

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERIA AGRICOLA



TESIS

PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AGRICOLA

**“Vulnerabilidad de la sección hidráulica del puente Bolsico para
soportar caudales de crecidas extraordinarias del rio Zarumilla -
2019”**

AUTORES:

BACH. TALLEDO CHUMACERO INGRID ARELY.

BACH. NORIEGA APONTE ANTONY SAMIR.

TUMBES – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERIA AGRICOLA



TESIS

**“Vulnerabilidad de la sección hidráulica del puente Bolsico para
soportar caudales de crecidas extraordinarias del rio Zarumilla -
2019”**

Ejecutada por:

Bach. INGRID ARELY TALLEDO CHUMACERO

Bach. ANTONY SAMIR NORIEGA APONTE

Asesor:

Dr. Ing. ENRIQUE ANTONIO MACEDA NICOLINI

Tumbes – Perú
2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERIA AGRICOLA



TESIS

“Vulnerabilidad de la sección hidráulica del puente Bolsico para soportar caudales de crecidas extraordinarias del rio Zarumilla - 2019”

Revisada por:

Presidente

Dr. Ing. NAPOLEÓN PUÑO LECARNAQUÉ

Secretario

Dr. Ing. JOSE MODESTO CARRILLO SARANGO

Vocal

Dr. Ing. EBER GINES TAFUR

Tumbes – Perú

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
CAMPUS UNIVERSITARIO S/N «LA CRUZ»
SECRETARIA ACADÉMICA
TUMBES – PERÚ



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


En Tumbes, a los DIECISIS días del mes de SETIEMBRE de 2019, se reunieron en el aula virtual N° 03 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del jurado designados según Resolución Decanal N° 044-2019/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D (16/05/2019) y Resolución Decanal N° 060-2019/UNTUMBES –VRACAD-FCA.D (20-06-2019), donde se aprueba el Proyecto de Tesis y se ratifica el jurado; con el objeto de evaluar la sustentación de tesis denominada: **“Vulnerabilidad de la sección hidráulica del puente Bolsico para soportar caudales de crecidas extraordinarias del río Zarumilla – 2019”** para optar el Título de Ingeniero Agrícola. **Cuyo Asesor de la mencionada tesis es el Dr. Enrique Antonio Maceda Nicolini.**

A las ONCE horas con QUINIE minutos y, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el presidente del jurado dio por iniciado el acto.

Luego de la exposición del trabajo, la formulación de preguntas y la deliberación del jurado lo declararon APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo de Muy BUENO.

Por lo tanto, los Bachilleres, **NORIEGA APONTE ANTONY SAMIR** y **TALLEDO CHUMACERO INGRID ARELY**, quedan aptos para que el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Tumbes, les expidan el Título Profesional de Ingeniero Agrícola de conformidad con lo estipulado en el Artículo 90 del Estatuto de la Universidad Nacional de Tumbes y a lo normado en el Reglamento de Grados y Títulos.

Siendo las DOCE con CINCO minutos, el presidente del jurado dio por concluido el presente acto académico y para mayor constancia de lo actuado firman en señal de conformidad todos los integrantes de este jurado, presentes en el acto de sustentación.


.....
Dr. NAPOLEON PUÑO LECARNAQUE
Presidente del Jurado


.....
Dr. JOSÉ MODESTO CARRILLO SARANGO
Secretario del Jurado


.....
Dr. EBER GINÉS TAFUR
Vocal
Vocal del Jurado

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los abajo firmantes declaramos que los resultados reportados en esta investigación de tesis, son producto de nuestro trabajo con el apoyo permitido de terceros en cuanto a su concepción y análisis. Así mismo, declaramos que hasta donde nosotros sabemos no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de citas y con propósitos exclusivos de ilustración o comparación.

En este sentido, afirmo que cualquier información presentada sin citar a un tercero es de nuestra propia autoría.

Declaramos finalmente, que la redacción de esta investigación es producto de nuestro trabajo con la dirección y apoyo de nuestro asesor de tesis y jurado calificador, en cuanto a la concepción y al estilo de la presentación o a la expresión escrita.

Los Presentes:

Bach. INGRID ARELY TALLEDO CHUMACERO

Bach. ANTONY SAMIR NORIEGA APONTE

CERTIFICACIÓN

Dr. Ing. Enrique Antonio, Maceda Nicolini

docente asociado de la Universidad Nacional de Tumbes, adscrito a la Facultad de Ciencia Agrarias, Departamento Académico de Ingeniería Agrícola y Suelos.

CERTIFICA:

Que la presente Tesis:

“VULNERABILIDAD DE LA SECCIÓN HIDRÁULICA DEL PUENTE BOLSICO PARA SOPORTAR CAUDALES DE CRECIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RIO ZARUMILLA - 2019”, elaborada por los Bachilleres de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agrícola, Ingrid Arely Talledo Chumacero y Antony Samir Noriega Aponte, ha sido asesorada y revisada por mi persona.

Tumbes, 12 de septiembre del 2019.

Dr. Ing. Enrique Antonio Maceda Nicolini

Asesor del Proyecto de Tesis

DEDICATORIA

Dedico este presente proyecto de investigación “**Tesis**” a **Dios**, por brindarme la sabiduría, inteligencia y permanencia, por guiar mis pasos día a día y culminar uno de mis más grandes objetivos en mi vida profesional que en este caso es mi tesis.

Una enorme gratitud a mis padres **Katti y Dante** por su gran apoyo y consejos entregados y estar a mi lado en este camino de esfuerzo y dedicación, para finalmente poder llegar a realizarme como profesional en esta etapa de mi vida.

A mis queridos hermanos **Juan y Brigitte** por su constante cariño y amor que hicieron que esta meta se haga realidad y un logro grandemente.

A mis abuelos (parte madre) **Mercedes y Luis** que, gracias a sus sabias palabras, apoyo constante me inculcaron de muchas maneras a crecer y no rendirme.

Y por último a mis **Docentes** de la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Ingeniería Agrícola por los consejos y ayuda en la ejecución de este proyecto de investigación.

Bachiller: Ingrid Arely Talledo Chumacero

A **Dios**, por permitirme llegar hasta este punto de mi vida y por sobre todo con buena salud, y así poder culminar con esta meta trazada, además de su infinito amor y bondad.

En especial a mis padres **Edgar Noriega y Elba Aponte**, por su magnífico apoyo y dedicación en mi formación académica - profesional, por sus consejos, valores y motivación permitiendo hacerme una persona de bien y seguir por el camino correcto, demostrándome el significativo de perseverancia y valor para salir adelante frente a toda adversidad.

A mi familia en general por brindarme su apoyo incondicional y por los momentos compartidos.

Bachiller: Antony Samir Noriega Aponte

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestra gratitud de esta investigación:

A Dios por guiarnos y brindar sabiduría en esta elaboración de proyecto de investigación. A nuestro Asesor el Dr. Ing. Enrique Antonio Maceda Nicolini por brindarnos su más grande apoyo y conocimiento en esta ejecución de tesis para obtener el título de Ingenieros Agrícolas.

Al Ing. Deciderio Atoche Ortiz, por sus conocimientos, tiempo y brindarnos la facilidad de información de obtención “Data histórica de caudales máximos de la Cuenca del rio Zarumilla” y “Estudios hidrológicos” realizados en esta zona de cuenca Zarumilla.

Al Sr. Julio Cesar Barreto Atoche (Charro), por brindarnos su magnífico apoyo y orientación para el levantamiento topográfico debido a su enorme experiencia en trabajos en campo para obras de ingeniería.

Por ultimo a los Ingenieros miembros del jurado al Ingeniero Napoleón puño Lecarnaqué, Ingeniero José Modesto Sarango y al Ingeniero Eber Ginés Tafur y a todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron para la realización del presente Estudio.

RESUMEN

La presente investigación titulada “VULNERABILIDAD DE LA SECCIÓN HIDRÁULICA DEL PUENTE BOLSICO PARA SOPORTAR CAUDALES DE CRECIDAS EXTRAORDINARIAS DEL RIO ZARUMILLA - 2019” en este caso realizamos 2 fases, fase de campo y fase de gabinete; por el cual tuvo como propósito determinar un levantamiento topográfico en la zona de estudio en longitud de 600 mts aguas arriba y 400 mts aguas abajo, cuya información (datos) fueron plasmados al programa de AutoCAD y AutoCAD Civil 3D, por el cual obtuvimos resultados de las secciones del Puente Bolsico y márgenes de dique. Continuamos con la elaboración del estudio hidrológico, estimando caudales máximos para los periodos de retorno en 25, 50 y 100 años, aplicando los modelos probabilísticos conocidos como: Normal, Log Normal 2 parámetros, Log Normal 3 parámetros, Gumbel, Log Gumbel, Gamma 2 parámetros, Gamma 3 parámetros y Log Pearson tipo III. Con esta información, se procedió a realizar el estudio hidráulico, calculando el tirante normal y velocidad con “n” de Manning compuesto, realizando un modelamiento con el software HEC- RAS 5.0 y cálculo de la profundidad de Socavación, para determinar la altura y/o tirante hidráulico para los caudales máximos con periodos de retorno en 25, 50 y 100 años; demostrando y verificando la vulnerabilidad que se encuentra la estructura del puente Bolsico, al no poder soportar los caudales de diseños por esta sección; y que de presentarse pondría en riesgo esta estructura con consecuencias de desastre a la población de Aguas Verdes.

Palabras clave: Vulnerabilidad del Puente Bolsico, sección hidráulica, caudales máximos de crecidas extraordinarias, periodo de retorno.

ABSTRACT

The present investigation entitled "VULNERABILITY OF THE HYDRAULIC SECTION OF THE BOLSIC BRIDGE TO SUPPORT FLOWS OF EXTRAORDINARY GROWTHS OF THE RIVER ZARUMILLA - 2019" in this case we carried out 2 phases, field phase and cabinet phase; for which it was intended to determine a topographic survey in the study area in length of 600 meters upstream and 400 meters downstream, whose information (data) were reflected in the AutoCAD and AutoCAD Civil 3D program, for which we obtained results of the Bolsic Bridge sections and dam margins. We continue with the preparation of the hydrological study, estimating maximum flows for the return periods in 25, 50 and 100 years, applying the probabilistic models known as: Normal, Normal Log 2 parameters, Normal Log 3 parameters, Gumbel, Gumbel Log, Gamma 2 parameters, Gamma 3 parameters and Log Pearson type III. With this information, the hydraulic study was carried out, calculating the normal tension and speed with "n" of compound Manning, modeling with the HECRAS 5.0 software and calculation of the Undercut depth, to determine the height and / o hydraulic tie for maximum flows with return periods in 25, 50 and 100 years; demonstrating and verifying the vulnerability found in the structure of the Bolsico bridge, unable to support the flow of designs in this section; and that if presented, it would put this structure at risk with disaster consequences to the population of Aguas Verdes.

Keywords: Vulnerability of the Bolsico Bridge, hydraulic section, maximum flows of extraordinary floods, return period.

CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| DECLARACION DE ORIGINALIDAD..... | I |
| CERTIFICACIÓN..... | II |
| DEDICATORIA | III |
| AGRADECIMIENTO | IV |
| RESUMEN..... | V |
| ABSTRACT | VI |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 11 |
| 1.1. Situación Problemática..... | 11 |
| 1.2. Formulación del problema..... | 14 |
| 1.3. Justificación..... | 14 |
| 1.4. Hipótesis..... | 15 |
| 1.4.1. Hipótesis general..... | 15 |
| 1.5. Objetivos..... | 15 |
| II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA..... | 17 |
| 2.1. Antecedentes..... | 17 |
| 2.2. Bases teóricas - científicas..... | 25 |
| 2.3. Definiciones básicas..... | 32 |
| III. MATERIAL Y METODO..... | 39 |
| 3.1. Ubicación..... | 39 |
| 3.1.1. Ubicación política..... | 39 |
| 3.1.2. Ubicación geográfica..... | 40 |

| | |
|--|----|
| 3.2. Tipo de Estudio y Diseño de contrastación de la hipótesis..... | 41 |
| 3.3. Población muestra y muestreo..... | 42 |
| 3.4. Material y métodos..... | 42 |
| 3.4.1. Materiales..... | 42 |
| 3.4.2. Software..... | 43 |
| 3.4.3. Equipos..... | 43 |
| 3.4.4. Métodos..... | 43 |
| 3.5. Procesamiento y Análisis de datos..... | 45 |
| 3.6. Metodología..... | 45 |
| 3.6.1. Recolección de información..... | 45 |
| 3.6.2. Trabajo de campo..... | 46 |
| 3.6.3. Estimación de caudal diseño gabinete (calculo hidrológico)..... | 46 |
| 3.6.4. Preparación de información gabinete (calculo hidráulico)..... | 47 |
| IV. RESULTADOS..... | 49 |
| 4.1. Análisis de información Hidrológica - cuenca del rio Zarumilla..... | 49 |
| 4.2. Análisis estadístico de datos hidrológicos..... | 50 |
| 4.3. Resumen máximos caudales y caudal de diseño..... | 51 |
| 4.4. Cálculo hidráulico rio Zarumilla..... | 52 |
| 4.5. Cálculo de profundidad de socavación..... | 64 |
| 4.6. Características del modelamiento..... | 69 |
| 4.6.1. Datos Geométricos..... | 69 |
| 4.6.2. Datos hidráulicos y condiciones de contorno..... | 71 |
| 4.6.3. Elaboración de la modelación..... | 71 |

| | |
|--|----|
| 4.6.4. Resultados de la modelación | 72 |
| 4.6.5. Eje del cauce del río Zarumilla..... | 73 |
| 4.6.6. Secciones transversales..... | 73 |
| 4.6.7. Perfil longitudinal..... | 75 |
| 4.6.8. Vista tridimensional..... | 76 |
| V. DISCUSIÓN..... | 77 |
| 5.1. Estudios pre- modelamiento hidráulico Hec Ras..... | 77 |
| 5.2. Modelamiento y vulnerabilidad puente Bolsico..... | 77 |
| VI. CONCLUSIONES..... | 82 |
| VII. RECOMENDACIONES..... | 84 |
| VIII. BIBLIOGRAFÍA..... | 85 |
| IX. ANEXOS..... | 89 |
| 9.1. Anexo 01 - Descargas máximas - máximos instantáneos..... | 89 |
| 9.2. Anexo 02 - Descargas máximas - promedio diario año 1993 - 2005..... | 90 |
| 9.3. Anexo 03 - Descargas máximas - máximos instantáneos..... | 91 |
| 9.4. Anexo 04 - Descargas máximas diarias Anuales 2011- 2019..... | 92 |
| 9.5. Anexo 05 - Estimación de caudales máximos 1956 - 2006..... | 92 |
| 9.6. Anexo 06 - Estimación de caudales máximos 1993 - 2005..... | 93 |
| 9.7. Anexo 07 - Estimación de caudales máximos 2011 - 2019..... | 93 |
| 9.8. Anexo 08 - Coeficiente de socavación..... | 94 |
| 9.9. Anexo 09 - Coeficiente en función al peso específico | 94 |
| 9.10. Anexo 10 - Coeficiente de contracción..... | 95 |
| 9.11. Anexo 11 - Coeficiente de Manning para lecho del río..... | 95 |

| | |
|--|-----|
| 9.12. Anexo 12 - Coeficiente de Manning para riveras | 96 |
| 9.13. Anexo 13 - Flujo subcrítico - coeficiente de expansión y contracción..... | 96 |
| 9.14. Anexo 14 - Flujo supercrítico - coeficiente de expansión y contracción.... | 97 |
| 9.15. Anexo 15 - Velocidades según modelación - Tr. 25, 50 y 100 años..... | 97 |
| 9.16. Anexo 16 - Resultados - resumen calculo profundidad de socavacion.... | 98 |
| 9.17. Anexo 17 - Perfil longitudinal - Tr = 50 años..... | 98 |
| 9.18. Anexo 18 - Perfil longitudinal - Tr = 100 años..... | 98 |
| 9.19. Anexo 19 - Grafico de velocidades Tr= 25, 50, 100 años..... | 99 |
| 9.20. Anexo 20 - Sección transversal aguas arriba Tr= 25, 50, 100 años..... | 99 |
| 9.21. Anexo 21 - Sección transversal aguas abajo Tr= 25, 50, 100 años..... | 100 |
| 9.22. Anexo 22 - Vista 3D geometría..... | 100 |
| 9.23. Anexo 23 Tabla de resumen características hidráulicas Tr=25 años.... | 101 |
| 9.24. Anexo 24 Tabla de resumen características hidráulicas Tr=50 años.... | 102 |
| 9.25. Anexo 25 Tabla de resumen características hidráulicas Tr=100 años. ... | 103 |
| 9.26. Anexo 26 Fotografías fase de campo y gabinete..... | 104 |
| 9.27. Anexo 27 Componentes de socavación en pila de puente..... | 108 |

I. INTRODUCCION

1.1. Situación problemática.

“En las últimas décadas, nuestro país ha presenciado un sin número de acontecimientos relacionados con simultaneidad de crecidas periódicas ya sean ordinarias como extraordinarias en ríos y quebradas, que han sido numerosas y que precisamente estos acontecimientos de magnitudes catastróficas, debido a la concurrencia de estos mismos eventos han provocado pérdidas tanto humanas como económicas; en consecuencia destrucción de vías, infraestructura hidráulica, inundación en centros poblados, áreas agrícolas; especialmente relacionados con el fenómeno El Niño, ya que este evento se caracteriza por tener temporadas de máximas precipitaciones, incremento de temperatura superficial del mar, por consiguiente crecidas o máximas avenidas en ríos, principalmente en la zona norte del Perú.

La ocurrencia del fenómeno El Niño entre los períodos 1982-1983 y 1997-1998, trajo como consecuencia que la infraestructura de riego y los terrenos de cultivo en el valle Zarumilla quedaran seriamente dañados, como consecuencia a las avenidas extraordinarias y ordinarias registradas en el río Zarumilla; hechos que ocasionaron que el sector entre bocatoma La Palma y puente Bolsico hayan quedado expuestos a la acción erosiva del agua, poniendo en riesgo que el río cambie de cauce, afectando en gran medida el área cultivada y la infraestructura de riego construida por el estado, además de caminos de acceso, centros poblados y otros servicios básicos”. (Maceda Nicolini & Grimaldo Zapata, Uso de geomembrana en estructuras de protección ribereña en el río Zarumilla., 2012, págs. 5 -7) .

