de la corriente.



- Materiales disponibles para la construcción del dique y para su protección de la erosión y socavación y otros impactos del flujo de agua.
- Propiedades de los sólidos en el cauce del río; y
- Regímenes hidrológico, hidráulico y sedimentario de la corriente.

2.4.2 Dimensionamiento del cauce del Río Nepeña en el sector puente Huambacho 01km aguas arriba y 01 km aguas abajo.

El régimen de un río se relaciona con la geometría de su cauce. Un río aluvial se considera que está en régimen si su caudal es estable en un promedio largo de tiempo. Los cambios en periodos cortos ocurrirán con cambios de caudal y transporte de sedimentos, y aquí el concepto de “estabilidad” difiere con claridad del que se definió como el límite crítico de la fuerza tractiva que no implica el concepto de movimiento de sedimentos en el lecho y en las bancas.

La sección transversal y la pendiente longitudinal de un cauce en régimen serán funciones principales de la descarga, con un ancho “**B**”, profundidad “**y**” y la pendiente “**S**”, variables que proveen tres grados de libertad. La relación entre estos tres parámetros y el caudal – que preceden en el sistema de un río con la dirección aguas abajo – se han basado en su mayor parte en las mediciones de laboratorio para su ajuste. Para el dimensionamiento del ancho estable del cauce del río Santa se usará el Método del Régimen de Blench:



Método del Régimen de Blench

De acuerdo con la teoría del Régimen de Blench, entre las propiedades hidráulicas y sedimentarias del cauce de una corriente equilibrada, que no muestra las tendencias, tanto de erosión y socavación, como de colmatación, existen relaciones fuertes, que se pueden expresar por medio de las ecuaciones matemáticas explícitas. Según el caudal dominante (**Q**) de una corriente y el ancho de su cauce (**B**), para este caso rige la siguiente ecuación:

$$B = ((3.2761)(F_b/F_s)Q)^{1/2}$$

- B, (m); - Ancho del cauce de la corriente;
Q, (m³/s); - Caudal dominante de la corriente.
F_b; - Factor de fondo.
F_s; - Factor de lado.

El Factor de Fondo está determinado por la siguiente ecuación:

$$F_b = 1.9(d_{50})^{1/2}$$

- d₅₀; - Diámetro Medio del Material de Fondo.

Blench sugiere los siguientes valores para el Factor de Fondo:

F_b = 0.8, para material fino.

F_b = 1.2, para material grueso.

Blench sugiere los siguientes valores para el Factor de Orilla:

F_s = 0.1, para material suelto.

F_s = 0.2, para material ligeramente cohesivo.

F_s = 0.3, para material cohesivo.



Sin embargo el **caudal dominante** no debería considerarse como un **caudal máximo** anual para el cierto período de retorno, debido a que dispone con la carga energética limitada e insuficiente para ejercer movimiento de mayores volúmenes de sólidos, y de este modo incidir sobre la formación del cauce de la corriente y sus propiedades hidráulicas. Por lo tanto el caudal dominante es el caudal promedio diario de persistencia relativamente larga, y por ende del periodo de retorno relativamente corto, por lo menos, entre dos y cinco años (88 y 122 m³/s.), que genera energía en cantidades suficientes para incidir al desarrollo del cauce.

De acuerdo a lo indicado, es evidente que la evaluación del ancho del cauce para el encauzamiento de la corriente, en base a la Teoría del Régimen de Blench resultan anchos menores y tirantes mayores, por lo tanto las obras de encauzamiento resultan de mayor altura y costo, por lo que para el dimensionamiento del ancho estable del cauce con la Teoría del Régimen de Blench se considerará el caudal que corresponde al caudal máximo anual con un período de retorno de 1000 años (122 m³/s.).

De acuerdo a lo indicado, parece lógico y mejor optar por un cauce de ancho mayor, y consecuentes obras de encauzamiento de menor volumen y costo, expuesto a colmatación, que por un cauce de ancho menor y equilibrado, que iba a resultar en obras de encauzamiento de volumen y costo mayor, y/o en el caudal de



diseño de un período de retorno más corto, y por ende con daños correspondientes más frecuentes y de mayor volumen y costo.

De acuerdo a lo indicado, a continuación se presentan los anchos del cauce del río Santa para el tramo de aguas arriba para las descargas máximas de 122 m³/s, evaluados en base a la teoría del Régimen de Blench:

Cuadro N° 06: Anchos del cauce del Río Santa calculados en base a la teoría del Régimen de Blench

Caudal (Q;m³/s)	Ancho del Cauce, (B;m)
122	58.22

Fuente: Elaboración Propia de los autores.

Para el dimensionamiento del ancho del cauce de acuerdo con la teoría del Régimen de Blench, como los caudales dominantes únicamente se pueden considerar todos aquéllos de la magnitud hasta 122.00 m³/s. Los otros, mayores, por el largo período de retorno, prácticamente no inciden sobre la forma y dimensiones del cauce de interés. Bajo las circunstancias indicadas, considerándose la teoría del Régimen de Blench, el ancho del cauce del río Santa en este tramo, debería ser entre 40.00 y 50.00 m, como mínimo y máximo, respectivamente.



Para la comparación, en el cuadro N°07, se presentan tirantes de agua para el flujo del caudal de 122.00 m³/s, que según los análisis de Máximas Avenidas, que se han llevado en la Evaluación Hidrológica, ha resultado como el caudal de diseño para la evaluación del nivel de la cresta de las obras de defensas contra inundaciones y que corresponde a un periodo de retorno de 1000 años, , la pendiente longitudinal promedio del tramo de 6.50o/oo y el rugosidad de Manning, n= 0.040.

Cuadro N° 07: Variación del Ancho del Cauce con el Tirante del Flujo, Q = 122.0 m³/s (MÉTODO DE SIMONS Y HENDERSON)

Ancho del Cauce (B,m)	Tirante del Flujo (h, m)
26.27	1.92

Fuente: Elaboración Propia de los autores.

De acuerdo con las circunstancias indicadas y sólo con el propósito de bajar a lo mínimo posible el costo de obras de encauzamiento, dentro del marco de los correspondientes regímenes hidrológico e hidráulico del río Nepeña en el tramo de interés, como el ancho de diseño del cauce se ha considerado él de **40.00 m**.

Además este ancho proporciona condiciones mejores para la elección de los alineamientos del encauzamiento de acuerdo con la ubicación del principal brazo activo de la corriente, y llevarlo por los terrenos más altos.



2.4.3 Esquema Hidráulico y Alineamientos para el Encauzamiento del Río Nepeña Santa en el sector Puente Huambacho.

El esquema hidráulico y alineamientos de las obras de defensa del río Nepeña del tramo en mención, se desarrollara considerando los siguientes factores:

- Ancho Estable de diseño del cauce, para el encauzamiento del río Nepeña en el tramo de estudio;
- Tramos existentes de los diques de defensa antiguos;
- Propiedades topográficas y morfológicas de las orillas del río, especialmente de la izquierda, y de la corriente, tanto del cauce entero, como de su brazo principal; y
- Ubicación de terrenos y/u orillas altas, adecuados, para empotramiento de las obras de encauzamiento, al inicio y terminación del tramo de interés.

Asimismo para garantizar el funcionamiento óptimo del nuevo esquema hidráulico del dique se está considerando las siguientes acciones con respecto a las defensas existentes:

- Eliminación de todas las defensas continuas que no garanticen la seguridad necesaria, o se encuentren dentro del nuevo trazo.
- Rehabilitación de los diques continuos que estén técnicamente bien construidos y solamente necesiten algunas mejoras.



- Conservación de los diques que estén técnicamente bien contruidos y en buen estado de conservación.

Es importante señalar que el trazo presentado no es definitivo, el mismo que tendrá que replantearse en las próximas etapas de los estudios, hasta llegar al trazo definitivo para la ejecución de la obra; sin embargo estas variaciones del alineamiento no inciden en los niveles de corona, niveles de cimentación, diámetro de roca, curvas de descarga y otros parámetros presentados, por estar considerados en la sensibilidad del borde libre y en las condiciones de borde de las simulaciones realizadas.

2.4.3.1 Evaluación Energética y Elección de los Caudales de Diseño para Socavación

En general para el diseño de las obras de defensa se distinguen dos caudales de diseño, uno para la evaluación del nivel de la cresta de las obras de defensa contra inundaciones y dimensionamiento de la capacidad del cauce, y el otro para la evaluación del nivel de los cimientos y dimensionamiento de las obras para la protección de taludes y orillas contra la erosión y socavación.

La evaluación del primer caudal de diseño en general se lleva a cabo por medio de los análisis de máximas avenidas y se compara con el análisis de optimización, minimizando totales costos anuales de la obra, que consisten en dos componentes básicas, el costo de construcción y de mantenimiento y el costo para la cobertura de los Daños restantes o costo para la reconstrucción de la obra dañada durante las avenidas mayores del propio caudal de diseño.



El segundo caudal de diseño correspondiente al dimensionamiento de la protección de las obras y orillas contra la erosión y socavación, en general se deberá evaluar en base al caudal dominante que genera mayores cargas energéticas durante su persistencia en un año crítico. Para el caso del río Nepeña en el tramo de estudio, en base a los correspondientes análisis y evaluaciones como el año crítico se considerara el año 1998, y las correspondientes descargas máximas instantáneas diarias del período de 01 de Enero al 31 de Julio.

Para los fines indicados se evaluará la potencia de la corriente para todos los caudales promedio diarios de Enero a Julio del 1998, y la energía generada durante el transcurso de este período de 206 días, considerándose las correspondientes fórmulas convencionales:

$$N_i = 9.81 Q_i H_i$$

$$E = S \times N_i \times D_{t_i}$$

N_i , (kW);	-	Potencia instantánea del flujo;
Q_i , (m^3/s);	-	Caudal promedio diario instantáneo del flujo;
H_i , (m);	-	Altura de descenso de la corriente;
E , (kWh);	-	Energía generada durante la persistencia de las descargas Q_i ;
D_{t_i} , (h);	-	Tiempo de persistencia del caudal Q_i ; y
$i=1, 2, \dots$	-	Número de días del período analizado.
S = Pendiente.		



Considerando:

$$H_i = L_i J / 1000$$

- L_i , (m); - Distancia recorrida por el caudal Q_i ; y
 J , (‰); - Pendiente longitudinal de la corriente;

$$L_i = v_i t$$

- v_i , (m/s); - Velocidad del flujo; y
 t , (s); - Tiempo de recorrido de la distancia L_i .

Considerando el tiempo de recorrido del caudal Q_i de un segundo (1.00s), y la pendiente longitudinal de la corriente (J) de 5.50‰, las ecuaciones indicadas se transforman de modo siguiente:

$$L_i = v_i$$

$$H_i = 0.0065 v_i$$

$$N_i = 0.06377 Q_i v_i$$

$$E = 0.06377 S Q_i v_i D t_i$$

Para la evaluación de velocidad del flujo (v_i), se ha considerado el flujo uniforme y la ecuación Chezy-Manning:

$$Q = (J^{0.50} / n) A R^{2/3}$$

$$R = A / P$$

- Q , (m³/s); - Caudal del flujo;
 $J = 6.50$ ‰; - Pendiente longitudinal de la corriente;
 $n = 0.040$; - Coeficiente de rozamiento de Manning;
 A , (m²), - Superficie de la sección mojada de la corriente



-
- R, (m); - Radio hidráulico de la sección mojada de la corriente;
- P, (m) - Perímetro de la sección mojada de la corriente.