“Los ríos de la costa peruana, entre ellos el río Zarumilla son de características muy irregulares y de gran variabilidad, con abundancia de períodos cortos, unos de inundaciones y otros de sequías, siendo esta problemática una de las limitantes del despegue agropecuario en nuestro país, ya que existe el riesgo de pérdida de los cultivos por inundaciones, destrucción viviendas urbanas, viviendas rurales, destrucción de la infraestructura de riego y vial o por el contrario la ocurrencia de sequías, o simplemente el déficit la demanda de agua en el río; hace que se agudice la precaria situación socio - económica del agricultores”. (Maceda Nicolini , "Evaluación del uso de geosintéticos para el control de la erosión hídrica en la margen izquierda del río Zarumilla - Tumbes", 2015, pág. 86)

“El 64% de los puentes en acero y de sección mixta tienen pilas en concreto reforzado, con daños principales debidos a la infiltración generada por juntas con dispositivos inadecuados y deficiencia estructural detectada por la presencia de fisuras y grietas en las vigas cabezales y columnas. Además, presentan humedad generalizada debido a drenes cortos (no inclinados) en la losa, que generan corrosión tanto en los elementos de la superestructura como en las pilas. También se presenta socavación local, general e inestabilidad del cauce, que afecta la cimentación de las pilas y pone en riesgo su estabilidad estructural. Se recomendaron para el 23% de los puentes, inspecciones especiales y estudios integrales, con el objeto de revisar el comportamiento sismo resistente y verificar los problemas de socavación en las pilas”. (Muñoz & Valbuena, 2004, págs. 125-133)

“Este problema se atribuye al aumento en las precipitaciones conducidas por escorrentía superficial, de esta manera se va incrementando el caudal de los ríos lo cual genera un

crecimiento en los niveles, de esa misma manera una mayor velocidad en el cauce que de acuerdo a la dinámica fluvial se modifica el eje del cauce impactando con mayor energía las paredes adyacentes al cauce y a su vez haciendo más prolongados los meandros lo cual producirá socavación en el lecho del cauce". (Alvis Colmenares & Barbetti Moncayo , 2017, pág. 9)

"Cuando se presenta el fenómeno El Niño (FEN), la excesiva carga de agua y sedimentos sobrepasa la capacidad del cauce y éste empieza a ensancharse a la vez que se produce erosión e inundación, afectando áreas agrícolas, Langostineras y centros poblados ubicados en las márgenes del río. El clima de la región es semiseco, con precipitaciones normales de 100 mm anuales, Las precipitaciones aumentan con el fenómeno". (Nuñez Juarez , pág. 147)

"Cuando se coloca un pilar de puente en la corriente de un río se produce un cambio en las condiciones hidráulicas de ésta, y, por lo tanto, en su capacidad para producir arrastre sólido. Si la capacidad de arrastre supera localmente el aporte del gasto sólido del río, ocurrirá en el pilar una socavación local. En el caso de los análisis hidrológicos son orientados al cálculo de máximas descargas en una sección de interés, como en este caso lo es el puente Independencia, donde se cuentan con datos de caudales máximos, se obtienen las estadísticas de manera directa, de no ser así será necesario calcular los caudales máximos a partir de los datos de precipitaciones máximas en 24 horas. Según el análisis de las secciones, antes de la ampliación del puente Independencia y mientras existía el tramo provisional metálico, el cauce mayor en la zona del puente estaba limitado por los diques de protección, sin embargo, el cauce menor presentaba tendencia a meandrear, apreciándose que se estaba desplazando hacia la margen izquierda del

tramo aguas arriba del puente. En el estudio hidrológico los datos mostraron que caudales con un tiempo de retorno de 100 años desbordarán sobre el tablero”. (Díaz Vílchez, 2007, págs. 23-25-31).

1.2. Formulación del Problema de Investigación

¿Cuál es la vulnerabilidad de la sección hidráulica del puente Bolsico durante las crecidas extraordinarias frente al fenómeno El Niño?

1.3. Justificación

En las fechas del 28 y 29 de marzo del 2015, en la estación de aforo "Palmales", de la cuenca del río Zarumilla, se presentaron caudales de crecidas de 920.8 m³/seg y de 885.9 m³/seg, respectivamente, que fueron registrados por el PEBPT; poniendo en riesgo la estructura del puente Bolsico y provocando desbordes e inundaciones aguas debajo de la estructura de cruce, en la margen derecha en el sector de comerciantes playa Sur de Aguas Verdes, debido a la vulnerabilidad de este asentamiento humano y a la infraestructura del puente Bolsico, que representa una vía de transporte terrestre principal de esta zona fronteriza, que une Aguas Verdes (Perú) y Huaquillas (Ecuador). Para una adecuada evaluación de la sección del puente Bolsico, es necesario la elaboración del estudio hidrológico - hidráulico de la cuenca del río Zarumilla, que servirá para determinar caudales de crecidas, para diferentes períodos de retorno; y con esta información, poder determinar cuan vulnerable se encuentra esta estructura, si su sección hidráulica no es suficiente para soportar avenidas extraordinarias como las que se presentan en un fenómeno El Niño; esto con el fin de proponer medidas preventivas para evitar mayores desastres a la población de Aguas Verdes.

Estimar la vulnerabilidad hidráulica con la que se encontraría el puente Bolsico, representa una herramienta de gestión, que servirá para que los gobiernos nacionales, regionales y locales, puedan hacer frente ante esta problemática, porque estaría representando un riesgo alto, debido al estrangulamiento de la sección del río que presenta tanto en el ancho como en altura; y que es necesario tener en cuenta cuando se presenten crecidas, toda vez que la velocidad del flujo de agua en un estrechamiento, podría hacer colapsar la estructura por socavación causando desastres inundando las poblaciones aledañas al puente Bolsico.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general

La vulnerabilidad del puente Bolsico es debido a su reducida capacidad hidráulica para soportar crecidas extraordinarias durante el fenómeno El Niño.

1.5. OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la vulnerabilidad de la sección hidráulica del puente Bolsico, teniendo como base la elaboración del estudio hidrológico, para poder determinar los caudales máximos que podría soportar la estructura del puente, debido al estrangulamiento que presenta la sección hidráulica y que podría causar desastres para las poblaciones de tanto de Perú como de Ecuador.

Objetivos específicos

- Realizar los estudios tanto hidráulicos como hidrológicos de la cuenca Zarumilla, como base para nuestro proyecto.

- Determinar la altura y/o tirante hidráulico para los caudales máximos con periodos de retorno en 25, 50 y 100 años, para verificar si el puente Bolsico puede soportar estos caudales.

II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

2.1 Antecedentes.

(Consortio Consultor , 2015, pág. 3). En su estudio definitivo **“Instalación del servicio de protección contra las inundaciones en las localidades La Palma – Canario II, margen izquierda del río Zarumilla (progresiva 0+120 – 11+550). En los distritos de Papayal y Aguas Verdes, provincia de Zarumilla- Tumbes”**. Concluyen:

“La cuenca Zarumilla es una cuenca bi-nacional, puesto que una porción de su superficie se encuentra ubicada en la provincia de El Oro - Ecuador, en épocas invernales y excepcionales, como cuando ocurre el fenómeno de Oscilación sur “El Niño” (OSEN o “El Niño”), el río se desborda inundando áreas de cultivo y poblaciones que se encuentran asentadas en sus márgenes, siendo los centros poblados más afectados tanto de las ciudades de Huaquillas - Ecuador y Aguas Verdes – Perú, creando problemas de salud, infraestructura, sociales y económicos. El río Zarumilla es irregular, a mayor parte de la cuenca es árida y semiárida con precipitaciones anuales menores de 600 mm/año, hacia las partes altas las precipitaciones son mayores registrándose hasta 1200 mm por año. En general la precipitación anual es menor en la parte peruana, su variación interanual es muy importante, con períodos de sequía muy pronunciados. Normalmente el período húmedo se produce entre los meses de enero a mayo con una precipitación del 85% de la total anual, el periodo seco ocurre entre los meses de junio a diciembre. Se han presentado años totalmente secos como el ocurrido el año de 1968 y otros años con alta precipitación como los sucedidos durante el fenómeno “El Niño” de 1983 y 1998”.

(Consortio Consultor , 2015, pág. 7). Informó:

“En años extraordinarios como El Niño, el río se desborda inundando áreas y poblaciones que se encuentran asentadas en sus márgenes, siendo las más afectadas tanto Huaquillas - Ecuador y Aguas Verdes – Perú.

Actualmente se considera que la frecuencia de las inundaciones disminuirán debido a que el Perú construyó un dique lateral en la margen derecha del río Zarumilla. El suelo en sus partes alta, media y baja se encuentra cubierto de un bosque seco y ralo con ciertas áreas de bosque espeso, en la parte baja y cerca de las orillas del río Zarumilla existen extensiones de cultivos de arroz y plátano, los mismos que riegan con agua subterránea extraída de pozos excavados en las márgenes del río. Cabe resaltar que la cuenca hasta el sector Canario II tiene un área de 853.5 km^2 . El índice poblacional en la cuenca es bajo, existen pocos recintos y/o poblaciones en toda su extensión, sobresaliendo la ciudad de Huaquillas y poblaciones pequeñas como: Chacras, Balsalito, Huabillo, Bocana y Palmales en el Ecuador; y, Aguas Verdes y; pequeños poblados como: Papayal, Uña de Gato, Cuchareta Alta, Cuchareta Baja, Porvenir, Pocitos y Matapalo en Perú”.

(Consortio Consultor , 2015, pág. 25). En su estudio definitivo **“Instalación del servicio de protección contra las inundaciones en las localidades La Palma – Canario II, margen izquierda del río Zarumilla (progresiva 0+120 – 11+550). En los distritos de Papayal y Aguas Verdes, provincia de Zarumilla- Tumbes”**. Informan:

“Un sistema hidrológico es afectado eventualmente por eventos extremos, tales como tormentas severas, crecientes, etc. La magnitud de este evento extremo está relacionada con su frecuencia de ocurrencia mediante una distribución de probabilidades, los

métodos estadísticos se apoyan en la existencia de series de datos de caudales en el lugar de interés, las cuales son sometidas a un análisis de frecuencias. Esto implica efectuar ajustes de varias distribuciones teóricas a una determinada muestra, para comparar y concluir cuál de ellas se aproxima mejor a la distribución empírica. Para utilizar estos modelos probabilísticos, se deben calcular sus parámetros y realizar la prueba de bondad de ajuste.

Si el ajuste es bueno, se puede utilizar la distribución elegida, una vez encontrada la ley de distribución que rige a las variables aleatorias, además se podrá predecir con determinada probabilidad, la ocurrencia de una determinada magnitud, de un fenómeno hidrometeorológico. También se podrá determinar la magnitud de un fenómeno para un determinado periodo de retorno, para calcular la probabilidad y el periodo de retorno de la información de la precipitación máxima en 24 horas utilizada en el proyecto, se han aplicado modelos de ajustes estadístico como Normal, Log Normal 2 y 3 parámetros, Gamma 3 Parámetros o Pearson Tipo III, Log Gamma o Pearson Tipo III, Gumbel Tipo I y Gamma”.

(Ministerio de Agricultura y Riego , 2015-2019, págs. 5-7-16) En su estudio de hidráulica y drenaje para completar expediente técnico **“Instalación del servicio de protección contra las inundaciones en localidades de La Palma, Canario II, margen izquierda del rio Zarumilla (0+120- 11+550) en los distritos de Papayal y Aguas Verdes, provincia de Zarumilla - Tumbes”**. Concluyo:

“En 2018-2019, se considera que la frecuencia de las inundaciones disminuirá debido a que el Perú construyó un dique lateral en la margen derecha del rio Zarumilla. Entre los meses de julio a noviembre las precipitaciones son nulas o muy bajas, de manera tal que

no genera escorrentía en río Zarumilla. Por este motivo, el cauce de este curso de agua es intermitente.

La cuenca del río Zarumilla hasta la margen de estudio por peligro de inundación conforma un área de drenaje de 877 km^2 , la cuenca abarca áreas ecuatorianas y peruanas, presentando una red de ríos tributarios en ambas partes. Además la temporada de altos caudales se presenta entre los meses de diciembre a abril, mientras que el resto del año puede considerarse como estiaje. Se ha seleccionado un riesgo admisible de 18%. Es decir, existe un 18 % de probabilidad que el caudal de diseño sea excedido. Para la selección de este porcentaje de riesgo se tuvo en cuenta las recomendaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) sobre el porcentaje de riesgo máximo para defensas ribereñas”.

(Comunicaciones & Ferrocarriles, 2016, págs. 1-8). En el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “**Manual de puentes**” las normas y requisitos Informan: “El manual de puentes brinda las pautas necesarias para el planteamiento, análisis y diseño, de puentes, carreteras y de puentes peatonales. Para la realización de algún estudio, expediente o trabajo de investigación.

Se especifican en cada caso los requisitos mínimos, quedando a criterio del usuario utilizar límites más estrictos o complementar estas especificaciones en lo que resulte pertinente. Se presenta aspectos de diseño, que son en parte una adaptación de las especificaciones de la *American Association of State Highway and transportation Officials (AASHTO LRFD del año 2014 séptima edición)* que han sido tradicionalmente las más utilizadas, desde hace más de 70 años, por los profesionales peruanos dedicados al diseño y a la construcción de puentes.

Los estudios son establecer las características hidrológicas de los regímenes de avenidas máximas y extraordinarias y los factores hidráulicos que conllevan a una real apreciación del comportamiento hidráulico del río que permiten definir los requisitos mínimos del puente y su ubicación óptima en función de los niveles de seguridad o riesgos permitidos para las características particulares de la estructura”.

Los estudios de hidrología e hidráulica para el diseño de puentes deben permitir establecer lo siguiente:

- Ubicación óptima del cauce
- Caudal máximo de diseño hasta la ubicación del cruce
- Área de flujo a ser confinada por el puente
- Nivel máximo de agua (NMA) en la ubicación del puente
- Profundidades de socavación general, por contracción y local.
- Profundidad mínima recomendable para la ubicación de la cimentación, según el tipo de cimentación
- Obras de protección necesarias
- Previsiones para la construcción del puente

(Comunicaciones & Ferrocarriles, 2016, págs. 9-10). Concluye:

“El programa de estudios debe considerar la recolección de información, los trabajos de campo y los trabajos de gabinete”. Los estudios hidrológicos e hidráulicos comprenderán lo siguiente:

- “Estimación de los caudales máximos para diferentes periodos de retorno y según distintos métodos, en todos los casos se recomienda llevar a cabo una prueba de

ajuste de los distintos métodos de análisis de frecuencia, (Gumbel, Log – Pearson tipo III, Log – normal, etc.) para seleccionar el mejor”.

- “Determinación del perfil de flujo ante el paso del caudal de diseño a lo largo del cauce, se sugiere la utilización de los programas de cómputo HEC-2, HEC –RAS similares”.
- “Determinación de las características hidráulicas del flujo, estas comprenden la velocidad media, ancho superficial, área de flujo, pendiente de la línea de energía, nivel de la superficie de agua, etc. Cuyos valores son necesarios para la determinación de la profundidad de socavación”.

(Ministerio de Transportes Y Comunicaciones., 2008, pág. 93). En el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “**Manual de hidrología, hidráulica y Drenaje**”. Concluye que:

“La Avenida de Diseño o caudal máximo está asociado a un período de retorno específico y este a su vez depende del riesgo de falla y vida útil de la obra. Se presentan valores del período de retorno determinados en función a los factores señalados”. En base a ello, se recomienda lo siguiente:

- “Para obtener la avenida de diseño en el tramo fluvial de emplazamiento del puente, se deberá compatibilizar el período de retorno del evento hidrológico, con el riesgo admisible y la vida útil de la obra, este último obviamente, dependerá del tipo de material constitutivo del puente En caso de que el puente se construya en una ciudad con alta densidad de población, o se ubique medianamente aguas abajo de ésta, sobre un río de amplias llanuras de inundación, el período de retorno debe ser superior a 100 años”.

- Para la estimación de la profundidad de socavación, el período de retorno mínimo deberá ser igual al utilizado en el diseño del puente y para un caudal de no más de 500 años de periodo de retorno que es el caudal para verificar la estabilidad de la cimentación del puente. En ese caso, se considera que se trata de un evento extremo.

(Perozo & Rincon, 2015, pág. 17). En su estudio “**Evaluación hidráulica de un puente sobre una quebrada con régimen mixto y lechón móvil**”. Concluye que:

“En el caso de construcciones de obras de vialidad, unos de los principales retos a vencer, han sido los diferentes problemas que ocasionan el atravesar en la corriente de un cauce, como lo son las pilas y estribos de un puente, los cuales generan efectos de socavación y de reacomodo de sedimentos en el fondo del canal, que afectan la seguridad del tránsito sobre el mismo, y a su vez, la propia estabilidad del puente”.

“Por la complejidad del proceso y el avance de la tecnología se han desarrollado modelos matemáticos que permiten predecir de una manera más sistemática el comportamiento real de un río (flujo y sedimentos) y su interacción con el puente ante la presencia de avenidas. Uno de ellos es el software HEC-RAS, modelo unidimensional”.

(Quincho, 2015, pág. 5). En su publicación “**Estudio experimental del transporte de sedimentos en suspensión fondo y comparación con fórmulas empíricas en los ríos Puyango - Tumbes y Zarumilla**”. Concluyo:

“El transporte de sedimentos se da mediante dos mecanismos: el material que se mantiene suspendido en un flujo Sedimento en suspensión y el material que se desplaza en contacto o muy próximo al lecho sedimento de fondo. El transporte de sedimentos se da desde las cabeceras de las cuencas hacia zonas de deposición alterando la biología,

vegetación, geomorfología, calidad de agua, actividades antrópicas hasta incluso la permanencia y periodo de vida de obras de infraestructura hidráulica”.

(Rodríguez, Navarro, & Novo, pág. 4). En su estudio **“Hidrológico del río Arlanzón a su paso por el término municipal de Burgos”**. Informa:

“Para la ordenación y planificación del territorio en áreas urbanas es de vital importancia conocer la ocupación de las aguas de los diferentes cursos fluviales que atraviesan las ciudades”.

(Huaman Guerrero, 2018, pág. 6). En su investigación **“Hidrometría de alta precisión durante eventos hidrológicos extremos en el norte del Perú: Caso de los ríos binacionales Puyango - Tumbes y Zarumilla”**. Indico:

“Las mediciones de caudales del río son esenciales para la gestión de los estudios del agua, los estudios del clima y la gestión de las inundaciones. En el norte del Perú, en las estaciones hidrométricas de aforo de las cuencas Puyango Tumbes (PT) y Zarumilla (ZA), los caudales actualmente son recolectados con correntómetros mecánicos convencionales como el molinete; y durante grandes crecidas el caudal se determinada mediante una curva de gasto derivada de mediciones continuas del nivel del río”

2.2. Bases teóricas – científicas

Hidráulica fluvial

“La hidráulica fluvial combina conceptos de hidrología, hidráulica general, geomorfología y transporte de sedimento. Estudia el comportamiento hidráulico de los ríos en lo que se refiere a caudales y niveles medios y extremos, las velocidades de flujo, las variaciones del fondo por socavación y sedimentación, la capacidad de transporte de sedimentos y los ataques contra los márgenes. Los diseños de las obras que se construyen en los ríos para suministro de agua, vertimiento de excesos, encauzamiento protección del fondo y de las márgenes están dentro del campo de la ingeniería de ríos”. (Villar Tambo & Carlos Enrique , 2017, pág. 7)

La hidrología general

“En el transcurso de su desarrollo, la hidrología ha sido definida de diversas formas, una de ellas, quizá la más sencilla es la que se basa en la interpretación, la hidrología es una palabra de origen griego compuesta de dos partes: hidros que significa agua y logos que se traduce por tratado o ciencia. Por lo anterior la hidrología es la ciencia del agua”. (Aranda, 1998, págs. 1-2)

Descripción de la cuenca

“El manejo de cuencas consiste en aprovechar y conservar los recursos naturales en función de las necesidades del hombre, para que pueda alcanzar una adecuada calidad de vida en armonía con su medio ambiente, una cuenca trata de evitar que los RN, agua, suelo, flora, fauna, se degraden, eliminen o contaminen, considerando al mismo tiempo, que el hombre tiene que obtener suficientes alimentos, adecuada calidad, cantidad de agua, madera y leña. También la cuenca, micro cuenca, o sub cuenca son las unidades

de planificación y análisis mientras que la finca o conjunto de fincas son las unidades de intervención y manejo”. (Bommathanahalli, 1997, pág. 20)

“La cuenca del río Zarumilla con una extensión de 921.25 Km² (hasta el puente Internacional) se encuentra compartida entre las repúblicas del Ecuador y del Perú en porcentajes del 55% y 45% respectivamente”. (Gutierrez, Ayabaca , Segovia , Pasquel, & Vaca, 2005, pág. 1)

La hidrografía de la cuenca

“Es totalmente intermitente, inclusive el mismo río Zarumilla tiene períodos largos de estiaje y en ciertos períodos comprendidos entre marzo – agosto lleva caudales importantes. En épocas invernales y excepcionales como El Niño, el río se desborda inundando áreas y poblaciones que se encuentran asentadas en sus márgenes, siendo las más afectadas las ciudades de Huaquillas (Ecuador) y Aguas Verdes (Perú). El suelo en sus partes alta, media y baja se encuentra cubierto de bosque seco ralo con ciertas áreas de bosque espeso, en la parte baja y cerca de las orillas del río Zarumilla existen extensiones de cultivos de arroz y plátano, los mismos que riegan con agua subterránea extraída de pozos excavados en las márgenes del río.

El índice poblacional en la cuenca es bajo, existen pocos recintos y/o poblaciones en toda su extensión, sobresaliendo la ciudad de Huaquillas y poblaciones pequeñas como: Chacras, Balsalito, Huabillo, Bocana y Palmales en el Ecuador; y, Aguas Verdes y; pequeños poblados como: Papayal, Uña de Gato, Cuchareta Alta, Cuchareta Baja, Porvenir, Pocitos y Matapalo en el Perú. El relieve de la cuenca es bastante pronunciado con cotas que varían desde los 3000 m.s.n.m. hasta los 100 m.s.n.m. cercano a Matapalo que corresponde a la parte media de la cuenca y a partir de esta cota, el terreno vario

paulatinamente hasta la cota 6 m.s.n.m que corresponde a un terreno relativamente llano”. (Gutierrez, Ayabaca , Segovia , Pasquel, & Vaca, 2005, págs. 1-2)

Encauzamiento en ríos

“Una de las formas más eficientes de controlar el cauce de un río es la construcción de muros o diques revestidos longitudinales a lo largo de la corriente, siguiendo los patrones de curvatura típicos de la corriente. Estos muros o diques pueden construirse dentro del cauce disminuyendo la sección para facilitar la navegación o separar las corrientes de la orilla o pueden construirse con medidas de protección a lo largo de las orillas actuales, la construcción de estructuras longitudinales favorece la formación de un canal más estable y uniforme, generalmente se diseña para un ancho permanente normal y se puede dejar espacios entre el muro y la orilla para que sean sedimentados posteriormente. Desde el punto de vista hidráulico las estructuras longitudinales ayudan a aumentar la velocidad y disminuir la resistencia, al movimiento y la erosión. En ocasiones las canalizaciones pueden dar resultados negativos si el ancho diseñado es muy pequeño para acomodar el caudal de las avenidas del río. En estos casos existe el problema de que no es posible reacondicionar los muros para corregir el error, cosa que si es posible en las canalizaciones con espigones donde se puede disminuir la longitud de los espigones después de construidos”. (Villar Tambo & Carlos Enrique , 2017, págs. 8-9)

HEC RAS

“HEC-RAS (Hydrological Engineering Center - River Analysis System) es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos: Modelización de flujo en régimen permanente, Modelización de flujo en régimen no

permanente, Modelización del transporte de sedimentos y análisis de calidad de aguas. Nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables”. (Frías Silva & Mogollón Borrero , 2017 , págs. 17-18)

Modelamiento hidráulico en Hec- Ras

“Con el HEC RAS se facilita el cálculo de los perfiles de agua y de los parámetros hidráulicos del cauce. El programa permite desarrollar el cálculo de los niveles de la superficie del agua de un flujo gradualmente variado. El sistema que se maneja puede ser uno solo río o una red de ríos. El componente del estudio del flujo puede hacer el estudio de régimen subcrítico, supercrítico o la mezcla de los dos. El procedimiento computacional básico está basado en la solución de la ecuación unidimensional de energía. Las pérdidas de energía son debido a la fricción (cuantificadas mediante la ecuación de Manning), además de las pérdidas por contracción o expansión (mediante coeficientes que afectan a los términos de la altura de velocidad en la ecuación de energía). La ecuación de cantidad de movimiento es utilizada donde el perfil de la superficie libre es rápidamente variado. Estas situaciones incluyen el cálculo en régimen de flujo mixto, como lo son los resaltos hidráulicos, la hidráulica de puentes, la confluencia de dos ríos, entre otros. Los efectos de diversas obstrucciones como puentes, alcantarillas, vertederos y otras estructuras, pueden ser considerados en el análisis. También permite evaluar los cambios en la superficie libre debido a mejoras o modificaciones en el canal analizado. La importancia de HEC RAS en la modelación hidráulica de ríos, radica en que permite la: Predicción de áreas de inundación y mitigación del mismo en un río o sistema de ríos para diferentes periodos de retorno,

determinación de las variables hidráulicas para el diseño de estructuras en los ríos como, puentes, alcantarillas, cunetas, etc.; delimitación de las fajas marginales de los ríos; determinación de la altura optima en el diseño de una carretera, que puede ser afectada por el caudal del río”. (Tito Quispe , 2017, págs. 15-16)

Puentes

“Los puentes son las estructuras mayores que forman parte del drenaje transversal de la carretera y permiten salvar o cruzar un obstáculo natural, el cual puede ser el curso de una quebrada o un río. Es importante tener en cuenta que un puente no será estable si no lo es el tramo fluvial comprometido. El río es por naturaleza esencialmente móvil y cambiante. En consecuencia, el estudio de un puente que interactúa con un río no puede independizarse del correspondiente estudio de hidráulica fluvial. La estabilidad fluvial, lograda durante cientos o miles de años por el río, puede verse seriamente alterada por la construcción de un puente. La profundidad del estudio hidráulico tiene que depender de ciertas características del puente en particular, como podrían ser: su importancia dentro de la red vial, consecuencias de su falla, costo, tipo de estructura, riesgos aceptables, etc. A las que debe añadirse las correspondientes al río”. (Ministerio de Transportes Y Comunicaciones., 2008, págs. 86-87)

Análisis de frecuencia

“El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para, predecir el comportamiento futuro de los caudales en un sitio de interés, a partir de la información histórica de caudales. Es un método basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud del caudal asociado a un periodo de retorno. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica, además de la incertidumbre propia de la

distribución de probabilidades seleccionada. El análisis de frecuencia consiste en determinar los parámetros de las distribuciones de probabilidad y determinar con el factor de frecuencia la magnitud del evento para un periodo de retorno dado”. (Tito Quispe , 2017, pág. 11)

Modelos de distribución

“El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos”. (Tito Quispe , 2017, pág. 11)

Dentro de la estadística podemos aplicar distintas funciones de distribución de probabilidad teóricas; en este proyecto de tesis trabajaremos en base a 2, sean estas: Gumbel y Log - Pearson Tipo III. (Tito Quispe , 2017, pág. 11)

Pruebas de bondad de ajuste

“Las pruebas de bondad de ajuste consisten en comprobar, gráfica y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada se ajusta a una determinada función de probabilidades teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados, con base en los valores muestrales. Las pruebas estadísticas tienen por objeto medir la certidumbre que se obtiene al hacer una hipótesis estadística sobre una población; es decir, calificar el hecho de suponer que una variable aleatoria se distribuya según una cierta función de probabilidades. Las pruebas de bondad de ajuste más utilizadas son: prueba X^2 (Chi cuadrado) y Prueba Smirnov – Kolmogorov”. (Tito Quispe , 2017, pág. 12)

Periodo de retorno

“Villón (2011), define al periodo de retorno, como el intervalo promedio de tiempo en años, dentro del cual un evento de magnitud X puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Así, si un evento igual o mayor a X , ocurre una vez en T años, su probabilidad de ocurrencia P , es igual 1 en T casos”. (López Cabello , 2014, pág. 55)

Es decir:

$$T = \frac{1}{P(X \geq x)}$$

Donde:

$P(X)$: Probabilidad de ocurrencia de un evento $\geq x$

T : Periodo de retorno

“De esta manera cuando la variable aleatoria representa un evento máximo anual el periodo de retorno es el valor esperado del número de años que transcurren hasta que ocurra un evento de magnitud igual o superior que la de un evento predefinido, como crítico o de diseño”. (López Cabello , 2014, pág. 56)

Cuadro N°01

PERIODOS DE RETORNO SEGÚN EL TIPO DE ESTRUCTURA

| ESTRUCTURA | PERIODO DE RETORNO (años) |
|--|--------------------------------------|
| Puente sobre carreteras importante | 50 - 100 |
| Puente sobre carretera menos importantes o alcantarillas sobre carreteras importantes | 25 |
| Alcantarilla sobre camino secundario | 5 - 10 |
| Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcado con lluvia de corta duración | 1 - 2 |
| Drenaje de aeropuertos | 5 |
| Drenaje Urbano | 2 - 10 |
| Drenaje Agrícola | 5 - 10 |
| Muro de Encauzamiento | 2 - 50 |

Fuente: Hidrología Máximo Billón Bejar

2.3. Definiciones básicas

La erosión hidráulica

“El movimiento del agua que circula por el cauce de una corriente de agua produce el desprendimiento y transporte de los materiales que conforman su perímetro mojado”.

(Suárez Díaz , 2001, pág. 94)

Sedimentación

“Ascenso del nivel del lecho que al menos una de las márgenes converge al eje de escurrimiento”. (Villar Tambo & Carlos Enrique , 2017, pág. 18)

Socavación general

“La socavación general es producida por causas: aumento del caudal durante las avenidas, incremento de la pendiente del cauce por alteración del canal o corte de meandros, remoción de sedimentos del flujo por la construcción de una presa o por

extracción de materiales del fondo del cauce y transferencia de agua de una cuenca a otra". (Suárez Díaz , 2001, pág. 140)

Socavación local en pilas

“Según, (Dargahi, B. 1990), puede decirse que el mecanismo que produce la socavación está asociado a la separación tridimensional del flujo en la cara aguas arriba de la pila y a un vórtice periódico al pie de ella. Es por ello que se produce un sistema de vórtices al pie de la pila del cual los llamados vórtices de herradura son los principales causantes de la socavación”. (Alomía Castro & Calderon Brito , 2013, pág. 27)

Socavación local en estribos

“La socavación en estribos se encuentra afectada por los mismos fenómenos que causan la socavación local en pilas cuando los estribos obstruyen el paso del agua. Esta obstrucción forma un vórtice de eje horizontal que empieza en la parte aguas arriba y corre a lo largo del pie de la estructura y un vórtice de eje vertical al final de la misma. Este vórtice al pie del estribo es similar al vórtice de herradura de las pilas y el vórtice al final es similar a los vórtices de estela más débiles que se forman aguas abajo”. (Alomía Castro & Calderon Brito , 2013, pág. 28)

Amenaza - Peligro

“La amenaza no existe en absoluto, lo que existe como tal es el fenómeno. Se habla de amenaza porque existen elementos o una comunidad/sociedad amenazada o que sea considerada como tal actualmente (si ya vive en el lugar bajo la influencia del fenómeno) o podría serlo en un futuro, si el espacio no está habitado todavía (amenaza potencial). Por tanto, la amenaza es un concepto construido, elaborado que no es estático sino dinámico”. (Del Río Rodríguez, 2014 , pág. 5)

Vulnerabilidad

“Es el grado relativo de sensibilidad que la estabilidad del sistema en evaluación tenga respecto a un riesgo determinado. De acuerdo a esto, la vulnerabilidad representa una medida relativa del impacto que las consecuencias de un posible siniestro tendrían sobre el sistema”. (Del Río Rodríguez, 2014 , pág. 5)

Riesgo

“Es la probabilidad de ocurrencia de un evento adverso con consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y en un tiempo de exposición determinado. (Secretaria de Gestión de Riesgos – Ecuador, 2010)”. (Del Río Rodríguez, 2014 , pág. 3)

La cuenca hidrográfica e hidrológica

“Una cuenca hidrográfica es una unidad del territorio cuya topografía hace que el agua drene hacia un punto en su parte más baja (la boca de la cuenca). El concepto de cuenca hidrológica considera también una dinámica de agua en el subsuelo”. (Maass Moreno, 2015, págs. 2-7)

La escorrentía

“El escurrimiento es otro componente del ciclo hidrológico y se define como el agua proveniente de la precipitación, que circula sobre o bajo la superficie terrestre, y que llega a la corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca”. (Villon Béjar, 2002, pág. 135)

Aforo

“Conjunto de operaciones para determinar el caudal en un curso de agua para un nivel observado. Su objetivo es correlacionar el nivel de agua con el caudal o gasto para obtener la curva de descarga”. (Villar Tambo & Carlos Enrique , 2017, pág. 18)

Medición de caudales

“El régimen de caudales es un dato básico indispensable, para todos los diseños hidráulicos y para muchas obras civiles en los que ellos son parte importante como las carreteras, puentes, acueductos y presas”.

(Maria Cecilia Suarez Rubi, pág. 39)

Análisis de caudales máximos o máximas avenidas

“El objetivo del cálculo de caudales consiste en estimar los valores de flujo (normalmente máximos) originados en una sección determinada de un cauce, para una precipitación concreta, que incide en la cuenca vertiente correspondiente a dicha sección. Normalmente se trata de calcular valores máximos para el dimensionamiento de obras o estudios de inundabilidad de márgenes, los datos necesarios dependen del método que se pretenda utilizar”.

(Robredo Sánchez, pág. 4)

Inundación

“Es aquel evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica, provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua, de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y que generalmente causan daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura. (Centro Nacional de Prevención de Desastres – México, 2010)”. (Del Río Rodríguez, 2014 , pág. 7)

Emergencia

“Evento adverso en el cual la comunidad responde con sus propios recursos deseados. (Secretaria de Gestión de Riesgos – Ecuador, 2011)”. (Del Río Rodríguez, 2014 , pág. 9)

Prevención

“Son las medidas y acciones dispuestas con anticipación que buscan evitar riesgos en torno a amenazas y vulnerabilidades. (Secretaría de Gestión de Riesgos – Ecuador, 2010). La prevención también es considerada por ciertos autores como el conjunto de medidas y acciones que, al contrario de la preparación, son estructurales, incluyendo las medidas legislativas y de ordenamiento territorial”. (Del Río Rodríguez, 2014 , pág. 11)

Mitigación

“Corresponde al conjunto de medidas y acciones estructurales que buscan disminuir los niveles de riesgo ya existentes: es una visión correctiva. Como para el caso de la prevención, las medidas se aplican a la amenaza y/o a la vulnerabilidad. Más que de la búsqueda de un nivel de riesgo 0, se intenta llegar a niveles de riesgo aceptables”. (Del Río Rodríguez, 2014 , pág. 12)

Fenómeno “El Niño”

“El Niño empieza como una fuerte caída en la fuerza de los vientos alisios que corren por la superficie del océano y entonces el sistema de circulación de aire se detiene, las aguas de la superficie del océano ya no son desplazadas de este a oeste y por tanto empiezan a moverse hacia américa del sur, esas aguas templadas empiezan a acumularse en las costas de Sudamérica, el aire caliente y húmedo se eleva y comienza a caer causando precipitaciones en Perú y Ecuador mientras en las costas de Indonesia y del norte de Australia la temperatura de las aguas ha bajado dando paso a un clima más frío y seco e incluso sequia; el fenómeno El Niño ocurre con una frecuencia irregular y ocurre normalmente en intervalos de 3 y 5 años”. (Del Río Rodríguez, 2014 , pág. 14)

Periodo de avenidas

“Es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio de este. Se inicia aproximadamente en enero y termina en marzo”. (Del Río Rodríguez, 2014 , pág. 15)

Rugosidad superficial

“La rugosidad superficial se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forman el perímetro mojado y que producen un efecto retardador del flujo. Por lo general este se considera como el único factor para la selección de un coeficiente de rugosidad”. (Chow, 2006). (Mayta Rojas & Mamani Maqueta , 2018, pág. 31)

Defensas ribereñas

Dique

“Los diques son obras geotécnicas lineales de gran longitud a modo de pequeñas presas, construidas con materiales como arcilla, arena o materiales pétreos. Definen un territorio contra la inundación y definen un cauce de avenidas”. (Tito Quispe , 2017, pág. 18)

Espigones

“Son estructuras impuestas a la corriente, uno de cuyos extremos está unido a la margen. El propósito de estas estructuras consiste en alejar de la orilla las líneas de corriente con alta velocidad, y evitar así que el material de la margen pueda ser transportado y ella se erosione. Los espigones generalmente son construidos con enrocado o gaviones. Estas estructuras son aplicadas generalmente en ríos cuyo cauce principal tiene orillas bajas y se pretende proteger contra la inundación, erosión y con metas de fijación del cauce principal. Se puede lograr alturas de más de cuatro metros trabajando con dos o tres cuerpos. (REYES, 2003)”. (Tito Quispe , 2017, pág. 18)

Gavión

“El gavión es una cesta formada con malla metálica hexagonal tejida con doble torsión. Al ser relleno con canto rodado, piedra de cantera o rocas estables forma un elemento constructivo continuo con gran estabilidad y comportamiento estructural, permeable al agua y relativamente flexible”. (Tito Quispe , 2017, pág. 17).

III. MATERIAL Y MÉTODO

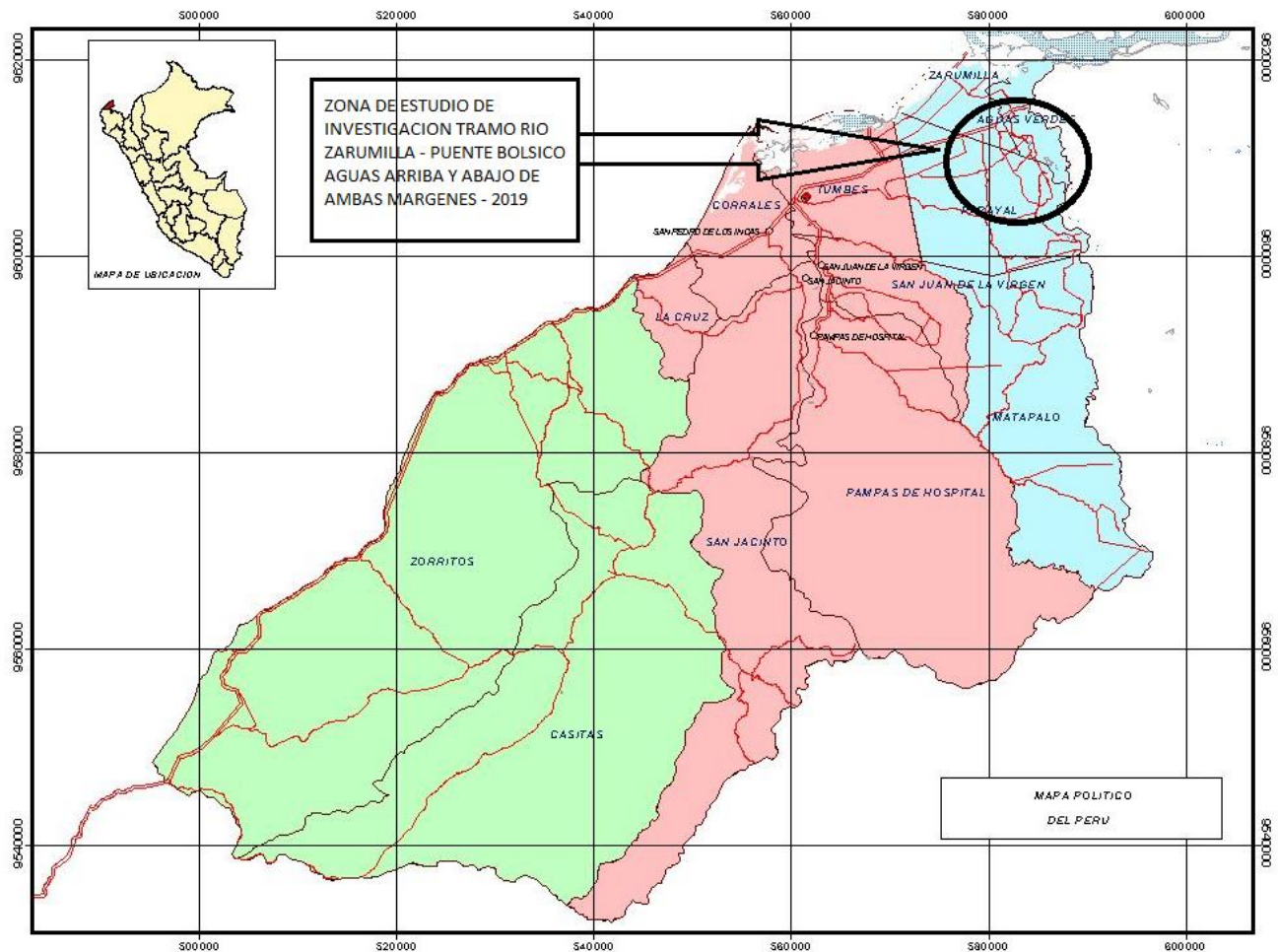
3.1. Ubicación

3.1.1. Ubicación política

El área de estudio se encuentra ubicada en el departamento de Tumbes, provincia de Zarumilla y distrito de Aguas Verdes, el ámbito de la investigación de tesis se ubica en el tramo del río Zarumilla aguas abajo y arriba de ambas márgenes – puente Bolsico, donde se desarrolló el estudio de investigación.