Considerando el cauce ancho de la corriente, y las correspondientes constantes hidráulicas del flujo (**n** y **J**), la ecuación Chezy - Manning de se transforma de modo siguiente:

$$(J^{0.50}/n)=2.01556$$

$$A=hB$$

$$P=B$$

$$R=h$$

$$q=Q/B$$

$$q=2.01556h^{5/3}; \text{ y al final:}$$

$$h=0.65669q^{0.60}$$

- h, (m); - Tirante de agua;
- q, (m³/s/m); - Descarga unitaria por la unidad de ancho del cauce; y
- B, (m); - Ancho del cauce.

2.4.3.2 Nivel de la Cresta de los Diques de Encauzamiento y de Defensa Ribereña

A diferencia de obras de defensa contra inundaciones, para la evaluación el nivel de la cresta y/o del borde superior de las obras de encauzamiento no se considera la necesidad del borde libre alguno,



es decir este nivel será el evaluado nivel del pelo de agua del correspondiente caudal de diseño, sin embargo por seguridad se considerara un borde libre promedio de 0.50 m, de tal manera de que el nivel de la línea de energía este dentro del borde libre.

2.4.3.3 Dimensiones y Niveles de Cimentación de la Uña de Protección de los Diques

Las dimensiones de la uña y los niveles de cimentación de la misma, se deberán determinar de acuerdo con las evaluadas profundidades de la socavación general del cauce, de acuerdo como se presente el caso según la forma y propiedades técnicas de obras mencionadas.

2.4.3.4 Dimensionamiento del Enrocado de Protección de los Taludes y la Uña de las obras de defensa

El dimensionamiento del espesor y de la composición granulométrica del enrocado, para la protección del talud mojado y para la Conformación de la uña de los diques así como para la conformación del cuerpo de los espigones, se calcula indirectamente con las velocidades del flujo en régimen supercrítico, para el correspondiente caudal de diseño.

2.4.3.5 Elección de los Materiales Para la Construcción de las obras de defensa

La elección de los materiales para la construcción de la obra de protección se llevará a cabo sobre la base de los criterios técnicos y económicos, y normas técnicas vigentes para las obras semejantes,



nacionales y/o internacionales, de acuerdo con las propiedades técnicas de la obra, y físicas del ámbito.

2.4.3.6 Camino de Servicio de las Obras de Defensa

La superficie de rodadura del camino de servicio consiste en una capa de afirmado de 0.20 m. de espesor, colocada sobre la base de una capa del relleno con material gravo-arenoso, procedente de la cantera de San pedrito 0.30 m de espesor. La superficie del terreno antes de la colocación de la capa de base deberá ser limpiada, desmontada y compactada adecuadamente. El ancho de la superficie de rodadura terminada es de 3.00 m.

2.4.3.7 Normas y Reglamentos Técnicos para el Diseño de las Obras de Defensa

El diseño de la obra de protección se llevará a cabo sobre la base de las normas y reglamentos técnicos para obras semejantes, tanto nacional como internacional, **Anexo 05B - Reglamentos.**

2.4.3.8 Cálculos Hidráulicos, Capacidad de Arrastre de Sedimentos del Flujo y Evaluación de la Profundidad de Socavación General y Local del Cauce.

Los cálculos hidráulicos, la capacidad de arrastre de sedimentos del flujo de la corriente y la evaluación de la profundidad de socavación, para los fines pertinentes, se llevaron a cabo de acuerdo a los Criterios y Modelos Matemáticos señaladas en los ítems anteriores, del presente documento.



2.4.4 Elementos para la Protección del Dique

Debido a su ubicación en la misma orilla izquierda del río Santa, el dique de defensa proyectado a lo largo de toda su longitud está expuesto a los severos impactos de la corriente, con enorme carga energética, y por lo tanto corren serios peligros de los daños y/o destrucción por erosión de su cuerpo y por socavación de sus cimientos, y por lo tanto es necesario que lleven la protección adecuada en la talud mojado y su talón.

De acuerdo con las propiedades hidráulicas e hidroenergéticas del río Santa en el tramo aludido, como la protección técnicamente adecuada y viable del dique contra la erosión y socavación se va a considerar el enrocado del talud mojado, con una uña de cimentación en el talón del dique. Considerando que todos los diques existentes ya cuentan con la protección de enrocado en su talud mojado, de acuerdo con el régimen hidráulico del río, el dique se tiene que proteger para cumplir con los niveles de cimentación, espesor, pendiente del talud y la composición granulométrica de la roca, necesarios para el régimen y propiedades hidráulicas del río para el Caudal de Diseño.

De acuerdo con la ubicación de los taludes referente a la dirección de la corriente y su exposición a impactos del flujo, y la magnitud de la velocidad del flujo (5.00 m/s), se han considerado ecuaciones y nomogramas consistentes y confiables para el dimensionamiento de los elementos de protección del talud y el talón del dique, contra la erosión y la socavación, como el Nomograma de Cálculo Estructural del Enrocado, proporcionado por el Proyecto Especial Chincas, ver Anexo N°05 C – Nomogramas.



La uña de cimentación de enrocado es de forma trapezoidal, con taludes de inclinación que se determinaron de acuerdo a las características del suelo.

El dimensionamiento del enrocado de protección se diseño en forma indirecta en función de la velocidad y el tirante del flujo en la margen considerada así como su estabilidad es función de su tamaño ya sea expresado en peso o diámetro equivalente, aparte de los nomogramas que se utilizaron para el dimensionamiento, también se emplearan las siguientes ecuaciones:

(1) Según Maynard:

$$(d_{50}/y) = (C_1)(F)^3$$

$$F = (C_2)(V)/(gy)^{0.5}$$

V, (m/s); - Velocidad del flujo.

y, (m); - Tirante del agua.

C₁, - Coeficiente:

- Fondo plano: 0.25.

- Talud: 1V/3H: 0.28

- Talud: 1V/2H: 0.32

C₂, - Coeficiente:

- Tramos en curva: 1.25.

- Tramos rectos: 1.50

- En el extremo de los espigones: 2.00.



(2) Según Isbash:

$$V = 1.70(\Delta g d)^{0.5}$$

$$\Delta = (\rho_1 - \rho) / \rho_1$$

ρ_1 , (Tn/m³); - Densidad de las rocas.

ρ , (Tn/m³); - Densidad del agua.

Δ - 1.6

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2.$$

d , (m); - Diámetro de la roca.

(3) Según Goncharov:

$$V / (\Delta g d)^{0.5} = 0.75 \log(8.8y/d)$$

$$\Delta = (\rho_1 - \rho) / \rho_1$$

ρ_1 , (Tn/m³); - Densidad de las rocas.

ρ , (Tn/m³); - Densidad del agua.

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2.$$

y , (m); - Tirante de agua.

d , (m); - Diámetro de la roca.

(4) Recomendación del U. S. Department of Transportation

$$d_{50}^1 = 0.001 V^3 / (y^{0.5} K_1^{1.5}); \text{ Sistema ingles}$$

$$K_1 = (1 - (\text{sen}^2 \Theta / \text{sen}^2 \phi))^{0.5}$$



El tamaño recomendado de la roca es:

$$d_{50} = (C_0)(d_{50}^I)$$

$$C_0 = (C_{sg})(C_{sf})$$

$$C_{sg} = 2.12/(DR - 1)^{1.5}$$

$$C_{sf} = (F_s/1.2)^{1.5}$$

Θ ,	-	Angulo de inclinación del talud.
Φ ,	-	Angulo de inclinación del enrocado.
DR,	-	Densidad relativa.
F_s ,	-	Factor de seguridad.
V, (ft/s);	-	Velocidad del flujo.
y, (ft);	-	Tirante del flujo.
d_{50} , (ft);	-	Diámetro de la roca.

De acuerdo a los resultados de la evaluación hidráulica en lo que se refiere a los valores de las velocidades obtenidos se han considerado cuatro tipos (I, II,) de enrocados para su protección contra la erosión y la socavación del dique proyectado.

Los enrocados, que se han considerado en los taludes paralelos a la corriente, y por lo indicado son expuestos tanto a la erosión superficial como a la socavación general del cauce del río, están dimensionados de acuerdo a la velocidad de la corriente para el caudal de diseño que varía desde 3.50 a 6.5 m/s.



Para el tramo en estudio se han considerado los enrocados con los espesores, composición granulométrica y límites siguientes que deberá cumplir la roca:

a) Enrocado Tipo I:

Dr (100%): 900 mm ó 1000 Kg

Dr (50%): 700 mm ó 450 Kg

Dr (10%): 400 mm ó 100 Kg

Enrocado utilizado para el siguiente rango de velocidades: 3.90 a 4.50 m/s. El enrocado dispone con el talón de forma trapecial, con talud mojado de 1:0.5 y talud seco de 1:1, con un espesor horizontal (Thickness) en la corona del dique de 1.25 m.; de ancho al nivel superior de cimentación variable de 2.10 a 2.60 m., y de altura variable desde 2.10 m. hasta 2.60 m., para depositar un volumen de roca suelta variable desde 9.50 hasta 15.73 m³, suficiente para enfrentarse a la socavación general del cauce, de profundidad hasta 2.60 m.

b) Enrocado Tipo II:

Dr (100%): 1150 mm ó 2000 Kg

Dr (50%): 900 mm ó 1000 Kg

Dr (10%): 550 mm ó 250 Kg



Enrocado utilizado para el siguiente rango de velocidades: 4.50 a 5.10 m/s. El enrocado dispone con el talón de forma trapezoidal, con talud mojado de 1:0.5 y talud seco de 1:1, con un espesor horizontal (Thickness) en la corona del dique de 1.60 m.; de ancho al nivel superior de cimentación variable de 2.10 a 2.60 m., y de altura variable desde 2.10 m. hasta 2.60 m., para depositar un volumen de roca suelta variable desde 9.50 hasta 15.73 m³, suficiente para enfrentarse a la socavación general del cauce, de profundidad hasta 2.60 m.

2.5. CONSIDERACIONES FINALES

Con el propósito de evitar considerables gastos para el desvío del cauce principal del río Nepeña, la temporada para la ejecución de las obras, en general deberá ceñirse en la época de los mínimos requerimientos de agua para el riego, que corresponde al período de Junio a Octubre, con las demandas mínimas de 5.0 m³/s, que relativamente fácil, y sin obras costosas, se puedan desviar fuera del sitio de trabajo. Es evidente que los otros meses con los requerimientos de agua para el riego, que fluctúan entre 20 y 60 m³/s, son completamente inadecuados para la ejecución de las obras civiles en las orillas y/o cauce del río Santa, debido a la necesidad de la construcción de las costosas obras provisionales de desvío del cauce principal del río.