El detalle de Ubicación política del área de estudio se presenta en el mapa N° 01

Mapa N°01.- Ubicación Política del proyecto de “Tesis”



Fuente: Elaboración propia

3.1.2. *Ubicación geográfica*

La ubicación geográfica del recorrido de esta zona de estudio río Zarumilla - geográficamente está ubicada entre las coordenadas Este 583, 200 – 584,000 y coordenada Norte 9, 613,800 – 9, 616,000.

La principal vía de acceso partiendo de la ciudad de Tumbes es la carretera panamericana hasta la ciudad de Aguas Verdes haciendo un recorrido de 25 Km aproximadamente.

El puente Bolsico se encuentra ubicado entre las coordenadas:

Este 593,446 – 593,522 y Norte 9,615,086 – 9,615,076



Figura 1. Ubicación geográfica del puente Bolsico

3.2. Tipo de estudio y diseño de contrastación de la hipótesis

▪ Tipo de estudio

Este proyecto es de tipo básico por la cual no tiene hasta ahora una aplicación inmediata, que sirva para evitar las inundaciones y el colapso de estructuras ante las amenazas como la presencia el fenómeno El Niño; al contrario, cuando se presentan avenidas máximas en los eventos extraordinarios, en la zona de Aguas Verdes y sobre todo ante la vulnerabilidad del puente Bolsico, muchas veces no hay un programa de mitigación y/o prevención, por falta de planes y/o proyectos, en esta zona que es alto riesgo; y por un lugar de frontera es muy transitado y vulnerable, lo que amerita contar con instrumentos de gestión de desastres para dar soluciones de prevención y mitigación.

▪ Diseño de la contrastación de la hipótesis

Diseño no experimental. - la presente investigación es no experimental por que no usa grupo de control ni experimental.

-Transversal. - de acuerdo a lo establecido el estudio a desarrollarse, será transversal pues será necesario el análisis de una data de caudales máximos registrados en el río Zarumilla, para realizar un estudio hidrológico e hidráulico.

-Explicativa. – los cálculos de caudales de crecidas que se determinaran con el estudio hidrológico, podrá explicar cuánto vulnerable será el puente Bolsico, para soportar estas avenidas por su sección hidráulica reducida.

-Causales. - la investigación estudiará que la principal causa de un colapso del puente Bolsico, podría ser la reducida capacidad que tiene la sección hidráulica, para soportar caudales de crecidas ante una presencia el fenómeno El Niño. El

estudio hidrológico – hidráulico, que se llevará a cabo, nos dirá hasta que caudales de crecida podrá soportar el puente y para qué periodo de retorno.

3.3. Población muestra y muestreo

- Población

Dos cuencas de montaña tropical son formadas por los ríos Puyango – Tumbes y Zarumilla, teniendo como punto de origen el terreno de Ecuador y punto final territorio peruano, ambos ríos son la principal fuente de recurso hídrico y sedimentos del Santuario Nacional Manglares de Tumbes. La cuenca binacional Puyango – Tumbes cuenta con un área total de 4,850 Km², de ellos 1,940 Km² se encuentran inmersos en el territorio peruano (40%), ubicados en la parte baja, cuyo principal cultivo es el banano y arroz, además de otros usos (poblacional y acuícola), el 60% del área se encuentra en el territorio ecuatoriano, ubicado en la parte alta de la cuenca.

- Muestra

La cuenca del río Zarumilla, se registraron crecidas de 920.8 m³/seg y de 885.9 m³/seg, febrero y marzo de 1998 respectivamente causando desborde e inundación en el sector aguas abajo del puente Bolsico.

- Muestreo

La zona donde se está realizando este proyecto es completamente responsabilidad de los investigadores, En este caso la investigación es no probabilística e intencional.

3.4. Material y métodos

3.4.1. Materiales

- Libreta de apuntes; donde se plasmará la información como medidas, coordenadas, etc.

- Lapicero; instrumento para plasmar los datos en la libreta.
- Obtuvimos la data de caudales máximos por la cual nos facilitó el Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes.

3.4.2. Software o programas

- Se necesitará software como el AutoCAD, ArcGIS, HEC RAS, para determinar la sección hidráulica.
- AutoCAD Civil 3D 2018, se trabajará con este programa para realizar el trabajo de gabinete y procesamiento de datos obtenidos en campo a través de estación total y GPS.

3.4.3. Equipos

- Cámara fotográfica, Se trabajará con cámara de celular Huawei p9 lite 2017, donde se registraremos mediante tomas fotográficas pruebas de las zonas vulnerables en este caso del rio Zarumilla – puente Bolsico.
- Navegador GPS
- Laptop modelo HP Intel Core i7, que contará con un sistema operativo de Windows 10, donde desarrollaremos con los siguientes programas como el MICROSOFT EXCEL, MICROSOFT POWER POINT Y MICROSOFT WORD. También nos servirá para procesar la información obtenida tanto en campo, como de fuentes textuales.
- Estación total; toma de datos para dicho proyecto.

3.4.4. Métodos

Método científico. - En nuestro presente trabajo “Proyecto de tesis” de investigación se usará el Método Inductivo.

- **Inductivo:** el cual se dará a conocer de lo específico, datos, e información necesaria para plasmarlo a un plano general.

Este método a seguir nos facilita con fines de darle solución al problema de inundación, en el que plantearemos datos analizando una mejora para esta zona de inundación y así disminuya los afectados que son de la zona de Aguas Verdes y a los agricultores cerca a esta estructura del puente Bolsico.

- Técnicas. - Las técnicas más utilizadas en el estudio de este proyecto de investigación serán:

Lectura: Para el estudio de este proyecto de investigación se necesitará recaudar información de portales libros, y para lo cual se necesitará un breve estudio para poder introducir una información veraz y real.

Observación: En este caso es la manera más eficiente de dar identificación de la zona de recorrido del puente Bolsico, observando las máximas avenidas vecinas en los días de mayor caudal.

Entrevista: a agricultores las cuales hayan visto el caudal máximo y su comportamiento. La problemática que estos ocasionaban y en la población así mismo la información tiene que ser precisa.

- Instrumentos. -

Lectura: Recolectando la información tabulada del Proyecto Especial Binacional Puyango-Tumbes. También se revisará información subida a portales de internet, anuncios como noticias, tesis y libros, donde se refieren a nuestro tema.

Observación: La zona del puente Bolsico en riesgo, está relacionada al caudal máximo del río Zarumilla, para diferentes períodos de retorno, cuyo análisis nos dará con que avenida máxima podrá soportar dicha infraestructura; teniendo en cuenta las crecidas pasadas, verificaremos cuan vulnerable estará esta estructura.

Entrevista: Nos acercaremos a los pobladores para poder realizarles una entrevista en la que nos narren como ha sido el comportamiento del río Zarumilla, en épocas de avenidas en la zona de estudio y en años anteriores. No se cuenta con un modelo especificado, simplemente es una técnica para corroborar información.

3.5. Procesamiento y análisis de datos.

Procesamiento.

En este procedimiento de investigación se registró, clasifíco, interpreto y se analizó los datos obtenidos en campo para el traslado a los programas de software: AutoCAD civil 3D, ArcGIS, **Hidroesta 2** y HEC RAS 5.0, por el cual obtuvimos un estudio hidrológico y análisis estadísticos para el periodo de retorno en 25, 50 y 100 años. Está en función de la vida útil de la estructura del puente Bolsico.

Análisis.

La información obtenida del diagnóstico situacional de las zonas agrícolas inundables fue corroborada a programas de modificación, medición y cálculos referentes a estudios hidráulicos e hidrológicos.

3.6. Metodología.

3.6.1. Recolección de información.

En la presente investigación “Vulnerabilidad de la sección hidráulica del puente Bolsico para soportar caudales de crecidas extraordinarias del rio Zarumilla - 2019”, Se recolecto toda información existente, y análisis proporcionada de la entidad “Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes (PEBPT), en el cual se obtuvo estudios hidrológicos e hidráulicos anteriores para nuestros antecedentes, digitales, data de máximos caudales

para el cálculo, determinamos los máximos caudales instantáneos de la cuenca río Zarumilla, de las estaciones Palmales y puente Bolsico.

Se realizó en fase de campo un reconocimiento y levantamiento topográfico para determinación y transporte de datos.

3.6.2. Trabajo de campo.

En esta etapa de visitas de campo fue sumamente importante el reconocimiento del área de estudio a investigar, en el que las estaciones de aforo Palmales y puente Bolsico se tuvo como recolección y se analizó los registros de caudales máximos del río principal, la toma de progresivas (longitud) que acogimos para dicho proyecto, nos fue necesario y suficiente unos 600 mts aguas arriba hasta 400 mts aguas abajo del cruce de agua a estructura del puente Bolsico, en ese tramo establecimos puntos de referencia para el replanteo, en dirección longitudinal (correspondiente en eje de la carretera) y en dirección transversal (a la del río) durante el trabajo con la estación total realizamos un levantamiento topográfico.

3.6.3. Estimación de caudal de diseño gabinete (calculo hidrológico).

“En este capítulo, un sistema hidrológico es afectado eventualmente por eventos extremos, tales como tormentas severas, crecientes, etc. La magnitud de este evento extremo está relacionada con su frecuencia de ocurrencia mediante una distribución de probabilidades, los métodos estadísticos se apoyan en la existencia de series de datos de caudales en el lugar de interés, las cuales son sometidas a un análisis de frecuencias. Esto implica efectuar ajustes de varias distribuciones teóricas a una determinada muestra, para comparar y concluir cuál de ellas se aproxima mejor a la distribución

empírica. Para utilizar estos modelos probabilísticos, se deben calcular sus parámetros y realizar la prueba de bondad de ajuste.

Si el ajuste es bueno, se puede utilizar la distribución elegida, una vez encontrada la ley de distribución que rige a las variables aleatorias, además se podrá predecir con determinada probabilidad, la ocurrencia de una determinada magnitud. También se podrá determinar la magnitud de un fenómeno para un determinado periodo de retorno, para calcular la probabilidad. Se han aplicado modelos de ajustes estadístico como Normal, Log Normal 2 y 3 parámetros, Gamma 3 Parámetros o Pearson Tipo III, Log Gamma o Pearson Tipo III, Gumbel Tipo I y Gamma”.

3.6.4 Preparación de la información gabinete (calculo hidráulico).

Para la elaboración de nuestro modelo hidráulico, tomamos en cuenta primero los caudales máximos que obtuvimos mediante el análisis de distribuciones estadísticas, así como también la geometría existente de nuestro tramo de estudio para los periodos de retorno que evaluaremos que son de 25, 50 y 100 años.

Para determinar la geometría del cauce del río Zarumilla en nuestro tramo de estudio fue necesario la toma de datos topográficos (Este, Norte y cota) que luego los procesamos en AutoCAD para posteriormente exportarlos al ArcGIS creando un modelo de elevación digital, que mediante una extensión llamada HecGeoras fue posible la generación de la geometría requerida en el programa HEC–RAS 5.0, del tramo el cual evaluaremos tanto hidráulica como de análisis de vulnerabilidad que se encuentra expuesto el puente Bolsico.

Estos cálculos hidráulicos con el programa HEC-RAS comprendió lo siguiente:

- ✓ Generación de la geometría del cauce del río Zarumilla tramo Puente Bolsico tuvo como longitud 600 mts aguas arriba y 400 mts aguas abajo. La geometría de las secciones transversales fue totalmente real, conociendo sus distancias, cotas y demás valores comprendidos entre sus márgenes y riberas.
- ✓ Coeficientes de pérdida de energía utilizados en este programa para su evaluación son:
 - Coeficiente de rugosidad de Manning “n”, tanto para el fondo del río como para las orillas.
- ✓ Como dato final ingresamos los diferentes caudales máximos de diseño para los 3 perfiles de flujo que evaluaremos y estos son para un $T_r = 25, 50$ y 100 años.
- ✓ Con todos los datos requeridos por el programa HEC-RAS 5.0, completos ejecutamos la corrida, para una condición de flujo mixto.

De acuerdo a las secciones ingresadas, obtenemos geometría y secciones transversales a lo largo del tramo de estudio, teniendo los parámetros y datos de progresivas, alturas de superficie, profundidades críticas y mínimas para los 3 perfiles de flujo ingresados. Gracias a las secciones transversales y los coeficientes de rugosidad del tramo de estudio, el programa HEC-RAS determinó el nivel máximo de agua en cada sección para los $T_r = 25, 50$ y 100 años, de los niveles de agua que alcanzarán dichos caudales y así poder observar la modelación; Además de las distintas zonas en donde el tirante máximo de diseño supere la altura del puente y este rebase determinando las zonas críticas de inundación y vulnerabilidad.

IV. RESULTADOS

4.1. Análisis de la información hidrológica de la cuenca del río Zarumilla.

En el presente estudio hidrológico del Río Zarumilla para nuestro proyecto de tesis, se desarrolló con el objetivo de determinar los máximos caudales y máximos caudales instantáneos empleados para el cálculo del máximo caudal de diseño para un periodo de retorno de 25, 50 y 100 años que está en función de la vida útil de la estructura de cruce que es el puente Bolsico de la cual estaremos evaluando la vulnerabilidad en el tramo de estudio de nuestro mencionado proyecto.

Nuestro país tiene una de las más grandes limitaciones a diferencia de otros países, respecto a la disponibilidad de datos tanto pluviométricos como hidrométricos debido a que gran parte de nuestras cuencas hidrográficas no se encuentran instrumentadas, es por ello que en la mayoría de casos utilizamos métodos indirectos para la estimación de máximos caudales y caudales de diseño.

Para que un estudio hidrológico pueda ser del todo confiable en la predicción de eventos futuros es recomendable contar con un mínimo de 25 años de registro, pues tendremos mayor representatividad, calidad, extensión y consistencia de los datos.

En nuestros cálculos hidrológicos respectivos hemos considerado los registros del:

1. Periodo **1965 al 2006** (Estación de aforo puente Bolsico), de los registros de descargas máximas del promedio diario proporcionada por el Proyecto Especial Binacional Puyango – Tumbes (PEBPT) de los cuales mediante la ecuación de Fuller los llevamos a caudales máximos instantáneos en función al área de la Cuenca Zarumilla. Ver anexo N° 01

2. Periodo **1993 al 2005** (Estación de aforo puente Bolsico), de los registros de descargas máximas del promedio diario proporcionada por la Sub Administración del Distrito de Riego de Zarumilla de los cuales mediante la ecuación de Fuller los llevamos a caudales máximos instantáneos en función al área de la cuenca Zarumilla. Ver anexo N° 02 y 03
3. Periodo **2011 al 2019** (Estación de aforo Palmales), de los registros de descargas máximas diarias anuales proporcionada por el Proyecto Especial Binacional Puyango – Tumbes (PEBPT). Ver anexo N° 04

4.2. Análisis estadístico de datos hidrológicos.

El objetivo principal del análisis de frecuencias es la estimación de precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según el ámbito del proyecto, para distintos periodos de retorno aplicando una serie de modelos probabilísticos, sean estos discretos o continuos.

En la determinación de distribuciones teóricas de ajuste o análisis de frecuencias hidrológicas, de las cuales realizamos una serie de pruebas para nuestras 3 datas históricas tanto de la estación de aforo en puente Bolsico como la estación de aforo Palmales, mediante las distribuciones más conocidas como: normal, Log normal 2 parámetros, Log normal 3 parámetros, Gumbel, Log Gumbel, gamma 2 parámetros, gamma 3 parámetros, siendo la Log Pearson tipo III la única distribución que no se ajustaba en ninguna de nuestras 3 datas históricas gracias al software HIDROESTA 2, como se observa en el anexo 05, 06, 07.

Observamos que las distribuciones que más se acercaban a estudios hidrológicos anteriores de la Cuenca Zarumilla fueron la de: Gumbel y Log Normal. Para un periodo de retorno de 25, 50 y 100 años.

Finalmente seleccionamos los diferentes caudales calculados para un periodo de retorno de 25, 50 y 100 años en nuestras 3 datas históricas, que mediante un análisis de promedios tanto para la distribución Gumbel como Log normal, definimos nuestro caudal de diseño el cual lo tomaremos para posteriormente realizar los cálculos hidráulicos y de vulnerabilidad del Puente Bolsico modelamiento con Hec – Ras.

4.3. RESUMEN MAXIMOS CAUDALES Y CAUDAL DE DISEÑO PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 25, 50 y 100 AÑOS.

En el siguiente cuadro se observa el resumen de los caudales máximos de diseño, para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años:

Tabla 01.

| PERIODOS DE RETORNO | DISTRIBUCIÓN | | | | | | Qmax Prom. Diseño |
|---------------------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|-------------------|
| | DATA 1956 - 2006 | | DATA 1993 - 2005 | | DATA 2011 - 2019 | | |
| | LOG NORMAL | GUMBEL | LOG NORMAL | GUMBEL | LOG NORMAL | GUMBEL | |
| 25 | 1021.75 | 983.31 | 871.43 | 865.62 | 1103.65 | 1129.20 | 995.83 |
| 50 | 1299.41 | 1160.78 | 1180.99 | 1034.38 | 1257.71 | 1304.28 | 1206.26 |
| 100 | 1609.29 | 1336.94 | 1549.22 | 1201.90 | 1408.19 | 1478.07 | 1430.60 |
| Prom.T= 25años | 1002.53 | | 868.53 | | 1116.43 | | |
| Prom.T= 50años | 1230.10 | | 1107.69 | | 1281.00 | | |
| Prom.T= 100años | 1473.12 | | 1375.56 | | 1443.13 | | |

Fuente: Elaboración propia

4.4. CALCULO HIDRAÚLICO RIO ZARUMILLA.

CALCULO DEL TIRANTE NORMAL Y VELOCIDAD CON N DE MANNING COMPUESTO.

Debido a que en nuestra zona de estudio del río Zarumilla presenta porciones del perímetro mojado con rugosidades distintas, esto supone a que tenga valores del coeficiente de rugosidad “n, para cada porción.