2.6. EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES

El análisis ambiental determinara la existencia de riesgo ambiental tanto al medio ambiente como al ecosistema de la zona.



Las obras formaran parte del sistema de defensas ribereñas construidas en el sector aludido, que han contribuido a la protección de la infraestructura de riego, así como propiedades de campesinos que fueron desplazados, por efecto de la construcción de las obras del Proyecto Especial Chincas.

2.7. ANALISIS DE RIESGO Y VULNERABILIDAD

Las Obras de defensa en el tramo aludido, se orientan a la protección de la infraestructura en riesgo, para la preservación y mejoramiento de los niveles de producción en los sectores de riego Nepeña , poblados colindantes a la obra, así como del transporte y acceso hacia la parte media y alta de la Cuenca Nepeña, con lo que se estará contribuyendo a superar los niveles de pobreza en su zona de influencia; además también en casos extraordinarios permitirá garantizar el normal suministro de agua para atender en forma normal a las áreas de mejoramiento de los sectores indicados.

Con la obra se eliminará el estado de vulnerabilidad en la zona y en los sectores involucrados en su área de influencia, para lo cual se superarán las deficiencias estructurales actuales, así como enrocado para protección de los taludes por erosión y socavación.



CAPÍTULO III



CAPÍTULO III

Materiales y Métodos

3.1.- DESCRIPCIÓN DEL MODELO HEC-RAS versión 4.1.0

3.1.1.- MODELO

El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis de flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre de agua para distintos gastos circulantes.

El programa realiza cálculos hidráulicos unidimensionales para redes hídricas ya sea natural o artificial.

Realiza un Análisis hidráulico:

- Régimen Permanente
- Régimen Impermanente
- Transporte de Sedimentos
- Trabaja en forma modulada, a través de archivos “planes” se ligan los distintos módulos. Esto da gran flexibilidad a la modelación.
- Reporte de resultados
 - Gráficos
 - Tablas

Características Técnicas

- Cálculo Hidráulico de Estructuras.
- Visualización gráfica de datos y resultados.
- Edición Gráfica de secciones.
- Ejecución en entorno Microsoft Windows.

Se realiza un modelo unidimensional

CONSIDERACIONES GENERALES DEL MODELO HIDRÁULICO DE

HEC – RAS

Ecuación de Energía

- Entre una sección y otra, se resuelve la ecuación de energía (Bernoulli) para obtener las alturas de escurrimiento

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Donde:

Y_1, Y_2 = Altura de agua en las secciones transversales 1 y 2

Z_1, Z_2 = Cota de terreno las secciones transversales 1 y 2

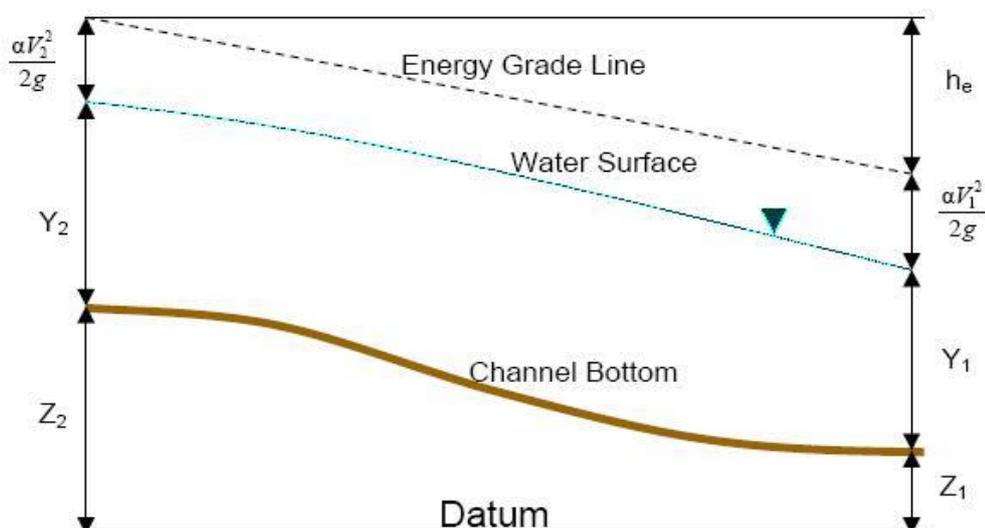
V_1, V_2 = velocidades promedio de la sección

α_1, α_2 = coeficientes de ajuste de velocidades

g = aceleración de la gravedad

h_e = pérdida de carga.

Ecuación de Energía





Pérdidas h

La pérdida de carga (h_e) es considerada como la suma de la pérdida friccional entre dos secciones y la diferencia entre cargas de velocidad entre secciones ponderadas por un coeficiente de pérdida por contracción o expansión.

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Donde:

L = largo representativo del tramo

Sf = pendiente de fricción representativa entre dos secciones

C = coeficiente de pérdida por expansión o contracción

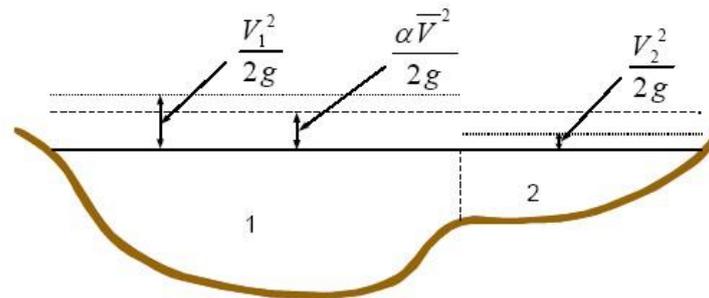
L se calcula como la suma de las distancia entre las subsecciones (planicies laterales y canal principal) ponderadas por sus respectivos caudales promedios y dividido por el caudal promedio total.

Coeficiente α

- Dado que el modelo es unidimensional es necesario utilizar solo una altura de velocidad, este coeficiente compatibiliza las diferencias entre las alturas de velocidad de las distintas subsecciones.

Se define en función de las áreas de flujo y la capacidad de conducción

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3}$$



Conducción o Transporte k

- Se define la capacidad de conducción de una subsección como el caudal dividido por la raíz de la pérdida de carga, esto se introduce en la ecuación de Manning.

$$K = \frac{Q}{\sqrt{S_f}} (m^3 / s)$$

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} (m^3 / s)$$

donde:

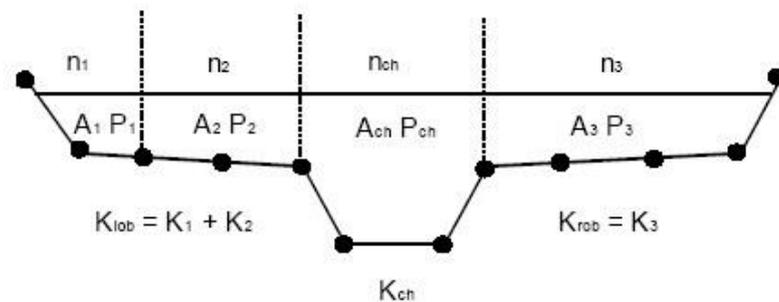
K = capacidad de transporte de una subdivisión

n = coeficiente de Manning de una subdivisión

A = área de flujo de una subdivisión

R = radio hidráulico de una subdivisión.

- Por defecto HEC-RAS considera subsecciones en donde existe variación del coeficiente de rugosidad de Manning, sin embargo, por compatibilidad con HEC-2 puede modificarse la definición de subsecciones en cada nodo del perfil (Estilo HEC-2)
- La conducción total de una sección será la suma de la conducción de las subsecciones



Pérdida friccional

La pérdida friccional se evalúa como la ponderación de la pendiente friccional representativa entre dos secciones por la distancia representativa L entre ellas.

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad \text{Pérdida friccional} = L \bar{S}_f$$

Para obtener la pendiente representativa HEC-RAS cuenta con cuatro métodos, por defecto utiliza el cuadrado del caudal total sobre la conducción total.

Cálculos

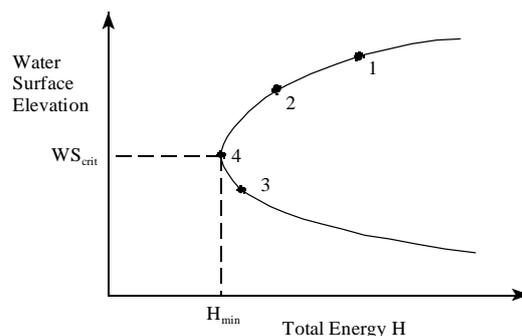
- Por defecto, HEC-RAS realiza 20 iteraciones, en caso de no encontrar una solución adecuada compara la altura crítica con el resultado de menor error de las iteraciones.
- si concuerda con el régimen del problema y su error es menor a 10 cm el programa entrega este valor,
- en caso de que no cumpla, HEC-RAS arrojará altura crítica en esa sección.

Ninguna de las dos soluciones (el Método Parabólico y el Método de la Secante) se debe dar por correcta, hasta revisar las advertencias del programa, HEC-RAS está diseñado para terminar los cálculos de la modelación por lo que siempre debe revisar las advertencias que el software muestra y aplicar su criterio para cerciorarse que las soluciones son adecuadas.

Altura crítica

- La altura crítica de una sección se define como el punto en que la energía (H) es mínima.

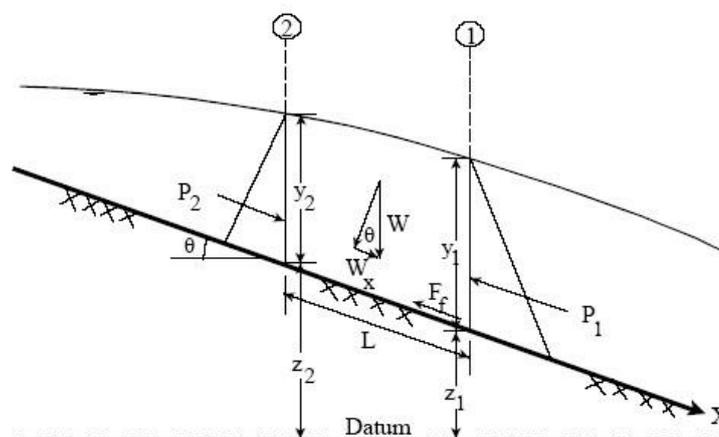
$$H = Z + Y + \frac{\alpha V^2}{2g}$$



- HEC-RAS utiliza dos métodos iterativos para obtener dicha altura, el método "parabólico" (por defecto) y el de "secante".

Ecuación de Momentum

- Cuando el flujo deja de ser gradualmente variado, la ecuación de energía ya no es válida.
- Las transiciones entre distintos regímenes (al pasar por crisis) no cumplen esta condición.
- El cambio de régimen puede ocurrir por diversos motivos (cambios bruscos de pendiente, sección, obstáculos, estructuras como puentes, alcantarillas, vertederos, etc) HEC-RAS alterna entre la aplicación de ecuaciones empíricas para estructuras especiales con un balance de fuerzas, o ecuación de Momentum.