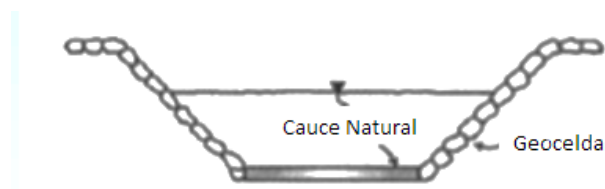


Figura. 2 Sección Río Zarumilla rugosidades compuestas

Para la aplicación de la fórmula de Manning tuvimos que calcular primero un “n” ponderado equivalente y representativo de todo el perímetro mojado de la sección.

Para determinar la rugosidad ponderada utilizamos el criterio de Horton y Einstein:

$$n = \left[\frac{p_1 n_1^{3/2} + p_2 n_2^{3/2} + \dots + p_N n_N^{3/2}}{p} \right]^{2/3}$$

Utilizando la conocida fórmula, realizamos los cálculos posteriores para hallar tanto la velocidad como el tirante normal para los tiempos de retorno de 25, 50 y 100 años, el cual lo detallamos a continuación:

1. Para un caudal: $Q_{25} = 995.83 \text{ m}^3/\text{s}$, para un periodo de retorno de 25 años.

Datos

$$S = 0.0005$$

$$A = (75 + 1.5y)y$$

$$p = 75 + 2\sqrt{1 + (1.5y)^2}$$

$$p = 75 + 3.6y$$

-Revestimiento con geoceldas rellena con concreto:

$$Q = 1206.26 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (T = 50 años)} \longrightarrow Y_n = 4.91$$

-Revestimiento con cauce natural:

$$Q = 1430.60 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (T = 100 años)} \longrightarrow Y_n = 7.55$$

Se pide:

V = ¿?, y $Y_n = ?$ Cuando $Q = 995.83 \text{ m}^3/\text{s}$ (T = 25 años)

- Calculando los coeficientes de rugosidad para cada tipo de revestimiento.

De la ecuación de Manning se tiene:

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{5/3}}{p^{2/3}} * S^{1/2} \longrightarrow n = \frac{S^{1/2}}{Q} * \left(\frac{A^5}{p^2} \right)^{1/3}$$

Sustituyendo valores, resulta:

$$n = \frac{0.0005^{1/2}}{Q} \left[\frac{[(75 + 1.5y)y]^5}{(75 + 3.6y)^2} \right]^{1/3} \quad \dots (1)$$

En la ecuación (1) para el río Zarumilla tramo (Puente Bolsico), revestido de mampostería se tiene:

$$n_m = \frac{0.0005^{1/2}}{1206.26} \left[\frac{[(75 + 1.5 * 4.91)4.91]^5}{(75 + 3.6 * 4.91)^2} \right]^{1/3}$$

$$n_m = 0.020$$

En la ecuación (1) para el río Zarumilla tramo (puente bolsico), con un cauce natural, se tiene:

$$n_{cn} = \frac{0.0005^{1/2}}{1430.60} \left[\frac{[(75 + 1.5 * 7.55)7.55]^5}{(75 + 3.6 * 7.55)^2} \right]^{1/3}$$

$$n_{cn} = 0.035$$

b. Cálculo de Y_n según las condiciones siguientes:

$$Q = 995.83 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (} T = 25 \text{ años)}, S = 0.0005, A = (75 + 1.5y) \text{ y ... (2)}$$

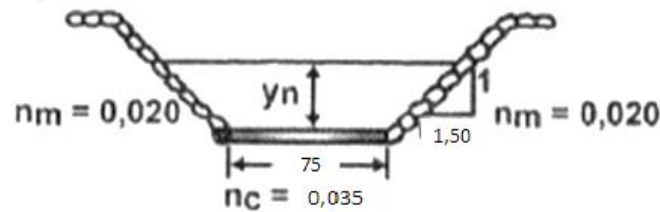


Figura. 3 Sección Río Zarumilla rugosidades compuestas

De la ecuación de Manning, se tiene:

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{5/3}}{p^{2/3}} * S^{1/2} \quad \dots (3)$$

De la ecuación utilizada para el cálculo de la rugosidad ponderada, Horton (1993) y Einstein (1934), se tiene:

$$n = \left[\frac{p_1 n_1^{3/2} + p_2 n_2^{3/2} + \dots + p_N n_N^{3/2}}{p} \right]^{2/3}$$

$$n = \frac{(p_m n_m^{1.5} + p_{cn} n_{cn}^{1.5} + p_m n_m^{1.5})^{2/3}}{p^{2/3}}$$

$$n p^{2/3} = (2 p_m n_m^{1.5} + p_{cn} n_{cn}^{1.5})^{2/3}$$

$$n p^{2/3} = \left(2 \sqrt{1 + (1.5y)^2} * 0.02^{1.5} + 75 * 0.035^{1.5} \right)^{2/3}$$

$$np^{2/3} = (0.0102y + 0.4911)^{2/3} \quad \dots (4)$$

Sustituyendo (2) y (4) en (3), resulta:

$$995.83 = \frac{[(75 + 1.5y)y]^{5/3}}{(0.0102y + 0.4911)^{2/3}} * 0.0005^{1/2}$$

De donde:

$$\frac{[(75 + 1.5y)y]^5}{(0.0102y + 0.4911)^2} = \left(\frac{995.83}{0.0005^{1/2}} \right)^3$$

$$f(y) = \frac{[(75 + 1.5y)y]^5}{(0.0102y + 0.4911)^2} = \left(\frac{Q}{S^{1/2}} \right)^3$$

$$f(y) = \frac{[(75 + 1.5y)y]^5}{(0.0102y + 0.4911)^2} = 8.83285E + 13$$

Resolviendo por tanteos, se tiene:

| Yn | f (Y) |
|-----------------|--------------------|
| 5.7 | 8.12049E+13 |
| 5.78 | 8.74328E+13 |
| 5.79 | 8.82381E+13 |
| 5.791 | 8.83189E+13 |
| 5.7911 | 8.8327E+13 |
| 5.79112 | 8.83287E+13 |
| 5.791118 | 8.83285E+13 |

Por lo tanto, **Yn= 5.791118 m**

c. Cálculo de v :

De la ecuación (2), se tiene:

$$A = (75 + 1.5(5.791118)5.791118)$$

$$A = 484.6394 \text{ m}^2$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se tiene:

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

$$v = \frac{995.83}{484.6394}$$

$$v = 2.0548 \text{ m/s}$$

2. Para un caudal: $Q_{50} = 1206.26 \text{ m}^3/\text{s}$, para un periodo de retorno de 50 años.

Datos

$$S = 0.0005$$

$$A = (75 + 1.5y)y$$

$$p = 75 + 2\sqrt{1 + (1.5y)^2}$$

$$p = 75 + 3.6y$$

Revestimiento con mampostería:

$$Q = 995.83 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (T = 25 años)} \longrightarrow Y_n = 4.38$$

Revestimiento con cauce natural:

$$Q = 1430.60 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (T = 100 años)} \longrightarrow Y_n = 7.55$$

Se pide:

$$V = \text{¿?}, Y_n = \text{?} \text{ Cuando } Q = 1206.26 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (T = 50 años)}$$

a. Calculando los coeficientes de rugosidad para cada tipo de revestimiento.

De la ecuación de Manning se tiene:

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{5/3}}{p^{2/3}} * S^{1/2} \quad \longrightarrow \quad n = \frac{S^{1/2}}{Q} * \left(\frac{A^5}{p^2} \right)^{1/3}$$

Sustituyendo valores, resulta:

$$n = \frac{0.0005^{1/2}}{Q} \left[\frac{[(75 + 1.5y)y]^5}{(75 + 3.6y)^2} \right]^{1/3} \quad \dots (1)$$

En la ecuación (1) para el río Zarumilla tramo (Puente Bolsico), revestido de mampostería se tiene:

$$n_m = \frac{0.0005^{1/2}}{995.83} \left[\frac{[(75 + 1.5 * 4.38)4.38]^5}{(75 + 3.6 * 4.38)^2} \right]^{1/3}$$

$$n_m = 0.020$$

En la ecuación (1) para el río Zarumilla tramo (puente bolsico), con un cauce natural, se tiene:

$$n_{cn} = \frac{0.0005^{1/2}}{1430.60} \left[\frac{[(75 + 1.5 * 7.55)7.55]^5}{(75 + 3.6 * 7.55)^2} \right]^{1/3}$$

$$n_{cn} = 0.035$$

b. Calculo de Y_n según las condiciones siguientes:

$$Q = 995.83 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (T = 25 años)}, S = 0.0005, A = (75 + 1.5y) \text{ y } \dots (2)$$

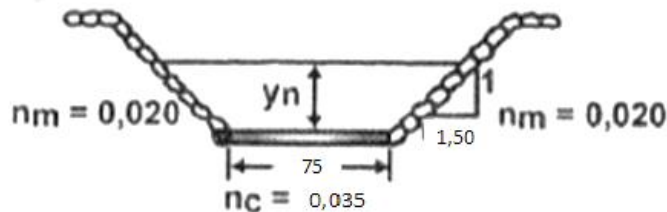


Figura. 4 Sección Río Zarumilla rugosidades compuestas

De la ecuación de Manning, se tiene:

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{5/3}}{p^{2/3}} * S^{1/2} \quad \dots (3)$$

De la ecuación utilizada para el cálculo de la rugosidad ponderada, Horton (1993) y Einstein (1934), se tiene:

$$n = \left[\frac{p_1 n_1^{3/2} + p_2 n_2^{3/2} + \dots + p_N n_N^{3/2}}{p} \right]^{2/3}$$

$$n = \frac{(p_m n_m^{1.5} + p_{cn} n_{cn}^{1.5} + p_m n_m^{1.5})^{2/3}}{p^{2/3}}$$

$$np^{2/3} = (2p_m n_m^{1.5} + p_{cn} n_{cn}^{1.5})^{2/3}$$

$$np^{2/3} = \left(2\sqrt{1 + (1.5y)^2} * 0.02^{1.5} + 75 * 0.035^{1.5} \right)^{2/3}$$

$$np^{2/3} = (0.0102y + 0.4911)^{2/3} \quad \dots (4)$$

Sustituyendo (2) y (4) en (3), resulta:

$$1206.26 = \frac{[(75 + 1.5y)y]^{5/3}}{(0.0102y + 0.4911)^{2/3}} * 0.0005^{1/2}$$

De donde:

$$\frac{[(75 + 1.5y)y]^5}{(0.0102y + 0.4911)^2} = \left(\frac{1206.26}{0.0005^{1/2}}\right)^3$$

$$f(y) = \frac{[(75 + 1.5y)y]^5}{(0.0102y + 0.4911)^2} = \left(\frac{1206.26}{0.0005^{1/2}}\right)^3$$

$$f(y) = \frac{[(75 + 1.5y)y]^5}{(0.0102y + 0.4911)^2} = 1.56988E + 14$$

Resolviendo por tanteos, se tiene:

| Yn | f (Y) |
|-----------|--------------|
| 6.4 | 1.50317E+14 |
| 6.45 | 1.56688E+14 |
| 6.452 | 1.56947E+14 |
| 6.4523 | 1.56986E+14 |
| 6.45231 | 1.56988E+14 |

Por lo tanto, **Yn= 6.45231 m**

c. Calculo de v:

De la ecuación (2), se tiene:

$$A = (75 + 1.5(6.45231)6.45231)$$

$$A = 546.3717 \text{ m}^2$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se tiene:

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

$$v = \frac{1206.26}{546.3717}$$

$$v = 2.2078 \text{ m/s}$$

3. Para un caudal: $Q_{100} = 1430.60 \text{ m}^3/\text{s}$, para un periodo de retorno de 100 años.

Datos

$$S = 0.0005$$

$$A = (75 + 1.5y)y$$

$$p = 75 + 2\sqrt{1 + (1.5y)^2}$$

$$p = 75 + 3.6y$$

Revestimiento con mampostería:

$$Q = 995.83 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (T = 25 años)} \longrightarrow Y_n = 4.38$$

Revestimiento con cauce natural:

$$Q = 1206.26 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (T = 50 años)} \longrightarrow Y_n = 6.83$$

Se pide:

$V = ?$, $Y_n = ?$ Cuando $Q = 1430.60 \text{ m}^3/\text{s}$ (T = 100 años)

a. Calculando los coeficientes de rugosidad para cada tipo de revestimiento.

De la ecuación de Manning se tiene:

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{5/3}}{p^{2/3}} * S^{1/2} \longrightarrow n = \frac{S^{1/2}}{Q} * \left(\frac{A^5}{p^2} \right)^{1/3}$$

Sustituyendo valores, resulta:

$$n = \frac{0.0005^{1/2} \left[\frac{[(75 + 1.5y)y]^5}{(75 + 3.6y)^2} \right]^{1/3}}{Q} \dots (1)$$

En la ecuación (1) para el río Zarumilla tramo (Puente Bolsico), revestido de mampostería se tiene:

$$n_m = \frac{0.0005^{1/2} \left[\frac{[(75 + 1.5 * 4.38)4.38]^5}{(75 + 3.6 * 4.38)^2} \right]^{1/3}}{995.83}$$

$$n_m = 0.020$$

En la ecuación (1) para el río Zarumilla tramo (puente bolsico), con un cauce natural, se tiene:

$$n_{cn} = \frac{0.0005^{1/2}}{1206.26} \left[\frac{[(75 + 1.5 * 6.83)6.83]^5}{(75 + 3.6 * 6.83)^2} \right]^{1/3}$$

$$n_{cn} = 0.035$$

b. Calculo de Y_n según las condiciones siguientes:

$$Q = 1430.60 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (} T = 100 \text{ años), } S = 0.0005, A = (75 + 1.5y) \text{ y ... (2)}$$

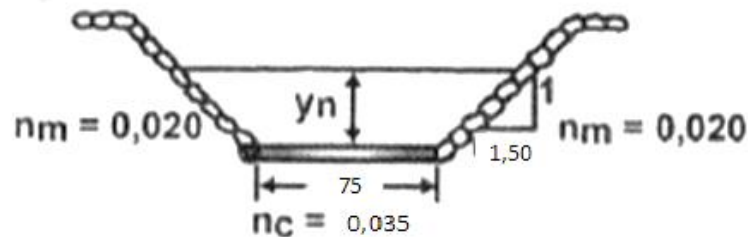


Figura. 5 Sección Río Zarumilla rugosidades compuestas

De la ecuación de Manning, se tiene:

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{5/3}}{p^{2/3}} * S^{1/2} \quad \dots (3)$$

De la ecuación utilizada para el cálculo de la rugosidad ponderada, Horton (1993) y Einstein (1934), se tiene:

$$n = \left[\frac{p_1 n_1^{3/2} + p_2 n_2^{3/2} + \dots + p_N n_N^{3/2}}{p} \right]^{2/3}$$

$$n = \frac{(p_m n_m^{1.5} + p_{cn} n_{cn}^{1.5} + p_m n_m^{1.5})^{2/3}}{p^{2/3}}$$

$$np^{2/3} = (2p_m n_m^{1.5} + p_{cn} n_{cn}^{1.5})^{2/3}$$

$$np^{2/3} = \left(2\sqrt{1 + (1.5y)^2} * 0.02^{1.5} + 75 * 0.035^{1.5} \right)^{2/3}$$

$$np^{2/3} = (0.0102y + 0.4911)^{2/3} \quad \dots (4)$$

Sustituyendo (2) y (4) en (3), resulta:

$$1430.60 = \frac{[(75 + 1.5y)y]^{5/3}}{(0.0102y + 0.4911)^{2/3}} * 0.0005^{1/2}$$

De donde:

$$\frac{[(75 + 1.5y)y]^5}{(0.0102y + 0.4911)^2} = \left(\frac{1430.60}{0.0005^{1/2}} \right)^3$$

$$f(y) = \frac{[(75 + 1.5y)y]^5}{(0.0102y + 0.4911)^2} = \left(\frac{1430.60}{0.0005^{1/2}} \right)^3$$

$$f(y) = \frac{[(75 + 1.5y)y]^5}{(0.0102y + 0.4911)^2} = 2.61878E + 14$$

Resolviendo por tanteos, se tiene:

| Y_n | f (Y) |
|----------------------|--------------------|
| 7 | 2.42703E+14 |
| 7.2 | 2.82299E+14 |
| 7.1 | 2.61885E+14 |
| 7.099 | 2.61687E+14 |
| 7.09998 | 2.61881E+14 |
| 7.099971 | 2.61879E+14 |
| 7.099969 | 2.61878E+14 |

Por lo tanto, $Y_n = 7.099969 \text{ m}$

c. Cálculo de v :

De la ecuación (2), se tiene:

$$A = (75 + 1.5(7.099969)7.099969)$$

$$A = 608.1120 \text{ m}^2$$

Aplicando la ecuación de continuidad, se tiene:

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

$$v = \frac{1430.60}{608.1120}$$

$$v = 2.3525 \text{ m/s}$$

4.5. CALCULO DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN.

Para calcular la profundidad de socavación utilizamos el siguiente método propuesto por L.L. List Van Levediev, que es la más utilizada para cauces naturales.

Utilizando el método de L. List Van Levediev: **Para suelos cohesivos**

$$ts = \left(\frac{\alpha * Y^{\frac{5}{3}}}{0.60 * Sw^{1.18} * \beta} \right)^{\frac{1}{x+1}}$$

$$t_m = \frac{A}{B} \qquad \alpha = \frac{Q}{t_m^{\frac{5}{3}} * B * \mu}$$

Donde:

Q = (Caudal Máximo de Diseño)

Y = (Tirante Normal)

t_m = (Tirante medio o Profundidad hidráulica media)

1/x+1 = (Coeficiente en función al peso específico). Ver anexo N° 09

β = (Coeficiente socavación PR = 25, 50 y 100 años). Ver anexo N° 08

μ = (Coeficiente de contracción). Ver anexo N° 10

Sw = (Peso específico del suelo a la profundidad, según los estudios del PEBPT, el

Sw varía de 1.60 a 1.70 Tn/m³).

1. Calculando la profundidad de socavación para un periodo de retorno de 25 años:

Datos:

$$Q_{25} = 995.83 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Y = 5.79 \text{ m}$$

$$t_m = ?$$

$$\alpha = ?$$

$$1/x+1 = 0.76$$

$$\beta = 0.9450 \text{ (Valor obtenido mediante interpolación)}$$

$$\mu = 0.99$$

$$S_w = 1.60 \text{ Tn/m}^3$$

$$A = 484.6394 \text{ m}^2$$

$$B = 130$$

Calculando t_m y α :

$$t_m = \frac{484.6394}{130} \qquad \alpha = \frac{995.83}{3.73^{5/3} * 130 * 0.99}$$

$$t_m = 3.73 \qquad \alpha = 0.86$$

Reemplazando:

$$ts = \left(\frac{0.86 * 5.79^{5/3}}{0.60 * 1.60^{1.18} * 0.9450} \right)^{0.76}$$

$$ts = 8.33m$$

Entonces la ecuación de la profundidad de socavación (H_s), se define así:

$$H_s = t_s - Y$$

$$H_s = 8.33 - 5.79$$

$$H_s = 2.54m + \text{Factor de seguridad del 10\%}$$

$$\mathbf{H_s = 2.79m}$$

2. Calculando la profundidad de socavación para un periodo de retorno de 50 años:

Datos:

$$Q_{50} = 1206.26 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Y = 6.45 \text{ m}$$

$$t_m = ?$$

$$\alpha = ?$$

$$1/x+1 = 0.76$$

$$\beta = 0.97$$

$$\mu = 0.99$$

$$S_w = 1.60 \text{ Tn/m}^3$$

$$A = 546.3717 \text{ m}^2$$

$$B = 130$$

Calculando t_m y α :

$$t_m = \frac{546.3717}{130}$$

$$\alpha = \frac{1206.26}{4.20^{5/3} * 130 * 0.99}$$

$$t_m = 4.20$$

$$\alpha = 0.86$$

Reemplazando:

$$t_s = \left(\frac{0.86 * 6.45^{5/3}}{0.60 * 1.60^{1.18} * 0.97} \right)^{0.76}$$

$$t_s = 9.36m$$

Entonces la ecuación de la profundidad de socavación (H_s), se define así:

$$H_s = t_s - Y$$

$$H_s = 9.36 - 6.45$$

$$H_s = 2.91m + \text{Factor de seguridad del 10\%}$$

$$\mathbf{H_s = 3.20m}$$

3. Calculando la profundidad de socavación para un periodo de retorno de 100 años:

Datos:

$$Q_{25} = 1430.60 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Y = 7.1 \text{ m}$$

$$t_m = ?$$

$$1/x+1 = 0.76$$

$$\beta = 1.00$$

$$\mu = 0.99$$

$$S_w = 1.60 \text{ Tn/m}^3$$

$$A = 608.1120 \text{ m}^2$$

$$B = 130$$

Calculando t_m y α :

$$t_m = \frac{608.1120}{130}$$

$$\alpha = \frac{1430.60}{4.68^{5/3} * 130 * 0.99}$$

$$t_m = 4.68 \quad \alpha = 0.85$$

Reemplazando:

$$t_s = \left(\frac{0.85 * 7.1^{5/3}}{0.60 * 1.60^{1.18} * 1.00} \right)^{0.76}$$

$$t_s = 10.24m$$

Entonces la ecuación de la profundidad de socavación (H_s), se define así:

$$H_s = t_s - Y$$

$$H_s = 10.24 - 7.1$$

$$H_s = 3.14m + \text{Factor de seguridad del 10\%}$$

$$\mathbf{H_s = 3.45m}$$

4.6. CARACTERÍSTICAS DEL MODELAMIENTO

4.6.1. DATOS GEOMÉTRICOS.

Para poder crear el modelo hidráulico del río Zarumilla en el tramo de estudio (Puente Bolsico), es de suma importancia reconocer sus características geométricas. Para una mejor comprensión les mostramos esta imagen satelital del Google Earth y un esquema que elaboramos en el programa ArcGIS para generar dicha geometría.



Figura 6. Vista satelital, Modelo de elevación digital en ArcGIS (Geometría tramo de estudio).

Longitud del tramo de estudio: 1km (600 mts aguas arriba y 400 mts aguas abajo Puente Bolsico – Zarumilla).

Pendiente Topográfica: El pendiente promedio calculado para nuestro proyecto fue de 0.0005, debido a que el terreno presenta un desnivel de 0.52m, cuya longitud total del tramo estudiado es 1000m.

Secciones: Según el levantamiento topográfico elaborado en la zona obtuvimos longitudes de ancho de fondo en un rango de 60 a 80 mts y varían a lo largo del cauce. Conformado por un dique, de material Geoceldas con relleno de concreto.



Figura 7. Se observa el dimensionamiento del cauce aguas arriba del puente Bolsico.



Figura 8. Se observa el dimensionamiento del cauce aguas abajo del puente Bolsico.

4.6.2. DATOS HIDRAULICOS Y CONDICIONES DE CONTORNO.

- **Caudales máximos:** Los caudales máximos de diseño que utilizamos corresponden a los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años que hemos considerado para el modelamiento hidráulico del río Zarumilla (Puente Bolsico), con valores de 995.83 m³/s, 1206.26 m³/s y 1430.60 m³/s respectivamente. Por otro lado, se estará evaluando un caudal máximo que podría soportar la estructura de cruce presente que es el puente Bolsico, sin que esté presente fallas o posibles desbordes.
- **Tipo de flujo:** Asumimos para un flujo permanente, ya que consideraremos cálculos a partir de un régimen supercrítico y subcrítico (mixto). Además, que dentro de la ecuación de energía no se admitirán términos que dependan del tiempo.
- **Coefficiente de Manning:** Los coeficientes “n” de Manning que utilizamos para el modelamiento hidráulico con Hec – Ras 5.0, fueron de 0.035 para el lecho del río, según Vente Chow. Ver anexo N° 11. Y para sus riberas conformados por geoceldas con relleno de concreto un “n” promedio de 0.020. Ver anexo N° 12.
- **Coefficientes de expansión y contracción:** Usados en el modelamiento para flujo subcrítico y supercrítico los valores de contracción y expansión. Que los podemos observar en el anexo 13 y 14.

4.6.3. ELABORACIÓN DE LA MODELACIÓN.

Con toda nuestra información ordenada y definida, pasamos a la etapa de elaboración del modelo, que constó de los siguientes datos tanto geométricos como hidráulicos; la geometría del cauce del río en el tramo de estudio, se desarrolló en base al levantamiento topográfico que elaboramos y que posteriormente exportamos al ArcGIS para definir las propiedades hidráulicas (Secciones transversales, longitud entre secciones, trazo del eje

del cauce), finalmente definimos los coeficientes de rugosidad de Manning, condiciones de contorno y coeficientes de expansión y contracción.

La geometría del tramo de estudio fue importada del HEC-RAS mediante un formato GIS y procesados nos muestran los resultados de las características hidráulicas calculadas por el software, generando la visualización de las velocidades de flujo, tirantes de agua, etc.

Es de suma importancia indicar que la sección en donde hemos demostrado mayor énfasis viene siendo la sección que pasa o se encuentra dentro del puente Bolsico puesto que estaremos evaluando su vulnerabilidad, analizando para distintos escenarios los tirantes de agua, además el comportamiento del flujo.

4.6.4. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN.

Para el análisis del modelo determinado 3 perfiles de flujo mediante caudales máximos para un periodo de retorno igual a 25, 50 y 100 años. Cuyos resultados los estaremos mostrando en el apartado de anexos para cada uno de los escenarios.

En los 3 perfiles de flujo, en todo el tramo de estudio se caracterizó por ser de régimen subcrítico ya que obtuvimos un número de Froude < 1 .

En el anexo N° 15, se muestran los valores de las velocidades para los $Tr= 25, 50$ y 100 años, cuyos valores representan las secciones de régimen subcrítico.

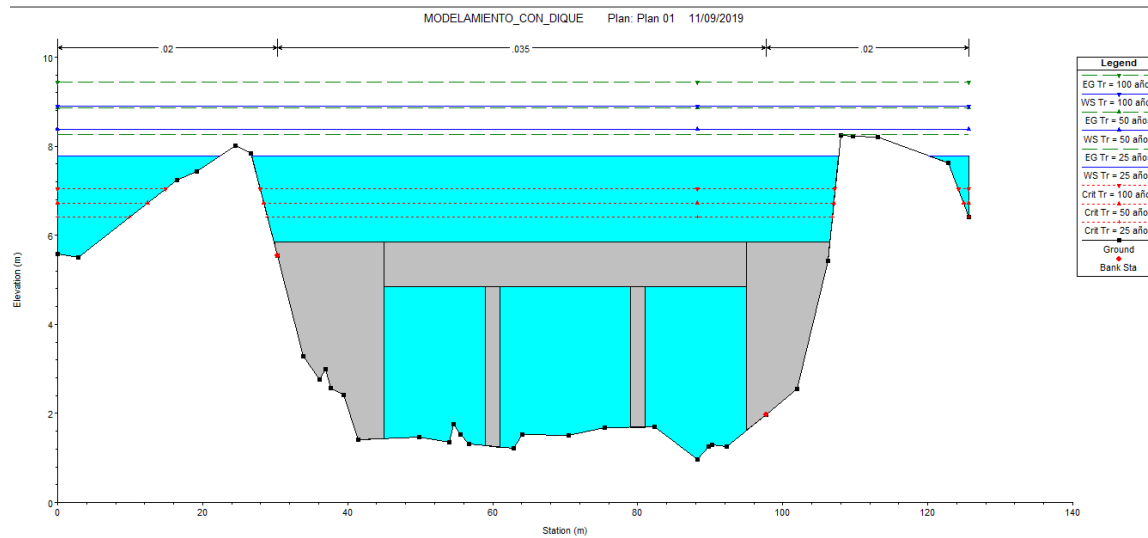


Figura 10. Sección transversal para Tr= 25, 50 y 100 años.
Progresiva 0+395 (Puente Bolsico – Zarumilla).

En las figuras 11, 12 y 13 mostramos los resultados de las características hidráulicas obtenidas del modelamiento para los diferentes periodos de retorno los cuales son 25, 50 y 100 años respectivamente. Que pertenecen a la sección en donde se encuentra ubicado el puente Bolsico (Progresiva 0+395).

| Plan: MODELAMIENTO_FLUJO_PERMANENTE Riozarumilla 1 RS: 395 Profile: Tr = 25 años | | | | |
|--|-------------|---------------------|--------------|--------------|
| E.G. US. (m) | 8.30 | Element | Inside BR US | Inside BR DS |
| W.S. US. (m) | 8.10 | E.G. Elev (m) | 8.27 | 8.19 |
| Q Total (m3/s) | 995.83 | W.S. Elev (m) | 7.79 | 7.56 |
| Q Bridge (m3/s) | 387.50 | Crit W.S. (m) | 6.41 | 6.79 |
| Q Weir (m3/s) | | Max Chl Dpth (m) | 6.82 | 5.90 |
| Weir Sta Lft (m) | | Vel Total (m/s) | 2.94 | 3.34 |
| Weir Sta Rgt (m) | | Flow Area (m2) | 339.00 | 298.27 |
| Weir Submerg | | Froude # Chl | 0.38 | 0.46 |
| Weir Max Depth (m) | | Specif Force (m3) | 1204.22 | 1035.53 |
| Min El Weir Flow (m) | 5.50 | Hydr Depth (m) | 3.11 | 2.75 |
| Min El Prs (m) | 4.85 | W.P. Total (m) | 227.12 | 222.53 |
| Delta EG (m) | 0.23 | Conv. Total (m3/s) | 14183.1 | 11631.6 |
| Delta WS (m) | 0.30 | Top Width (m) | 108.88 | 108.61 |
| BR Open Area (m2) | 132.42 | Frctn Loss (m) | 0.06 | 0.01 |
| BR Open Vel (m/s) | 2.93 | C & E Loss (m) | 0.01 | 0.11 |
| BR Sluice Coef | | Shear Total (N/m2) | 72.16 | 96.35 |
| BR Sel Method | Energy only | Power Total (N/m s) | 211.97 | 321.67 |

Figura 11. Características hidráulicas sección puente Bolsico del flujo para un Tr= 25 años.

| Plan: MODELAMIENTO FLUJO PERMANENTE Riozarumilla 1 RS: 395 Profile: Tr = 50 años | | | | |
|--|-------------|---------------------|--------------|--------------|
| E.G. US. (m) | 8.89 | Element | Inside BR US | Inside BR DS |
| W.S. US. (m) | 8.66 | E.G. Elev (m) | 8.86 | 8.79 |
| Q Total (m3/s) | 1206.26 | W.S. Elev (m) | 8.38 | 8.09 |
| Q Bridge (m3/s) | 344.95 | Crit W.S. (m) | 6.72 | 7.02 |
| Q Weir (m3/s) | | Max Chl Dpth (m) | 7.41 | 6.43 |
| Weir Sta Lft (m) | | Vel Total (m/s) | 2.94 | 3.33 |
| Weir Sta Rgt (m) | | Flow Area (m2) | 409.99 | 361.81 |
| Weir Submerg | | Froude # Chl | 0.36 | 0.47 |
| Weir Max Depth (m) | | Specif Force (m3) | 1491.94 | 1297.81 |
| Min El Weir Flow (m) | 5.50 | Hydr Depth (m) | 3.26 | 2.83 |
| Min El Prs (m) | 4.85 | W.P. Total (m) | 245.40 | 242.89 |
| Delta EG (m) | 0.23 | Conv. Total (m3/s) | 18822.8 | 15970.0 |
| Delta WS (m) | 0.30 | Top Width (m) | 125.66 | 127.70 |
| BR Open Area (m2) | 132.42 | Frctn Loss (m) | 0.05 | 0.01 |
| BR Open Vel (m/s) | 2.61 | C & E Loss (m) | 0.02 | 0.12 |
| BR Sluice Coef | | Shear Total (N/m2) | 67.29 | 83.34 |
| BR Sel Method | Energy only | Power Total (N/m s) | 197.97 | 277.86 |

Figura 12. Características hidráulicas sección puente Bolsico del flujo para un Tr= 50 años.

| Plan: MODELAMIENTO FLUJO PERMANENTE Riozarumilla 1 RS: 395 Profile: Tr = 100 años | | | | |
|---|-------------|---------------------|--------------|--------------|
| E.G. US. (m) | 9.47 | Element | Inside BR US | Inside BR DS |
| W.S. US. (m) | 9.22 | E.G. Elev (m) | 9.44 | 9.38 |
| Q Total (m3/s) | 1430.60 | W.S. Elev (m) | 8.90 | 8.65 |
| Q Bridge (m3/s) | 307.42 | Crit W.S. (m) | 7.04 | 7.25 |
| Q Weir (m3/s) | | Max Chl Dpth (m) | 7.93 | 6.99 |
| Weir Sta Lft (m) | | Vel Total (m/s) | 3.01 | 3.30 |
| Weir Sta Rgt (m) | | Flow Area (m2) | 474.83 | 433.64 |
| Weir Submerg | | Froude # Chl | 0.37 | 0.46 |
| Weir Max Depth (m) | | Specif Force (m3) | 1810.26 | 1606.80 |
| Min El Weir Flow (m) | 5.50 | Hydr Depth (m) | 3.78 | 3.37 |
| Min El Prs (m) | 4.85 | W.P. Total (m) | 246.43 | 245.04 |
| Delta EG (m) | 0.23 | Conv. Total (m3/s) | 24554.0 | 21891.6 |
| Delta WS (m) | 0.29 | Top Width (m) | 125.66 | 128.73 |
| BR Open Area (m2) | 132.42 | Frctn Loss (m) | 0.04 | 0.01 |
| BR Open Vel (m/s) | 2.32 | C & E Loss (m) | 0.02 | 0.13 |
| BR Sluice Coef | | Shear Total (N/m2) | 64.14 | 74.11 |
| BR Sel Method | Energy only | Power Total (N/m s) | 193.26 | 244.49 |

Figura 13. Características hidráulicas sección puente Bolsico del flujo para un Tr= 100 años.

4.6.7. PERFIL LONGITUDINAL.

El modelamiento hidráulico con HEC-RAS 5.0, nos permite conocer los distintos perfiles longitudinales para cada perfil de flujo asignado, con la pendiente del cauce, límites de defensa y tirantes de agua. En la siguiente figura podemos observar que para un periodo de retorno de 25 años ya se presentan condiciones de desborde a partir de la progresiva

0+520 de aguas arriba hacia aguas abajo, lo cual nos puede conllevar a inundaciones. En los anexos N° 17 y 18 les mostraremos los perfiles longitudinales para los periodos de retorno de 50 y 100 años.

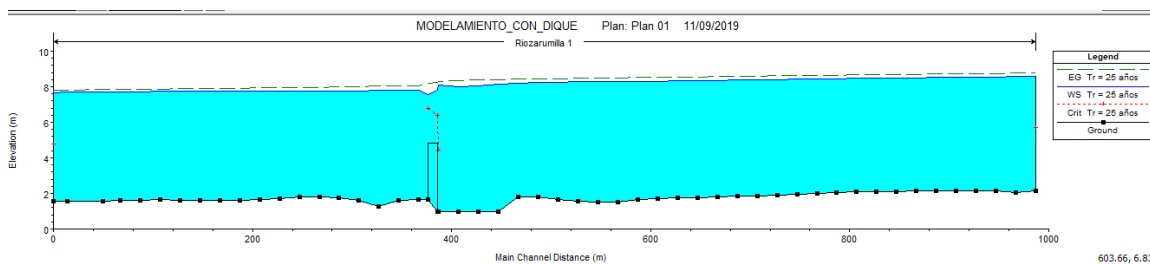


Figura 14. Perfil longitudinal del río Zarumilla tramo de estudio (Puente Bolsico). Periodo de retorno de 25 años.

4.6.8. VISTA TRIDIMENSIONAL.

El software nos genera una vista con perspectiva 3D, que nos permite observar el tramo de estudio y la geometría del cauce a mayor detalle. También podemos visualizar el tirante de agua con respecto a las diferentes elevaciones de cada sección del tramo para un periodo de retorno de 25 años.

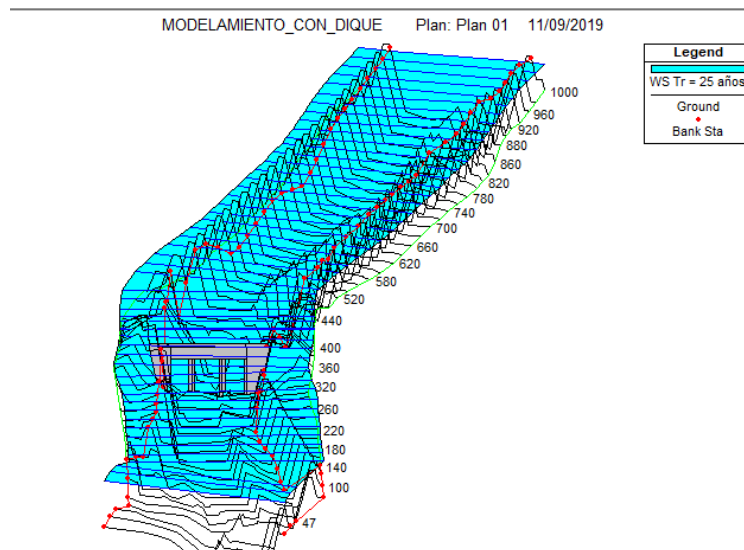


Figura 15. Vista en 3D con un perfil de flujo Tr= 25 años tramo de estudio.

V. DISCUSION

5.1. ESTUDIOS PRE – MODELAMIENTO HIDRAULICO HEC-RAS.

- Los datos topográficos obtenidos en campo se tomaron con estación total, por lo tanto, la generación de los parámetros geométricos e hidráulicos que presentamos a lo largo del proyecto de tesis.
- De acuerdo con los resultados de los estudios hidrológicos, hidráulicos y de socavación general del cauce del río Zarumilla, en el sector del puente Bolsico 600 mts aguas arriba y 400 mts aguas abajo, se verifica que los modelos tanto estadísticos como matemáticos utilizados son consistentes, adecuados y por tanto estos resultados son confiables.
- Los coeficientes n de Manning que utilizamos para el modelamiento hidráulico con Hec – Ras 5.0, fueron de 0.035 para el lecho del río, según Vente Chow. Ver Anexo 14. Y para ambos taludes conformados por geoceldas con relleno de concreto un n promedio de 0.020. **Ver Anexo 15.**

5.2. MODELAMIENTO Y VULNERABILIDAD PUENTE BOLSICO.

En este apartado estaremos analizando para los 3 periodos de retorno 25, 50 y 100 años, considerados en el modelamiento hidráulico en HEC-RAS 5.0 identificando únicamente los tirantes de agua que pasan por la sección hidráulica del puente Bolsico y que cual sería la vulnerabilidad que se encuentra expuesta dicha estructura de cruce.