$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \Delta V$$

Donde:

Pi: Presión hidrostática en la sección i

Wx: Peso del agua en la dirección x

F_f : Fuerza de fricción

Q : Caudal

ρ : Densidad del agua

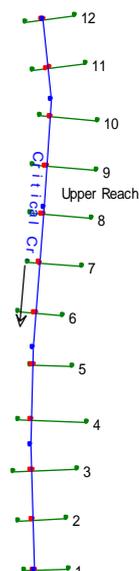
ΔV_x : Cambio de velocidad de la sección 2 a la 1 en la
dirección x.

Limitaciones

- Flujo gradualmente variado
 - Debe cumplirse ley hidrostática de presiones
 - En pequeños tramos que es rápidamente variado utiliza ecuación de momentum.
- Flujo unidimensional
 - Secciones SIEMPRE perpendiculares al flujo
- Pendientes menores a 10%

Altura de presión es considerada igual a la cota de agua.

Modelo unidimensional de Hec - Ras



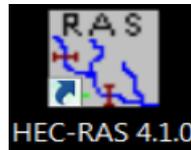
3.1.2.- VERSIONES

La versión empleada para el análisis de esta tesis es la versión HEC-RAS 4.1.0.

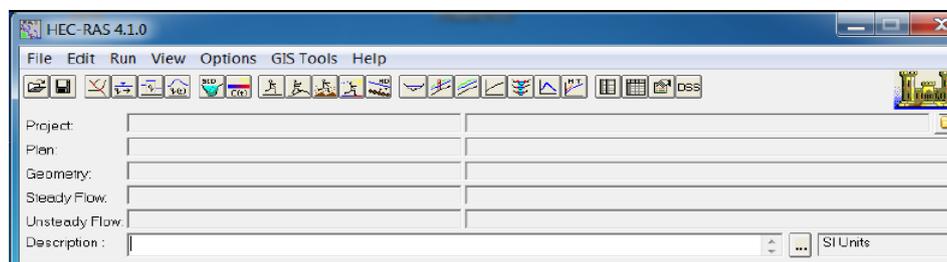
La primera versión del HEC RAS (versión 1) fue lanzada en julio de 1995.

La versión utilizada en la investigación es el HEC RAS (versión 4.1.) fue lanzada en enero del 2010.

ICONO DE INICIO DE HEC – RAS 4.1.0



ENTORNO DE HEC – RAS 4.1.0



3.1.3.- AUTORES

Es un software creado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineering), a fin de gestionar los ríos, puertos y otras obras públicas bajo su jurisdicción, ha encontrado una amplia aceptación por muchos otros, desde su lanzamiento público en 1995.

- Sus siglas significan:
 - RAS: River Analysis System.
 - HEC: Hydrologic Engineering Center.

HEC-RAS es un software de computadora, modela la hidráulica del flujo de agua a través de los ríos naturales y de otros canales o conductos. El programa es unidimensional, es decir, que no hay modelación directa del



efecto hidráulico en los cambios de forma en la sección transversal, curvas, y otros aspectos bidimensionales o tridimensionales del flujo. El Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) en Davis, California, desarrolló el Sistema de Análisis de río (RAS) para ayudar a los ingenieros hidráulicos en el análisis del flujo en canales y la determinación de inundaciones en zonas. Incluye numerosas capacidades de entrada de datos, análisis hidráulico de componentes, almacenamiento de datos y gestión, también presenta gráficos e informes.

3.1.4.- APLICABILIDAD

El programa fue diseñado de manera que por medio de la elaboración de modelos, se pueda realizar cálculos hidráulicos en una dimensión con régimen permanente para una red completa de cauces abiertos, canales, ríos ya sean naturales o artificiales.

HEC-RAS es un programa informático para el modelado de flujo de agua que circula en sistemas de canales abiertos. Algunos de los usos adicionales son: el diseño y análisis de puentes y alcantarillas, los estudios de los diques, y los estudios de modificación de canales. Puede ser utilizado para el análisis de presas, aunque otros métodos de modelado son actualmente más aceptados para este propósito.

Ventajas.-

HEC-RAS tiene sus ventajas, en particular, su apoyo por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE.UU., las mejoras futuras en progreso, y su aceptación por parte de muchos organismos públicos y empresas privadas. Está disponible en el dominio público, y disponible para su descarga



gratuita desde el sitio web de HEC. Varias empresas privadas están registradas oficialmente como "vendedores" ofrecen servicios de consultoría y apoyo. Algunos también distribuyen el software en los países que no están autorizados a acceder a los sitios web del Ejército de EE.UU.. Sin embargo, la descarga directa de HEC incluye una amplia documentación.

Desventajas.-

Los usuarios inexpertos pueden encontrar problemas de inestabilidad numérica, especialmente en las empinadas o en los ríos y arroyos con flujo turbulento. Los usuarios experimentados saben cómo utilizar correctamente HEC-RAS para superar los problemas de inestabilidad en la mayoría de los problemas del río. HEC-RAS es un modelo unidimensional hidrodinámico. No va a funcionar bien en ambientes que requieren de modelos multidimensionales. Sin embargo, hay características integradas que permiten a los usuarios con experiencia para simular varios sistemas hidráulicos multidimensionales.

3.1.5.- INGRESO DE DATOS

El objetivo principal del programa HEC-RAS es calcular alturas de agua en todas las localidades de interés para determinados caudales. Los datos necesarios para realizar estos cálculos están divididos en :

- Datos Geométricos
- Datos de Flujo Permanente

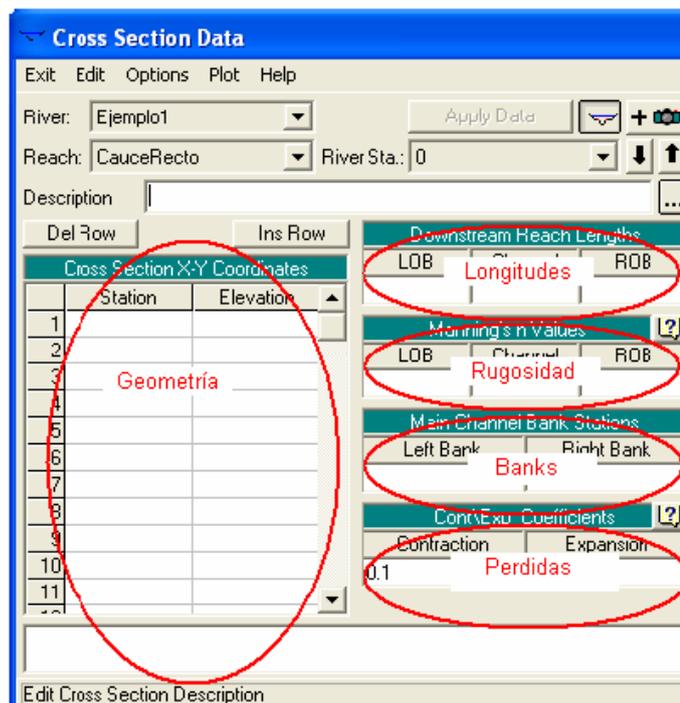
Nota: Datos geométricos se requieren en cualquier análisis realizado dentro de HEC-RAS.

3.1.5.1.- Datos geométricos

- Esquema de río
 - Morfología de la red
 - Conectividad entre cauces
 - Definición de puntos de intersección
 - Nomenclatura (Cauces, tramos e intersecciones)
- Secciones transversales
 - Topografía del cauce
 - Distancia entre secciones
 - Singularidades
 - Coeficientes de pérdida de energía.

ENTORNO DONDE SE INGRESA LOS DATOS GEOMETRICOS DE HEC

– RAS 4.1.0



Cross Section Data

Exit Edit Options Plot Help

River: Ejemplo1 Apply Data

Reach: CauceRecto River Sta.: 0

Description

Del Row	Ins Row	Station	Elevation
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			

Downstream Reach Lengths

LOB Longitudes ROB

Manning's n Values

LOB Channel ROB

Rugosidad

Main Channel Bank Stations

Left Bank Banks Right Bank

Contraction Coefficients

Contraction Expansion

0.1 Perdidas

Edit Cross Section Description

INGRESANDO DATOS DE LA GEOMETRIA DE LA SECCIÓN

Cross Section Data - Base Geometry Data

Exit Edit Options Plot Help

River: Apply Data

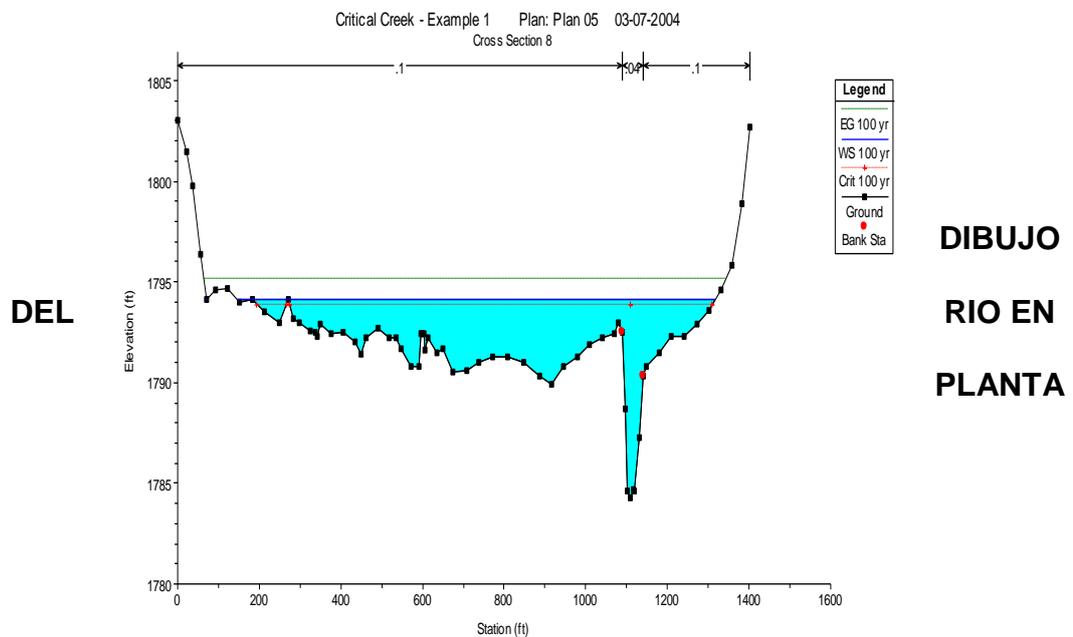
Reach: River Sta.:

Description:

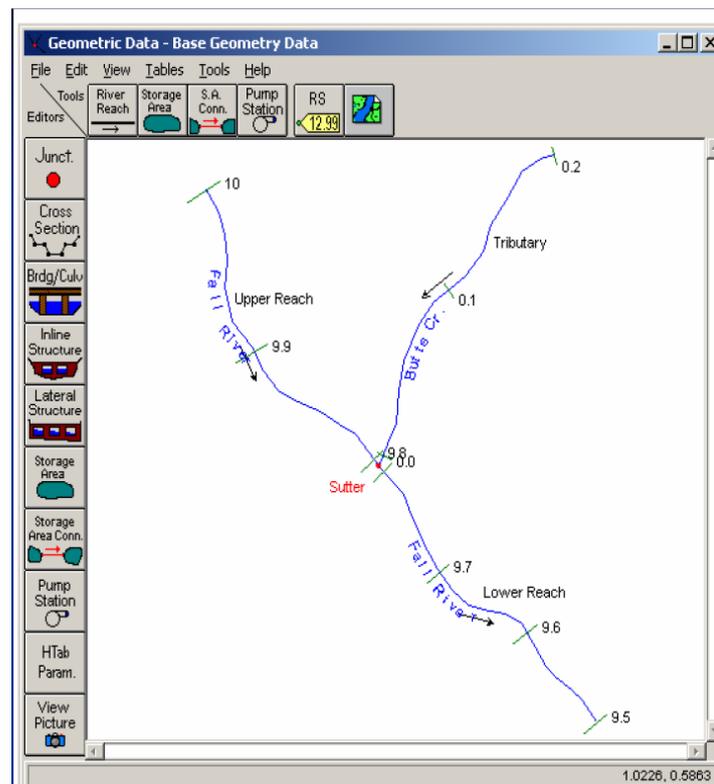
Cross Section X-Y Coordinates		Downstream Reach Lengths		
Station	Elevation	LOB	Channel	ROB
1	110	89.1	0	0
2	117.2	79.1	Manning's n Values	
3	174.8	77.1	LOB	Channel
4	184.8	69.1	0.06	0.035
5	204.8	70.1	Main Channel Bank Stations	
6	214.8	78.1	Left Bank	Right Bank
7	294	80.1	174.8	214.8
8	301.2	90.1	Cont\Exp Coefficients	
9			Contraction	Expansion
10			0.1	0.3

Enter to move to next downstream river station location

DIBUJO DE LA SECCION TRANSVERSAL.



MOSTRANDO LA DIRECCION DEL FLUJO.



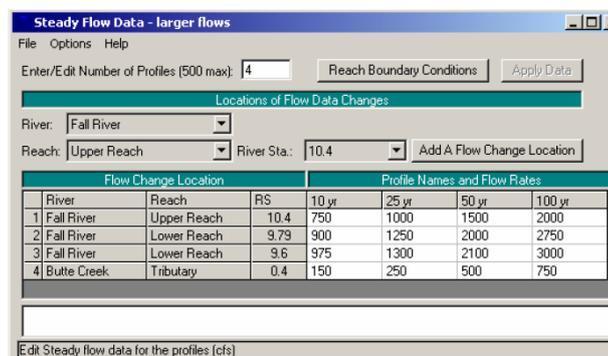
3.1.5.2.- Datos de flujo

- El modelo realiza sus cálculos a partir de una sección transversal con condiciones iniciales conocidas o supuestas y siguen aguas arriba para flujo subcrítico o aguas abajo para flujo supercrítico.
- Para régimen subcrítico el modelo restringe como resultados correctos valores mayores a la altura crítica.
- Para régimen supercrítico el modelo restringe como resultados correctos valores menores a la altura crítica.
- En casos donde el régimen de flujo cambia de subcrítico a supercrítico, o viceversa, el usuario debe ejecutar el programa en modo de régimen de flujo mixto.

Una vez que se incorporen los datos geométricos, el modelo puede entonces considerarse como flujo constante o flujo inestable. El tipo de datos del flujo incorporados depende del tipo que se considere.

VENTANA GRAFICA DONDE INGRESAR DATOS DE FLUJO, LOS
DIFERENTES PERFILES O PERIODOS DE RETORNO DEL DISEÑO EN

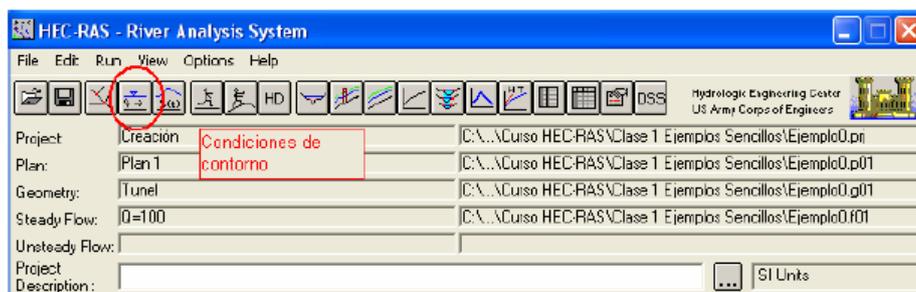
HEC – RAS 4.1.0



3.1.5.3.- Condiciones de Borde

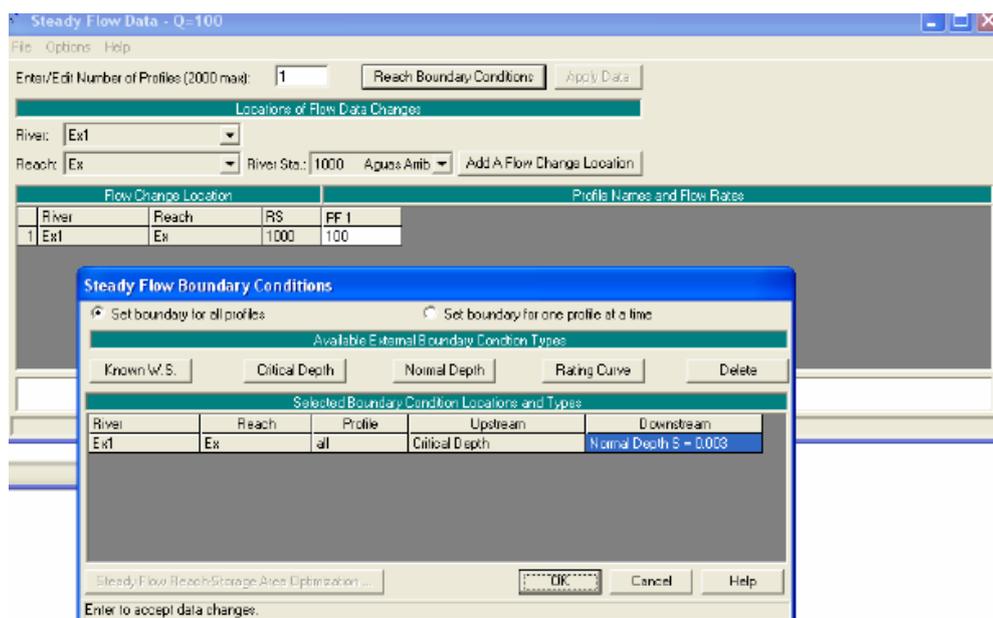
- Según el régimen en que se encuentre el flujo, su comportamiento estará condicionado desde aguas arriba (torrente) o aguas abajo (río).
- Para régimen subcrítico (río) se requieren condiciones de borde en la última sección de aguas abajo.
- Para régimen supercrítico (torrente) se requieren condiciones de borde en la **primera sección de aguas arriba**.

Para régimen mixto, HEC-RAS necesita ambas condiciones de borde.



La pantalla principal que aparece ahora es la que nos permite imponer los caudales, de manera automática el programa detecta cuantos tramos hay en la geometría y permite introducir un caudal para cada uno de ellos, por defecto el caudal se introduce aguas arriba del tramo y es posible introducir nuevos caudales en diferentes puntos del tramo.

Además de los tramos en los que varia el caudal también se debe el número de caudales de cálculo, es decir para una misma configuración podemos probar caudales diferentes. Para empezar asignaremos un caudal de 100 m³/s y pasaremos a imponer las condiciones de contorno sobre el calado, para ello ejecutamos Reach Boundary Conditions.



Vemos que existen diferentes alternativas para dar los calados en los extremos del tramo, se puede hacer como una cota absoluta de agua (Known W.S.), el calado crítico, un calado normal o una curva de aforo. Todos estos métodos acaban conduciendo a la imposición de un calado.

Imponer el calado normal supone que introducimos la pendiente y el programa calcula a que calado normal corresponde esta pendiente.

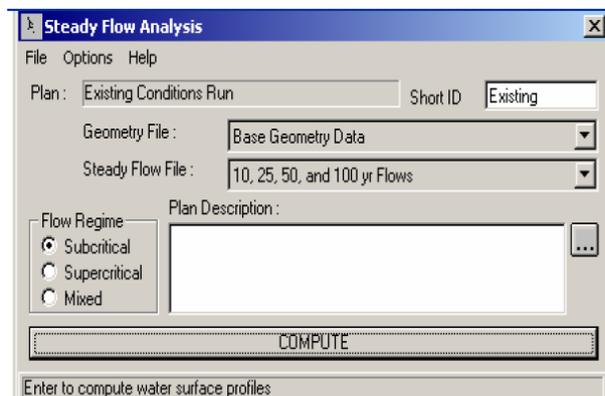
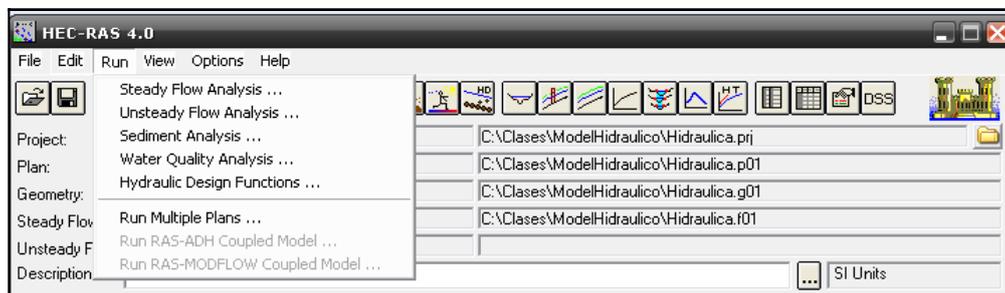
3.1.6.- RESULTADOS A OBTENER

Una vez que se incorpore todos los datos geométricos y los datos de flujo, el modelo puede comenzar a realizar los cálculos hidráulicos. Según lo indicado previamente, hay 3 tipos de cálculos que se pueden realizar en la versión actual del HEC-RAS: análisis de flujo constante, análisis de flujo inestable y funciones hidráulicas de diseño. Se hace correr el programa:

Run (Correr)

Esta opción se usa para realizar los cálculos hidráulicos. Las opciones bajo este ítem incluyen:

Análisis de Flujo Uniforme;
Análisis de Flujo Variado;
Análisis del Sedimento; y
Funciones de diseño Hidráulico.
Múltiples planes



Resultados de perfil longitudinal

6.1 Resultados de perfil longitudinal

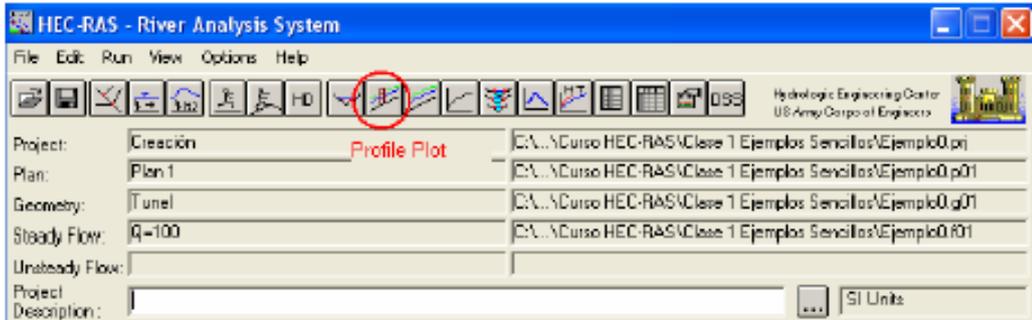
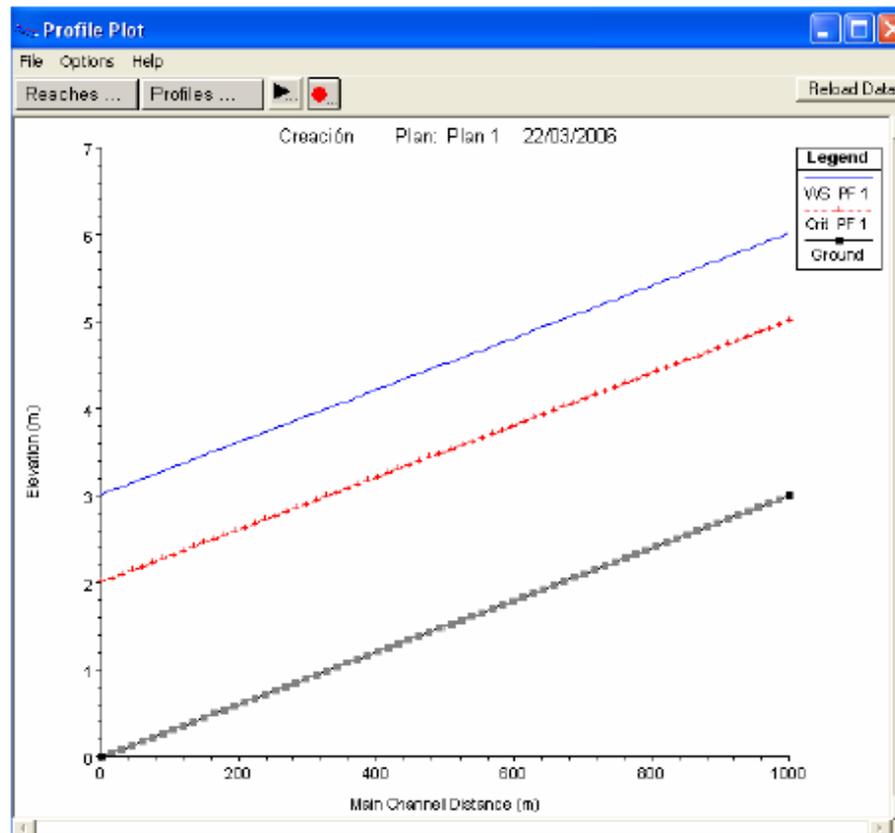


Gráfico de perfil Longitudinal

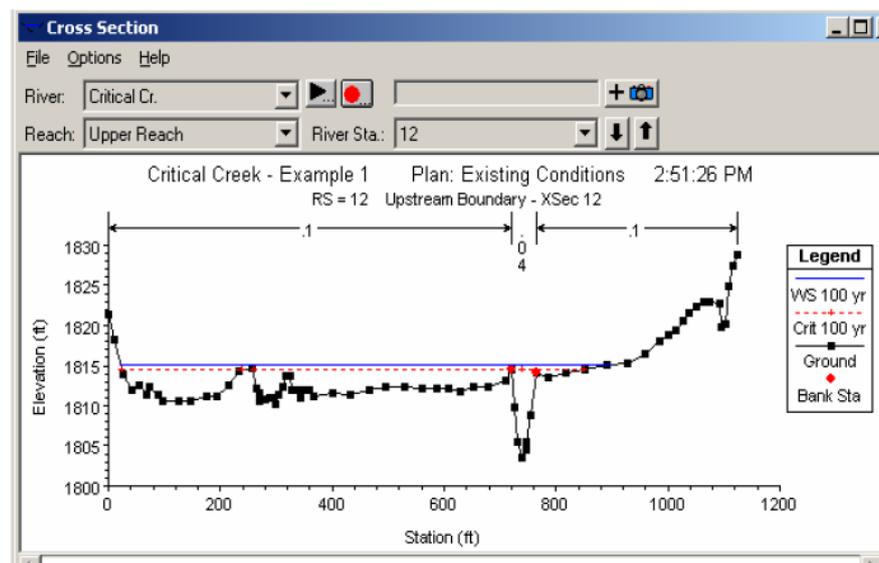
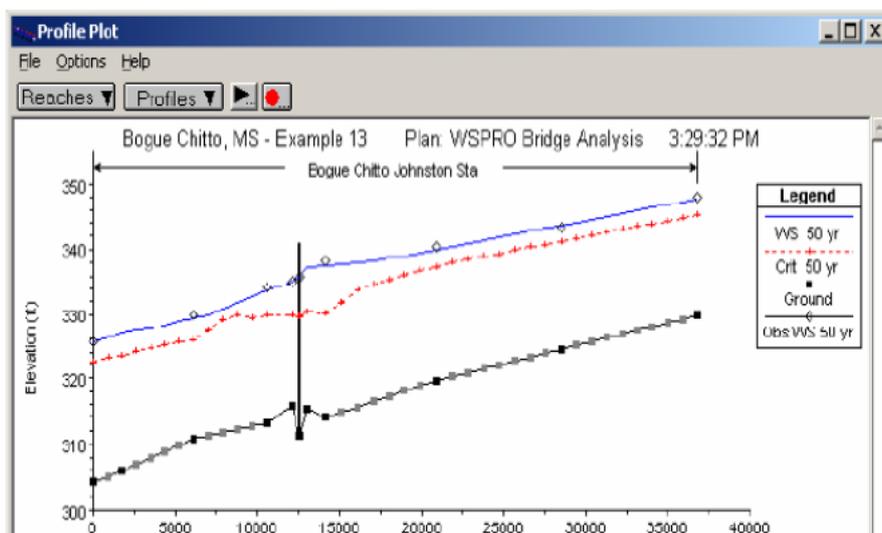


OBTENER E IMPRIMIR RESULTADOS

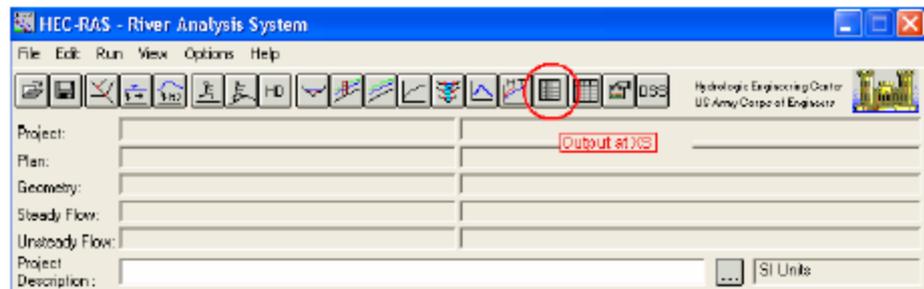
Una vez que el modelo haya acabado todos los cálculos, la modelación puede comenzar a ver los resultados.

Las opciones de la copia de los gráficos se pueden lograr de dos diversas maneras que los diagramas gráficos se pueden enviar directamente de HEC-RAS a cualquier impresora, como estos gráficos por ejemplo:

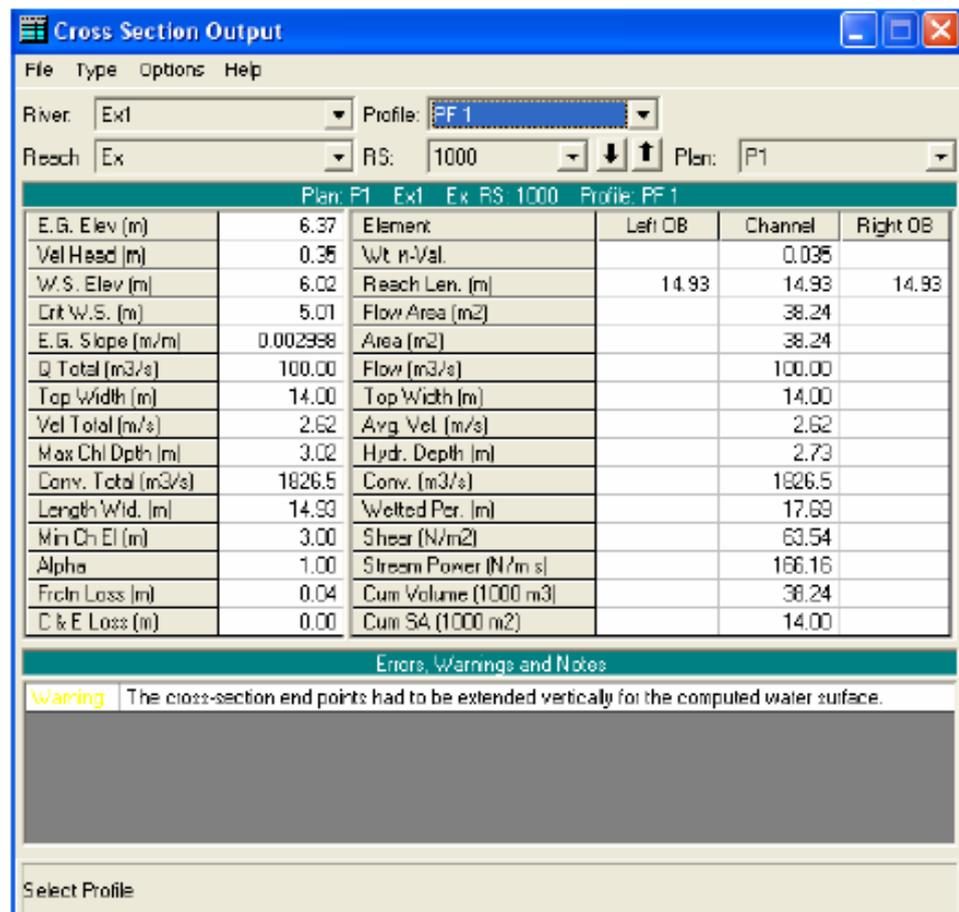
Perfiles Longitudinales y secciones



Resultados por sección transversal



Luego aparece el siguiente cuadro, con las características de la sección transversal:



Cross Section Output

File Type Options Help

River: Ex1 Profile: PF 1

Reach: Ex RS: 1000 Plan: P1

Plan: P1 Ex1 Ex RS 1000 Profile: PF 1					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	6.37	Wt n-Val		0.035	
Vel Head (m)	0.35	Reach Len. (m)	14.93	14.93	14.93
W.S. Elev (m)	6.02	Flow Area (m ²)		38.24	
Crit W.S. (m)	5.01	Area (m ²)		38.24	
E.G. Slope (m/m)	0.002998	Flow (m ³ /s)		100.00	
Q Total (m ³ /s)	100.00	Top Width (m)		14.00	
Top Width (m)	14.00	Avg Vel (m/s)		2.62	
Vel Total (m/s)	2.62	Hyd. Depth (m)		2.73	
Max Chl Dpth (m)	3.02	Conv. (m ³ /s)		1826.5	
Conv. Total (m ³ /s)	1826.5	Wetted Per. (m)		17.69	
Length Wtd. (m)	14.93	Shear (N/m ²)		63.54	
Min Ch El (m)	3.00	Stream Power (N/m s)		166.16	
Alpha	1.00	Cum Volume (1000 m ³)		38.24	
Frcn Loss (m)	0.04	Cum SA (1000 m ²)		14.00	
C & E Loss (m)	0.00				

Errors, Warnings and Notes

Warning The cross-section end points had to be extended vertically for the computed water surface.