PRIMER ESCENARIO Tr= 25 años, con un Q = 995.83 m³/s

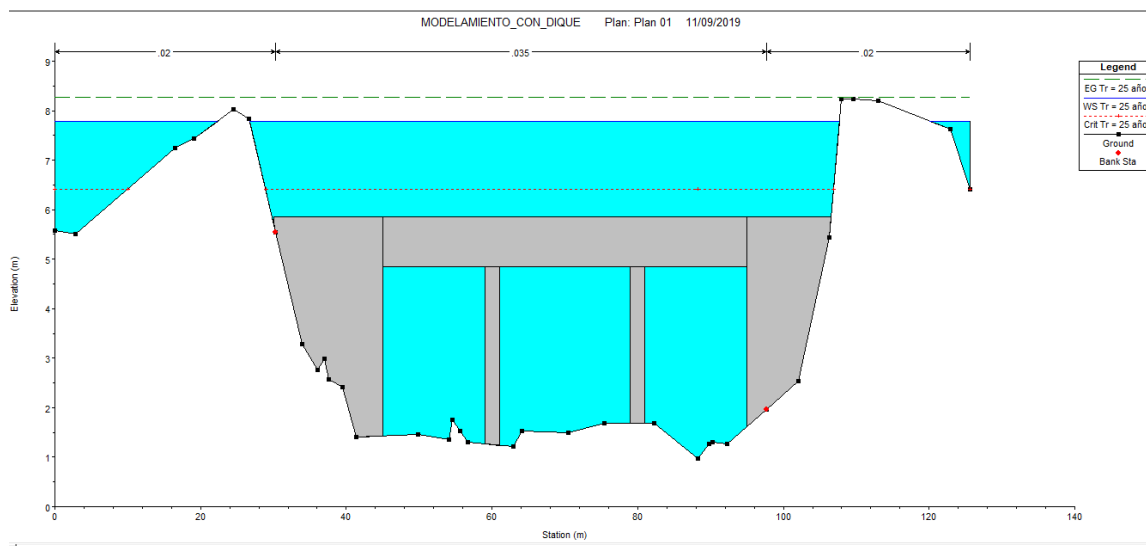


Figura 16. Sección transversal Puente Bolsico (Progresiva 0+395) Tr = 25 años.

En el primer escenario podemos observar que para un caudal igual a 995.83 m³/s con un periodo de retorno de 25 años, la tirante agua que pasa por la sección del puente Bolsico es mayor que la elevación máxima de la estructura de cruce, con un tirante igual a 8.10 m.

- **Contrastando con método manual para el cálculo de la profundidad de socavación:** Utilizando el método de L. List Van Levediev: Para suelos cohesivos. Los resultados los podemos observar en anexo N° 16.

- Podemos definir una altura de agua o tirante en esta sección del río tomando en cuenta la socavación local que este caudal podría generar para un Tr = 25 años, mediante el método de L. List Van Levediev se obtuvo una profundidad de socavación igual a 2.79.
- Finalmente podemos decir que el tirante real que pasará por la sección del puente bolsico, considerando la socavación, se define con la siguiente ecuación:

$$Y_{+socavación} = Tirante_{SinSocavación} - Profundidad_{socavación}$$

$$Y_{+socavación} = (8.10 - 2.79)m$$

$$Y_{+socavación} = 5.31m$$

- ❖ Se verifica que con una avenida máxima de $995.83 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 25 años, la sección hidráulica del puente Bolsico no soportaría este régimen debido a que la altura actual es de 4.85 frente a un tirante calculado de 5.31, lo cual hace vulnerable hidráulicamente a la estructura del puente.

SEGUNDO ESCENARIO $Tr = 50$ años, con un $Q = 1206.26 \text{ m}^3/\text{s}$

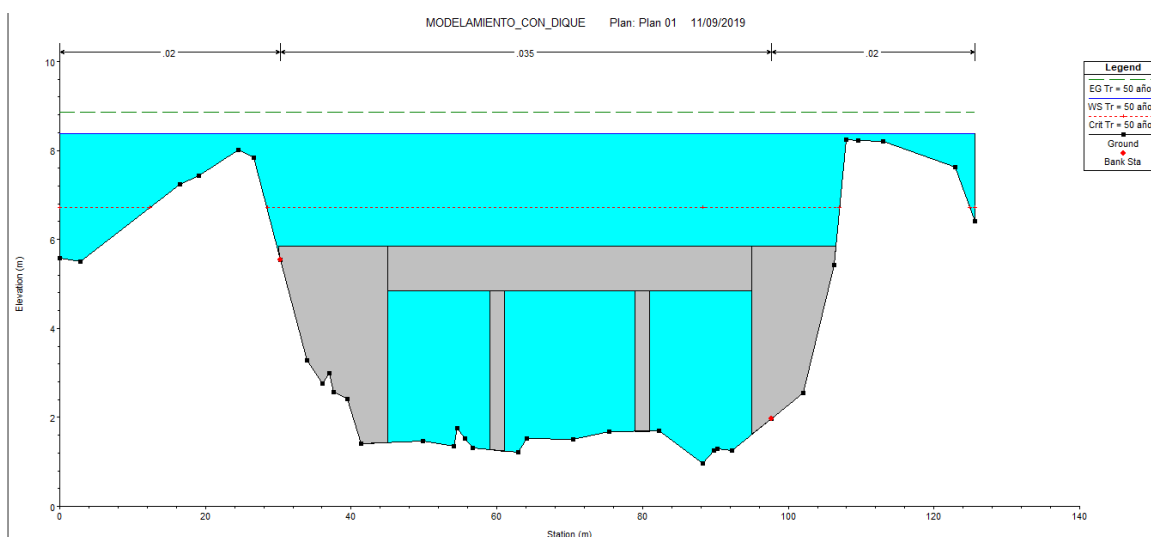


Figura 17. Sección transversal Puente Bolsico (Progresiva 0+395) $Tr = 50$ años.

En el segundo escenario podemos observar que para un caudal igual a $1206.26 \text{ m}^3/\text{s}$ con un periodo de retorno de 50 años, la tirante agua que pasa por la sección del puente Bolsico es mayor que la elevación máxima de la estructura de cruce, con un tirante igual a 8.66 m.

- **Contrastando con método manual para el cálculo de la profundidad de socavación:** Utilizando el método de L. List Van Levediev: Para suelos cohesivos. Los resultados los podemos observar en el anexo N° 16.

- Podemos definir una altura de agua o tirante en esta sección del río tomando en cuenta la socavación local que este caudal podría generar para un $Tr = 50$ años, mediante el método de L. List Van Levediev se obtuvo una profundidad de socavación igual a 3.20.
- Finalmente podemos decir que el tirante real que pasará por la sección del puente bolsico, considerando la socavación, se define con la siguiente ecuación:

$$Y_{+socavación} = Tirante_{SinSocavación} - Profundidad_{socavación}$$

$$Y_{+socavación} = (8.66 - 3.20)m$$

$$Y_{+socavación} = 5.46m$$

- ❖ Se verifica que con una avenida máxima de $1026.06 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 50 años, la sección hidráulica del puente Bolsico no soportaría este régimen debido a que la altura actual es de 4.85 frente a un tirante calculado de 5.46, lo cual hace vulnerable hidráulicamente a la estructura del puente.

TERCER ESCENARIO $Tr = 100$ años, con un $Q = 1430.60 \text{ m}^3/\text{s}$

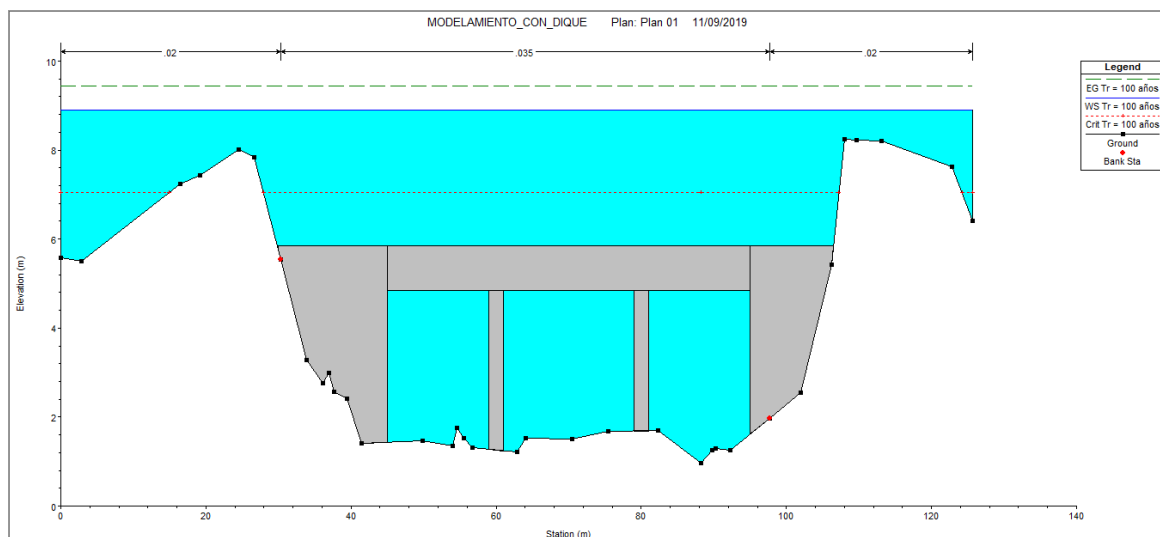


Figura 18. Sección transversal Puente Bolsico (Progresiva 0+395) $Tr = 100$ años.

En el tercer escenario podemos observar que para un caudal igual a 1430.60 m³/s con un periodo de retorno de 100 años, la tirante agua que pasa por la sección del puente Bolsico es mayor que la elevación máxima de la estructura de cruce, con un tirante igual a 9.22 m.

- **Contrastando con método manual para el cálculo de la profundidad de socavación:** Utilizando el método de L. List Van Levediev: Para suelos cohesivos. Los resultados los podemos observar en el anexo N° 16.

- Podemos definir una altura de agua o tirante en esta sección del río tomando en cuenta la socavación local que este caudal podría generar para un Tr = 100 años, mediante el método de L. List Van Levediev se obtuvo una profundidad de socavación igual a 3.45.
- Finalmente podemos decir que el tirante real que pasará por la sección del puente bolsico, considerando la socavación, se define con la siguiente ecuación:

$$Y_{+socavación} = Tirante_{SinSocavación} - Profundidad_{socavación}$$

$$Y_{+socavación} = (9.22 - 3.45)m$$

$$Y_{+socavación} = 5.77m$$

- ❖ Se verifica que con una avenida máxima de 1430.60 m³/s para un periodo de retorno de 100 años, la sección hidráulica del puente Bolsico no soportaría este régimen debido a que la altura actual es de 4.85 frente a un tirante calculado de 5.77, lo cual hace vulnerable hidráulicamente a la estructura del puente.

VI. CONCLUSIONES

- ✓ Con el levantamiento topográfico realizado para nuestro proyecto de tesis en el río Zarumilla tanto aguas arriba como aguas abajo, calculamos y determinamos los distintos parámetros geométricos conformados a lo largo de nuestro ámbito de estudio.
- ✓ Elaboramos el estudio hidrológico en base a una serie de datos sobre caudales máximos diarios y máximos instantáneos que nos proporcionó el PEBPT tanto de la estación de aforo Puente Bolsico como la de Palmales. Pudimos calcular los diferentes caudales máximos de diseño con el programa Hidroesta 2 empleando el método de distribuciones estadísticas para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años, utilizando las distribuciones que nos proporciona el programa de los cuales mediante un análisis y en base a estudios anteriores seleccionamos 2 modelos probabilísticos (Log normal y Gumbel) y que estos resultados los podemos observar en la tabla N°1.
- ✓ Para nuestra evaluación hidráulica y cálculo de la profundidad de socavación, se llevaron a cabo para los caudales máximos de diseño de 995.83 m³/s, 1206.26 m³/s y 1430.60 m³/s; que corresponde a periodos de retorno de 25, 50 y 100 años respectivamente. Para la socavación se empleó el método de L. List Van Levediev: Para suelos cohesivos y utilizando la fórmula empleada para el cálculo de flujo en canales con rugosidades compuestas para hallar el tirante normal y velocidad media, ya que en nuestro tramo de estudio (Río Zarumilla – Puente Bolsico), posee una sección conformada por geoceldas (mampostería) en las

paredes y de material de cauce natural en el lecho del río, para un periodo de retorno de 25, 50 y 100 años.

- ✓ Para el modelamiento hidráulico utilizamos el software HEC-RAS 5.0, para un flujo permanente cuyos periodos de retorno fueron 25, 50 y 100 años; teniendo como caudales máximos de diseño 995.83 m³/s, 1206.26 m³/s y 1430.60 m³/s respectivamente. Mediante los resultados obtenidos, determinamos que existe una elevada vulnerabilidad del puente Bolsico a causa de los tirantes de agua elevados a lo largo de la sección donde se encuentra dicha estructura. Además de un estrechamiento considerable.
- ✓ Con el modelamiento hidráulico fue posible reconocer las zonas críticas y con mayor probabilidad de inundación. Con este software es posible analizar, identificar y planificar trabajos de mejoramiento y/o de mantenimiento a lo largo del río Zarumilla para así reducir las probabilidades de daños a las zonas aledañas. Además, que es una estructura muy importante puesto que se encuentra en un límite fronterizo y de altos niveles de comercio.

VII. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda a las autoridades competentes a evaluar y rediseñar el puente bolsico – Zarumilla, tomando como criterio inicial los estudios tanto hidrológico como hidráulico, definir una buena geometría para evitar con cambios bruscos de velocidades y elevaciones del caudal. Los resultados que hemos obtenido gracias al modelamiento hidráulico, con apoyo del estudio hidrológico comprobó que existe un alto grado de riesgo de falla de la estructura que se encuentra en este tramo de estudio debido a los altos niveles de agua y profundidades de socavación considerables, causado por el estrechamiento que tiene esta sección.
- ✓ Gracias a su alto grado de importancia del puente Bolsico es necesario plantear y analizar distintos trabajos de reforzamientos y mantenimientos hidráulicos y estructurales a lo largo del río Zarumilla.
- ✓ Se recomienda elaborar estudios sociales, hidráulicos e hidrológicos de las zonas aledañas al río Zarumilla, con mayor énfasis a los sectores en donde se determinó mayor probabilidad de inundación debido a los incrementos considerables del caudal.
- ✓ Se recomienda a las autoridades y organismos involucrados ya sean gobiernos locales, regionales, instituciones (COER, ANA-ALA, MINAGRI, INDECI, PEBPT, MINISTERIO DE DEFENSA CIVIL, ETC), a plantear estudios, expedientes, trabajos de descolmatación, capacitaciones a los pobladores de las zonas colindantes al río Zarumilla a crear una conciencia de alerta frente a cualquier evento extremo (Fenómeno del niño), a crear planes de contingencia y de respuesta inmediata frente a un desastre.

VIII. BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilar , J., Campos , J., Espinoza , J., Morachimo, K., & Silva , A. (s.f.). Características Físicas de Cuencas Hidrográficas. *Hidrología*. Universidad Nacional del Santa, Chimbote.
- Alomía Castro , D. S., & Calderon Brito , J. M. (2013). "INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA SOCAVACIÓN EN CIMENTACIONES DE PUENTES Y ESTABLECIMIENTO DE MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA ESTE FENOMENO". Cuenca, Ecuador.
- Alvis Colmenares, I. D., & Barbetti Moncayo , N. (2017). Análisis hidráulico entre una estructura convencional y una con llanta fuera de uso, para mitigar la Socavación en la vía Pacho – La Palma (K21 + 900). 09. Bogota D.C, Colombia.
- Aranda, C. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. México: TERCERA REIMPRESION.
- Bateman, A. (2007). *Hidrología básica y aplicada*. Cartagena.
- Bommathanahalli, R. (Mayo de 1997). Estudio de extensión para el manejo integrado de Cuencas Hidrográficas. 20. San José, Costa Rica.
- Comunicaciones, M. d., & Ferrocarriles, D. G. (Enero de 2016). Manual de Puentes. Piura .
- .Consortio Consultor , F. N. (2015). *Estudio Definitivo "Instalación del Servicio de Protección contra las Inundaciones en las Localidades de la Palma - Canario II, Margen Izquierda del río Zarumilla (Progresiva 0+120 - 11+550) en los distritos de Papayal y Aguas Verdes, Provincia Zarumilla* . Tumbes .
- Del Río Rodríguez, J. (2014). "ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA MAYOR DEL SISTEMA CHAVIMOCHIC

ANTE FENÓMENOS HIDROLÓGICOS DE DESCARGAS EXTREMOS (NIÑO)".

Trujillo , Perú .

Díaz Vílchez, C. A. (2007). "*Diseño de la cimentación y obras de protección en la ampliación del puente Independencia aspectos hidráulicos*". Lima. Obtenido de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/16245/1/diaz_vc.pdf

Frías Silva , E. P., & Mogollón Borrero , A. G. (2017). "SIMULACIÓN HIDRÁULICA BIDIMENSIONAL DE LAS ZONAS DE INUNDACIÓN AGUAS ABAJO DEL SECTOR HUABALITO CHICAMA - 2017". Trujillo , Perú.

Gutierrez, C., Ayabaca , M., Segovia , J., Pasquel, E., & Vaca, A. (2005). Estudio hidrológico de caudales máximos y levantamiento de información ambiental de la cuenca del río Zarumilla. *Estudios e Investigaciones Hidrológicas*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI, Quito, Ecuador.

Huaman Guerrero, D. J. (2018). Hidrometría de alta Precisión durante eventos hidrológicos extremos en el norte del Perú: Caso de los Ríos Binacionales Puyango - Tumbes y Zarumilla. Tumbes - Perú.

Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (s.f.). Morfologías de las Cuencas Hidrográficas. *Universidad Politecnica de Valencia*, 8.

López Cabello , J. E. (2014). "SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DE LA CUENCA BAJA DEL RIO HIGUERAS - HUÁNUCO - 2014". Huánuco , Perú.

Maass Moreno, J. M. (Abril-Junio de 2015). El manejo de cuencas desde un enfoque Socioecosistémico. *Cuencas de México*, 2-7.

Maceda Nicolini , E. A. (2015). "Evaluación del uso de geosintéticos para el control de la erosión hídrica en la margen izquierda del río Zarumilla - Tumbes". 86. Trujillo, Perú.

Maceda Nicolini, E. A., & Grimaldo Zapata, E. (2012). Uso de geomembrana en estructuras de proteccion ribereña en el rio Zarumilla. 5-7. Piura, Perú.

Maria Cecilia Suarez Rubi. (s.f.). *SCRIBD*. Obtenido de Medición de caudales (aforos):
<https://es.scribd.com/doc/105255484/MEDICION-DE-CAUDALES-AFOROS>

Mayta Rojas , C. A., & Mamani Maqueta , E. R. (2018). "MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA DEFENSA DE CALANA CON EL FIN DE DETERMINAR LA VULNERABILIDAD ANTE MÁXIMAS AVENIDAS". TACNA, PERÚ.

Ministerio de Agricultura y Riego , P. (2015-2019). Estudio Hidraulica y Drenaje para completarmactualizacion del Expediente Tecnico "Instalacion del servicio de protección contra Inundaciones en Localidades Palma - Canario II, Margen Izquierda del rio Zarumilla (0+120- 11+550) Papayal- Aguas Verdes-Tumbes. Tumbes, Perú.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*.