Select Profile

Se puede imprimir las perspectivas para una buena presentación

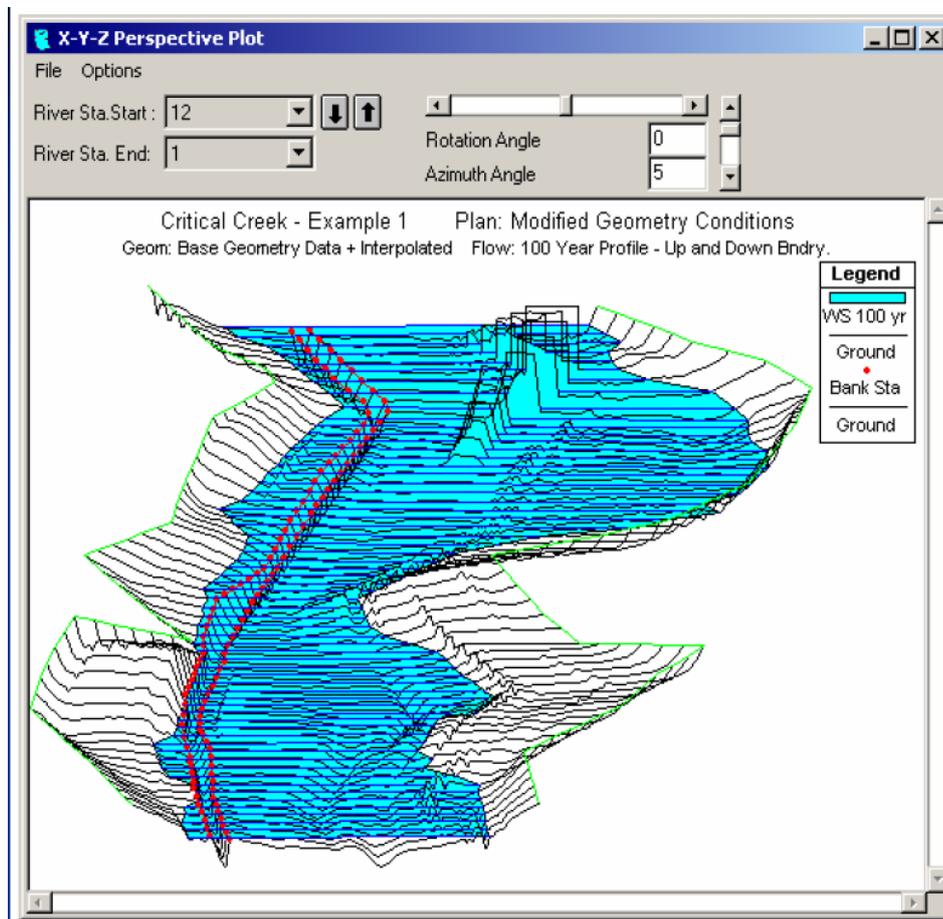
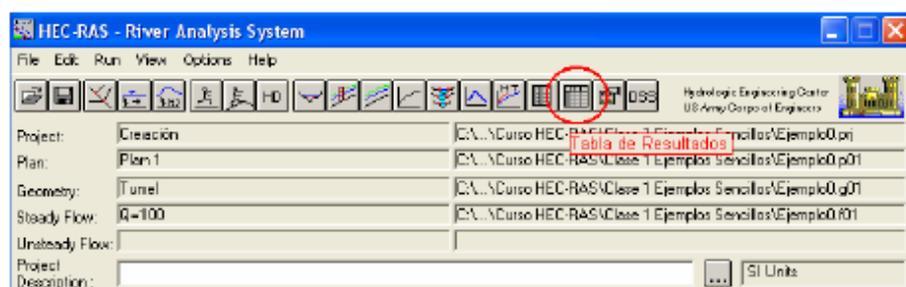


TABLA DE RESULTADOS

Se muestra el icono que hay que ingresar para acceder a los diferentes resultados de las tablas.

6.4 Tabla de resultados



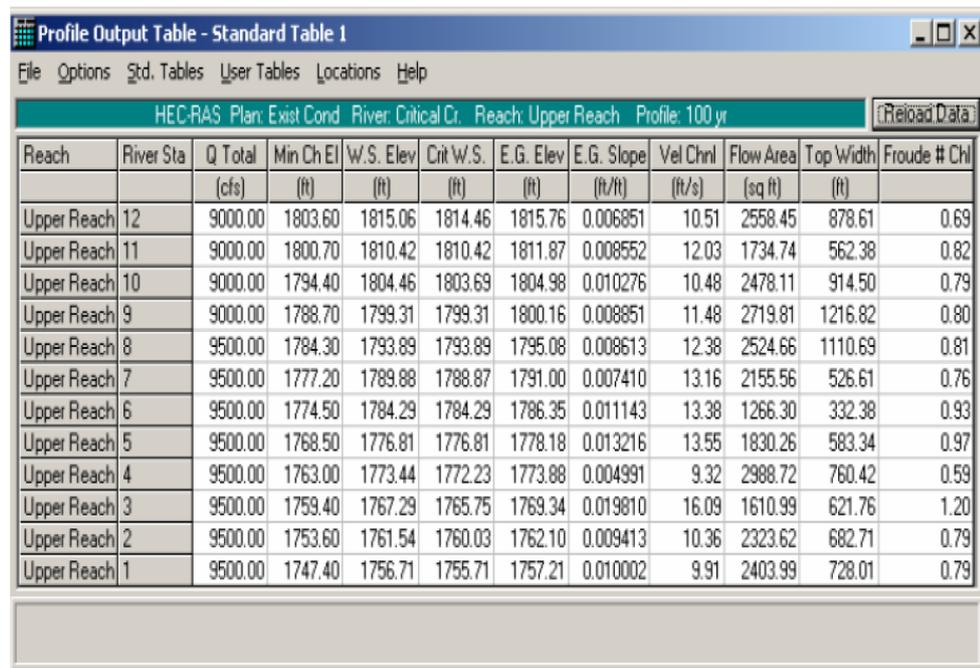


La salida tabular está disponible en dos diversos formatos. El primero tipo de salida tabular proporciona resultados hidráulicos detallados en una localización seccionada transversalmente específica (Detailed Output Table)

Cross Section Output					
File Type Options Help					
River: Critical Cr.		Profile: 100 yr			
Reach: Upper Reach		Riv Sta: 12			
Plan: Modified Geo Critical Cr. Upper Reach RS: 12 Profile: 100 yr					
E.G. Elev (ft)	1816.02	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (ft)	0.48	Wt. n-Val.	0.100	0.040	0.100
W.S. Elev (ft)	1815.54	Reach Len. (ft)	100.00	100.00	100.00
Crit W.S. (ft)	1814.46	Flow Area (sq ft)	2473.60	342.47	177.74
E.G. Slope (ft/ft)	0.004567	Area (sq ft)	2473.60	342.47	177.74
Q Total (cfs)	9000.00	Flow (cfs)	5748.43	3068.15	183.42
Top Width (ft)	915.30	Top Width (ft)	699.71	45.00	170.59
Vel Total (ft/s)	3.01	Avg. Vel. (ft/s)	2.32	8.96	1.03
Max Chl Dpth (ft)	11.94	Hydr. Depth (ft)	3.54	7.61	1.04
Conv. Total (cfs)	133182.4	Conv. (cfs)	85065.5	45402.7	2714.3
Length Wtd. (ft)	100.00	Wetted Per. (ft)	702.56	50.80	170.61
Min Ch El (ft)	1803.60	Shear (lb/sq ft)	1.00	1.92	0.30
Alpha	3.41	Stream Power (lb/ft s)	2.33	17.22	0.31
Frctn Loss (ft)	0.54	Cum Volume (acre-ft)	216.87	42.90	10.36
C & E Loss (ft)	0.04	Cum SA (acres)	79.60	6.44	7.92
Errors, Warnings and Notes					

El segundo tipo de salida tabular demuestra un número limitado de las variables hidráulicas para varias secciones representativas y perfiles múltiples (Profile Summary Tables).

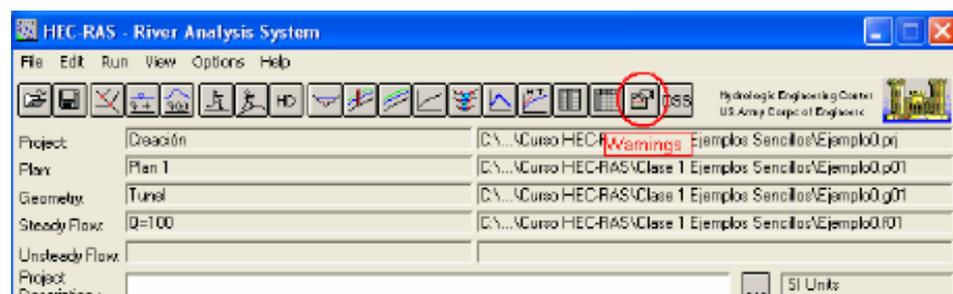
La salida tabular se puede enviar directamente a la impresora o pasar a través de sujeta papeles de manera semejante mientras que la salida gráfica describió previamente. Esta opción está también disponible bajo menú de archivo en cada ventana de tabla.



Reach	River Sta	Q Total (cfs)	Min Ch El (ft)	W.S. Elev (ft)	Crit W.S. (ft)	E.G. Elev (ft)	E.G. Slope (ft/ft)	Vel Chnl (ft/s)	Flow Area (sq ft)	Top Width (ft)	Froude # Chl
Upper Reach	12	9000.00	1803.60	1815.06	1814.46	1815.76	0.006851	10.51	2558.45	878.61	0.69
Upper Reach	11	9000.00	1800.70	1810.42	1810.42	1811.87	0.008552	12.03	1734.74	562.38	0.82
Upper Reach	10	9000.00	1794.40	1804.46	1803.69	1804.98	0.010276	10.48	2478.11	914.50	0.79
Upper Reach	9	9000.00	1788.70	1799.31	1799.31	1800.16	0.008851	11.48	2719.81	1216.82	0.80
Upper Reach	8	9500.00	1784.30	1793.89	1793.89	1795.08	0.008613	12.38	2524.66	1110.69	0.81
Upper Reach	7	9500.00	1777.20	1789.88	1788.87	1791.00	0.007410	13.16	2155.56	526.61	0.76
Upper Reach	6	9500.00	1774.50	1784.29	1784.29	1786.35	0.011143	13.38	1266.30	332.38	0.93
Upper Reach	5	9500.00	1768.50	1776.81	1776.81	1778.18	0.013216	13.55	1830.26	583.34	0.97
Upper Reach	4	9500.00	1763.00	1773.44	1772.23	1773.88	0.004991	9.32	2988.72	760.42	0.59
Upper Reach	3	9500.00	1759.40	1767.29	1765.75	1769.34	0.019810	16.09	1610.99	621.76	1.20
Upper Reach	2	9500.00	1753.60	1761.54	1760.03	1762.10	0.009413	10.36	2323.62	682.71	0.79
Upper Reach	1	9500.00	1747.40	1756.71	1755.71	1757.21	0.010002	9.91	2403.99	728.01	0.79

Warnings

Importantísimo para poder los errores ocurridos durante el cálculo.





CAPÍTULO IV



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1. Resultados

Para la evaluación hidráulica de las obras de defensa y encauzamiento en el tramo indicado, en su estado actual y proyectado respecto al comportamiento de la corriente del río; se han llevado a cabo las evaluaciones hidráulicas, para los caudales de diseño de **88 y 122 m³/s**, con el empleo del programa Hec – Ras, versión 4.1.0. para un periodo de retorno de 500 y 1000 años.

Se realizó el Cálculo hidráulico y estructural de los diques de protección del río Nepeña en el sector puente Huambacho, tal como se adjuntan en los anexos como es corona, alturas, cimentación entre otros.

Con el Levantamiento topográfico realizado, se estimó el coeficiente n de Manning, Teniendo en cuenta la presencia del material grueso incluyendo bolonería en el lecho y de acuerdo con las propiedades geológicas de los contornos del cauce. Para la evaluación de las pérdidas energéticas lineales se ha considerado el coeficiente de rugosidad de Manning, **n= 0.040**, tanto para el cauce menor, como para el cauce mayor, dato necesario para el software Hec – Ras 4.1.0.

El tipo de flujo que se está trabajando, de acuerdo a la pendiente y la velocidad, se determina si el flujo es subcrítico, supercrítico o mixto según los diferentes tramos evaluados, el programa da como resultados el área de inundación según las secciones, aquí se puede apreciar que



evidentemente se necesita una defensa contra las potenciales inundaciones, pudiendo a partir de esto obtener la longitud de la Defensa, y la altura de corona del dique, como se muestra en el cuadro N°08:

Cuadro N°08: Resumen de los tipos de Enrocado.

Kilometraje en el Río (km)	TIPO DE SECCION	TRAMO	LONG.(ml)	ALTURA PROMEDIO (ml)	N° DE DIQUE
0+000-0+600	I	I	600	3.00	DIQUE I
0+600-1+450	II	II	850	3.50	DIQUE II
1+450-2+000	I	III	550	3.00	DIQUE I

Fuente: Elaboración Propia.

- De acuerdo a los resultados de las evaluaciones de estabilidad llevadas a cabo, se considerará las siguientes características geométricas de los terraplenes de los Diques:

Cuadro N°09: Resumen de Talud y Bases Superior e Inferior de los Terraplenes.

Terraplén del Dique			
Talud Mojado (1/Z)	Talud Seco (1/Z)	Base Superior (m)	Base Inferior (m)
1/0.50	1/1	3.60 – 5.10	13 - 22

Fuente: Elaboración Propia.

- En el Anexo N°01 – Planos de Planta y Perfil de Diques (I, II, III y IV) se muestra el perfil longitudinal por tramo y la altura dique correspondiente, mostrando además el tipo de enrocado seleccionado.
- Es de resaltar que las evaluaciones anteriores se realizaron considerando dos eventos:



-
- (1) El cauce sin dique de encauzamiento.
 - (2) El cauce con dique de encauzamiento.

4.2. Análisis y discusión de resultados

- De acuerdo con los resultados de la evaluación hidráulica, Sedimentológica y Socavación General del Cauce del río Nepeña, en el sector puente Huambacho 01Km Aguas arriba y 01km aguas abajo, se verifica los modelos matemáticos utilizados son consistentes, adecuados y por lo tanto los **resultados de las evaluaciones son confiables**.
- Los resultados obtenidos de las características de los diques como su altura, talud mojado, talud seco, base superior y base inferior, son bastante similares a diseños anteriores del como los existentes en el sector de Pañamarca, mostrando que nuestros resultados son confiables y válidos.
- Se realizó el modelamiento Hidráulico La distancia entre las consecutivas secciones transversales del río asciende aproximadamente a 50 m. Sin embargo, debido a la alta pendiente longitudinal del cauce del río, que en promedio asciende a 6.5%, por lo tanto las pérdidas de la carga entre las dos secciones transversales consecutivas, pueda resultar a más de 0.60 m, lo que podría llevar a cabo a la evaluación incorrecta. Este problema se solucionó por medio del mismo paquete de programas de computación **HEC-RAS 4.1.0**, ordenando la generación de las



secciones transversales interpoladas a una distancia de 25m como máximo. De este modo se va a cumplir todos los requerimientos del programa, referente al distanciamiento de las secciones transversales. El listado de las secciones transversales básicas, es decir generadas en base de los levantamientos topográficos, forma parte del listado de los resultados de cálculos hidráulicos, como datos de entrada, que son confiables.

- Para los diámetros del sedimento del río Nepeña en el tramo de estudio, cuyo diámetro medio de acuerdo a la curva granulométrica es de 95.50 mm., la Función Transporte que más se ajusta es la de Meyer-Peter-Müller, cuyo rango para diámetros medios es de $0.40 < d < 29.00$ mm.
- Los enrocados, que se han considerado en los taludes paralelos a la corriente, y por lo indicado son expuestos tanto a la erosión superficial como a la socavación general del cauce del río, están dimensionados de acuerdo a la velocidad de la corriente para el caudal de diseño que varía desde 3.50 a 6.5 m/s.
- Se concluye que el Enrocado tipo I, se empleará para el siguiente rango de velocidades: 3.90 a 4.50 m/s. Se dimensiona con el talón de forma trapezoidal, con talud mojado de 1:0.5 y talud seco de 1:1, con un espesor horizontal en la corona del dique de 1.25 m.; el ancho del nivel superior de cimentación variable de 2.10 a 2.60 m., y de altura variable desde 2.10 m. hasta 2.60 m.



- Se concluye que el Enrocado tipo II, se empleará para el siguiente rango de velocidades: 4.50 a 5.10 m/s. El enrocado dispone con el talón de forma trapecial, con talud mojado de 1:0.5 y talud seco de 1:1, con un espesor horizontal en la corona del dique de 1.60 m.; el ancho del nivel superior de cimentación variable de 2.10 a 2.60 m., y de altura variable desde 2.10 m. hasta 2.60 m.
- Con el propósito de evitar considerables gastos para el desvío del cauce principal del río Santa, la ejecución de las obras, en general deberá ceñirse en la época de los mínimos requerimientos de agua para el riego, que corresponde al período de Junio a Octubre, con las demandas mínimas de 100 m³/s, que sin obras costosas, se puedan desviar fuera del sitio de trabajo.
- El caudal de diseño de los niveles de corona y estabilidad del terraplén de los Diques: así como para dimensionar el ancho estable del cauce del río Nepeña en los tramos de estudio; es de 122 m³/s. .El ancho estable del río Santa en el tramo donde están emplazados los Diques es de **40 m.** de ancho, sin embargo en el ancho real es menor a este, razón por la cual, los diques son más altos y mayor profundidad de la **Uña de cimentación.**
- De acuerdo a los resultados de las evaluaciones hidráulicas llevadas a cabo, con ayuda del programa computacional HEC-RAS 4.1.0, se ha considerado que las alturas del terraplén varíen entre 4.10 – 5.50 metros. Además según los resultados de las evaluaciones de



socavación llevadas a cabo, se ha considerado la altura de la uña de Cimentación de los Diques de 2.20 metros.

- Se concluye que de acuerdo a los resultados de las evaluaciones de estabilidad llevadas a cabo, se considerará como Talud Mojado 1/0.5, Talud Seco 1/1, Base Superior 1.60 a 2.50 metros, Base Inferior de 13 a 22 metros.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda usar el software Hec-Ras 4.1.0, para el modelamiento de cauces naturales, porque constituye una herramienta muy útil para modelar los ríos y encontrar sus respectivas áreas de inundación así mismo nos proporciona parámetros confiables para poder diseñar nuestros diques y encontrar su respectiva ubicación y longitud.
- Para mantener los niveles de corona de los Diques proyectados, se deberá tener en cuenta la descolmatación del cauce del río Nepeña en la zona de influencia de estos, principalmente después de cada año hidrológico clasificado como húmedo. Esta recomendación es principalmente para los tramos donde se encuentran proyectados los Diques.
- Para niveles posteriores de estudio los ejes de los diques proyectados deberán ser replanteados en campo, antes de dar un dimensionamiento definitivo; asimismo de presentarse años hidrológicos clasificados como húmedos, antes de la construcción



de los diques proyectados, realizar una nueva evaluación, para verificar sus dimensiones principales.

- Es importante señalar que el trazo presentado no es definitivo, el mismo que tendrá que replantearse en las próximas etapas de los estudios, hasta llegar al trazo definitivo para la ejecución de la obra; sin embargo estas variaciones del alineamiento no inciden en los niveles de corona, niveles de cimentación, diámetro de roca, curvas de descarga y otros parámetros presentados, por estar considerados en la sensibilidad del borde libre y en las condiciones de borde de las simulaciones realizadas.

- Se recomienda utilizar el enrocado tipo I en las progresivas del eje del río 0+600 – 1+450, debido a la fuerza unitaria de empuje, que está en función de la velocidad media del flujo que varía en este tramo de 3.90 – 4.50 m/s.

- Se recomienda utilizar el enrocado tipo II en las progresivas del eje del río 5+500 – 6+740, debido a la fuerza unitaria de empuje, que está en función de la velocidad media del flujo que varía en este tramo de 4.50 – 5.10 m/s.



BIBLIOGRAFÍA



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **JOSE N. DE PIEROLA.** DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS, ACI, Perú, 1994.
2. **KOLHER LINSLEY.** HIDROLOGÍA PARA INGENIEROS, editorial McGraw Hill, New York - 1992.
3. **RIVERA FEIJO JULIO.** ACI, Lima – Perú, 1994.
4. **ROCHA FELICES ARTURO.** INTRODUCCIÓN A LA HIDROLOGÍA FLUVIAL, Universidad Nacional de Ingeniera, Primera Edición, Lima – Perú, Noviembre de 1998.
5. **SHUDER WOLFGANG.** REGULACIÓN Y CONTROL DE RÍOS, Universidad de Piura, Perú, 1994.
6. **TERÁN RUBÉN.** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DEFENSAS RIBEREÑAS, Lima – Perú, julio de 1999.
7. **VIDE JUAN MARTÍN.** INGENIERÍA FLUVIAL, editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia, 2000.
8. **VILLÓN BÉJAR MAXIMO.** HEC – RAS, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Primera Edición, Cartago – Costa Rica, Marzo de 2009.



ANEXOS



ANEXO 01

PLANOS