Muñoz, E., & Valbuena, E. (2004). "Evaluación del estado de los puentes de Acero de la red vial de Colombia. *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. Vol. 4(2), 125-133". Obtenido de https://www.scipedia.com/wd/images/3/33/Draft_Content_280787722Munoz_Valbuena.pdf

- Núñez Juárez , S. (s.f.). "*Variación del cauce del río Tumbes en el sector Higuerón desembocadura: Relación con los peligros Hidrometeorológicos*". Lima.
- Perozo, M. d., & Rincon, J. C. (1 de Enero de 2015). Evaluación hidráulica de un puente sobre una quebrada con régimen mixto y lechón móvil. Venezuela.
- Quincho, J. (01 de ABRIL de 2015). Estudio experimental del transporte de sedimentos en suspensión fondo y comparación con formulas empíricas en los ríos Puyango - Tumbes Y Zarumilla. (*Tesis de Título*). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Robredo Sánchez, J. C. (s.f.). *Cálculo de caudales de avenida*. Universidad Politécnica de Madrid., Madrid .
- Rodriguez, R., Navarro, J., & Novo, V. (s.f.). *Estudio hidrológico del río Arlanzón a su paso por el término municipal de Burgos*. Burgos.
- Suárez Díaz , J. (2001). *Control de la Erosión en zonas tropicales* (Universidad Industrial de Santander ed.). Bucaramanga, Colombia: División Editorial y de Publicaciones.
- Tito Quispe , Y. A. (2017). "MODELAMIENTO HIDRAULICO DEL RIO CAÑETE SECTOR PUENTE SOCSI - ALTURA PUENTE COLGANTE (9KM), CON FINES DE DISEÑO DE DEFENSAS RIBEREÑAS". 129. Lima, Perú.
- Villar Tambo , & Carlos Enrique . (2017). "SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO CHICO MODIFICADO POR CANALIZACIÓN Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN EN LADERAS DE LA ZONA URBANA DE LA LOCALIDAD DE CELENDÍN - CAJAMARCA". Trujillo, Perú.
- Villon Béjar, M. (2002). *HIDROLOGIA*. Cartago, Costa Rica: EDITORIAL VILLON.

IX. ANEXOS

ANEXO 01.

9.1. Descargas máximas del promedio diario a máximos instantáneos

Estación de aforo: PUENTE BOLSICO

| Año | Caudales (Q) (m ³ /s) | |
|------|--------------------------------------|----------------------------------|
| | Diarios promedio (m ³ /s) | Instantáneos (m ³ /s) |
| 1965 | 857.50 | 1158.51 |
| 1967 | 140.10 | 189.28 |
| 1968 | 166.30 | 224.68 |
| 1969 | 325.00 | 439.08 |
| 1972 | 101.90 | 137.67 |
| 1973 | 790.00 | 1067.31 |
| 1975 | 308.70 | 417.06 |
| 1976 | 233.30 | 315.20 |
| 1977 | 244.00 | 329.65 |
| 1979 | 192.00 | 259.40 |
| 1987 | 119.12 | 160.93 |
| 1988 | 750.00 | 1013.27 |
| 1989 | 111.19 | 150.22 |
| 1990 | 114.25 | 154.36 |
| 1991 | 168.54 | 227.70 |
| 1992 | 178.42 | 241.05 |
| 1993 | 125.37 | 169.38 |
| 2001 | 4.22 | 5.70 |
| 2002 | 178.42 | 241.05 |
| 2003 | 4.75 | 6.42 |
| 2004 | 54.37 | 73.45 |
| 2005 | 20.13 | 27.19 |
| 2006 | 293.33 | 396.30 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 03.

9.3. Descargas máximas del promedio diario a máximos instantáneos

Estación de aforo: PUENTE BOLSICO

| Año | Caudales (Q) (m ³ /s) | |
|------|--------------------------------------|----------------------------------|
| | Diarios promedio (m ³ /s) | Instantáneos (m ³ /s) |
| 1993 | 125.37 | 169.38 |
| 1994 | 14.40 | 19.45 |
| 1995 | 103.42 | 139.72 |
| 1996 | 0.80 | 1.08 |
| 1997 | 119.12 | 160.93 |
| 1998 | 750.00 | 1013.27 |
| 1999 | 111.19 | 150.22 |
| 2000 | 583.00 | 787.65 |
| 2001 | 168.54 | 227.70 |
| 2002 | 178.42 | 241.05 |
| 2003 | 48.89 | 66.05 |
| 2004 | 54.37 | 73.46 |
| 2005 | 20.13 | 27.20 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 04.

9.4 Descargas máximas diarias anuales

Estación de aforo: PALMALES

| AÑO | Qmax |
|------|--------|
| 2011 | 393.70 |
| 2012 | 795.90 |
| 2013 | 459.30 |
| 2014 | 53.60 |
| 2015 | 960.00 |
| 2016 | 408.80 |
| 2017 | 829.00 |
| 2018 | 138.90 |
| 2019 | 251.30 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 05.

9.5. Estimación de caudales máximos

DATA **1956 - 2006** ESTACION: **PUENTE BOLSICO**

| Período de Retorno (años) | NORMAL | LOG NORMAL 2P | LOG NORMAL 3P | GUMBEL | LOG GUMBEL | GAMMA 2P | GAMMA 3P | LOG PEARSSON TIPO III |
|---------------------------|---------|---------------|---------------|---------|------------|----------|----------|-----------------------|
| | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | |
| 5 | 594.24 | 566.96 | 484.24 | 554.76 | 480.56 | 517.91 | 532.06 | NO SE AJUSTAN |
| 10 | 736.71 | 1029.53 | 699.13 | 744.09 | 1061.87 | 740.36 | 748.94 | |
| 15 | 807.78 | 1386.45 | 836.04 | 850.91 | 1660.87 | 870.43 | 873.8 | |
| 20 | 854.32 | 1684.78 | 938.74 | 925.7 | 2271.71 | 962.68 | 961.73 | |
| 25 | 888.58 | 1944.65 | 1021.75 | 983.31 | 2891.5 | 1034.21 | 1029.61 | |
| 30 | 915.52 | 2176.87 | 1091.82 | 1030.18 | 3518.49 | 1092.64 | 1084.89 | |
| 50 | 986.67 | 2932.35 | 1299.41 | 1160.78 | 6079.51 | 1256.25 | 1238.97 | |
| 100 | 1074.87 | 4242.61 | 1609.29 | 1336.94 | 12712.52 | 1477.89 | 1446.36 | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 06.

9.6. Estimación de caudales máximos

DATA **1993 - 2005** ESTACION: **PUENTE BOLSICO**

| Período de Retorno (años) | NORMAL | LOG NORMAL 2P | LOG NORMAL 3P | GUMBEL | LOG GUMBEL | GAMMA 2P | GAMMA 3P | LOG PEARSSON TIPO III |
|---------------------------|--------|---------------|---------------|---------|------------|----------|----------|-----------------------|
| | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | |
| 5 | 495.63 | 426.02 | 341.67 | 458.09 | 343.88 | 389.34 | 424.23 | NO SE AJUSTAN |
| 10 | 631.11 | 922.82 | 540.69 | 638.13 | 960.54 | 597.7 | 637.41 | |
| 15 | 698.7 | 1357.03 | 676.83 | 739.71 | 1714.78 | 723.04 | 762.07 | |
| 20 | 742.96 | 1746.83 | 783.12 | 810.83 | 2572.98 | 813.07 | 850.5 | |
| 25 | 775.53 | 2103.62 | 871.43 | 865.62 | 3517.05 | 883.42 | 919.08 | |
| 30 | 801.15 | 2434.67 | 947.56 | 910.19 | 4535.33 | 941.19 | 975.09 | |
| 50 | 868.8 | 3581.57 | 1180.99 | 1034.38 | 9211.63 | 1104.23 | 1131.96 | |
| 100 | 952.69 | 5779.82 | 1549.22 | 1201.9 | 23955.58 | 1327.49 | 1344.47 | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 07.

9.7. Estimación de caudales máximos

DATA **2011 - 2019** ESTACION: **PALMALES**

| Período de Retorno (años) | NORMAL | LOG NORMAL 2P | LOG NORMAL 3P | GUMBEL | LOG GUMBEL | GAMMA 2P | GAMMA 3P | LOG PEARSSON TIPO III |
|---------------------------|---------|---------------|---------------|---------|------------|----------|----------|-----------------------|
| | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | (m3/s) | |
| 5 | 745.35 | 779.44 | 714.24 | 706.4 | 695.19 | 721.08 | 739.51 | NO SE AJUSTAN |
| 10 | 885.9 | 1177.73 | 890.05 | 893.19 | 1203.2 | 946.59 | 894.85 | |
| 15 | 956.02 | 1177.73 | 986.44 | 998.57 | 1639.64 | 1073.92 | 974.86 | |
| 20 | 1001.94 | 1655.94 | 1052.93 | 1072.36 | 2036.39 | 1162.79 | 1028.15 | |
| 25 | 1035.74 | 1828.73 | 1103.65 | 1129.2 | 2406.3 | 1231.00 | 1067.85 | |
| 30 | 1062.31 | 1977.17 | 1144.63 | 1175.43 | 2756.28 | 1286.32 | 1099.31 | |
| 50 | 1132.5 | 2429.78 | 1257.71 | 1304.28 | 4024.00 | 1439.61 | 1183.59 | |
| 100 | 1219.52 | 3137.32 | 1408.19 | 1478.07 | 6703.73 | 1644.14 | 1290.33 | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 08
9.8 Coeficiente para socavación β

| Periodo de Retorno (Años) | Probabilidad de Retorno (%) | Coeficiente β |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------|
| | 0.00 | 0.77 |
| 2 | 50.00 | 0.82 |
| 5 | 20.00 | 0.86 |
| 10 | 10.00 | 0.90 |
| 20 | 5.00 | 0.94 |
| 50 | 2.00 | 0.97 |
| 100 | 1.00 | 1.00 |
| 300 | 0.33 | 1.03 |
| 500 | 0.20 | 1.05 |
| 10000 | 0.10 | 1.07 |

Fuente: Rubén Terán 1998

ANEXO N° 09
9.9 Valores de X y $1/(X+1)$ para suelos cohesivos

| Peso | X | $1/(X+1)$ | Peso | X | $1/(X+1)$ |
|------|------|-----------|------|------|-----------|
| 0.8 | 0.52 | 0.66 | 1.2 | 0.39 | 0.72 |
| 0.83 | 0.51 | 0.66 | 1.24 | 0.38 | 0.72 |
| 0.86 | 0.5 | 0.67 | 1.28 | 0.37 | 0.73 |
| 0.88 | 0.49 | 0.67 | 1.34 | 0.36 | 0.74 |
| 0.9 | 0.48 | 0.68 | 1.4 | 0.35 | 0.74 |
| 0.93 | 0.47 | 0.68 | 1.46 | 0.34 | 0.75 |
| 0.96 | 0.46 | 0.68 | 1.52 | 0.33 | 0.75 |
| 0.98 | 0.45 | 0.69 | 1.58 | 0.32 | 0.76 |
| 1 | 0.44 | 0.69 | 1.64 | 0.31 | 0.76 |
| 1.04 | 0.43 | 0.7 | 1.71 | 0.3 | 0.77 |
| 1.08 | 0.42 | 0.7 | 1.8 | 0.29 | 0.78 |
| 1.12 | 0.41 | 0.71 | 1.89 | 0.28 | 0.78 |
| 1.16 | 0.4 | 0.71 | 2 | 0.27 | 0.79 |

Fuente: Rubén Terán 1998

ANEXO N°10
9.10 Coeficiente de contracción μ

| Coeficiente de contracción μ | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| Velocidad (m/s) | Longitud libre entre los estribos | | | | | |
| | 42 m. | 52 m. | 63 m. | 106 m. | 124 m. | 200 m. |
| < 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1.5 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |
| 2.5 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |
| 3 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 3.5 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| > 4.00 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |

Fuente: Rubén Terán 1998

ANEXO N° 11.

9.11 Valores del coeficiente de rugosidad n para el fondo del río.

| Tipo de Canal y descripción | Mínimo | Normal | Máximo |
|---|--------|--------|--------|
| b. Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos | | | |
| 1. Fondo: Gravas, cantos rodados y algunas rocas | 0.030 | 0.040 | 0.050 |
| 2. Fondo: Cantos rodados con rocas grandes | 0.040 | 0.050 | 0.070 |

Fuente: Vente Chow (1994).

ANEXO N° 12.

9.12 Coeficientes de rugosidad tipo para revestimientos de Geoweb rellenos con concreto para el talud de la sección de nuestro tramo de estudio.

| Acabado de la superficie del revestimiento de Geoweb relleno con concreto | Rango de los valores de n |
|--|----------------------------------|
| Badilejo metálico liso | 0.012 - 0.014 |
| Espátula de madera | 0.013 - 0.015 |
| Cepillado | 0.016 - 0.018 |
| Rastrillado | 0.020 - 0.022 |
| Grava o roca parcialmente incrustada | 0.030 - 0.040 |

Fuente: Presto (2000).

ANEXO 13.

9. 13 Valores para coeficiente contracción y expansión en flujo subcrítico

| Tipo de transición | Valor del coeficiente de contracción | Valor del coeficiente de expansión |
|------------------------------|---|---|
| Sin perdidas | 0.00 | 0.00 |
| Transición gradual | 0.01 | 0.03 |
| Secciones de puentes típicos | 0.3 | 0.5 |
| Transición abrupta | 0.05 | 0.20 |

Fuente: Hydrologic Engineering Center (2016).

ANEXO 14.

9.14 Valores para coeficiente contracción y expansión en flujo supercrítico

| Tipo de transición | Valor del coeficiente de contracción | Valor del coeficiente de expansión |
|--------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Sin pérdidas | 0.00 | 0.00 |
| Transición gradual | 0.01 | 0.03 |
| Transición abrupta | 0.05 | 0.20 |

Fuente: Hydrologic Engineering Center (2016)

ANEXO N° 15

9.15 Velocidades según modelación hidráulica río Zarumilla (Puente Bolsico) para cada periodo de retorno calculado.

| Periodo de Retorno Años | Velocidad Máxima (m/s) |
|----------------------------|---------------------------|
| 25 | 2.75 |
| 50 | 2.84 |
| 100 | 2.88 |

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 16.

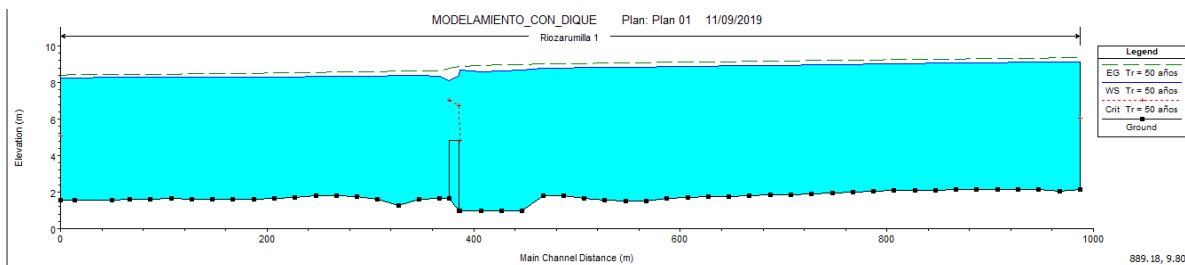
9.16 Resultados profundidad de socavación para Tr = 25, 50 y 100 años.

| PERIODO DE RETORNO | METODO DE L. LIST VAN LEVEDIEV | | |
|--------------------|--------------------------------|----------------------------|---|
| | TIRANTE CON SOCAVACIÓN (m) | TIRANTE SIN SOCAVACIÓN (m) | PROFUNDIDAD DE SOCAVACIÓN +Factor Seguridad 10% |
| Tr= 25 años | 8.33 | 5.79 | 2.79 |
| Tr= 50 años | 9.36 | 6.45 | 3.20 |
| Tr= 100 años | 10.24 | 7.10 | 3.45 |

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 17.

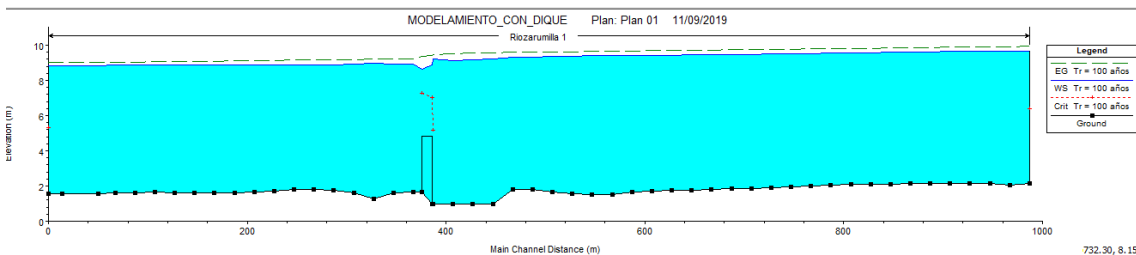
9.17. PERFIL LONGITUDINAL PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS



Fuente: Modelamiento Hec-Ras – Tesis 2019.

ANEXO N° 18.

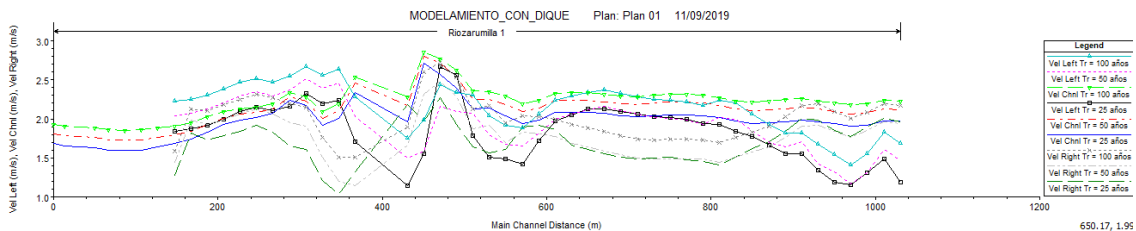
9.18. PERFIL LONGITUDINAL PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS



Fuente: Modelamiento Hec-Ras – Tesis 2019.

ANEXO N° 19.

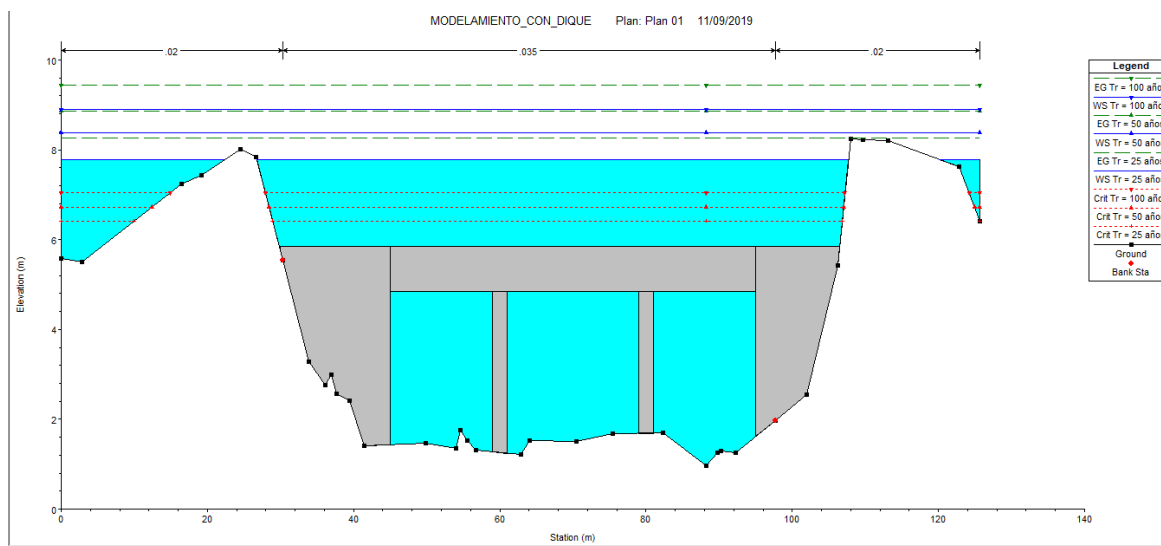
9.19 Gráfico de velocidades para Tr = 25, 50 y 100 años.



Fuente: Modelamiento Hec-Ras – Tesis 2019.

ANEXO N° 20.

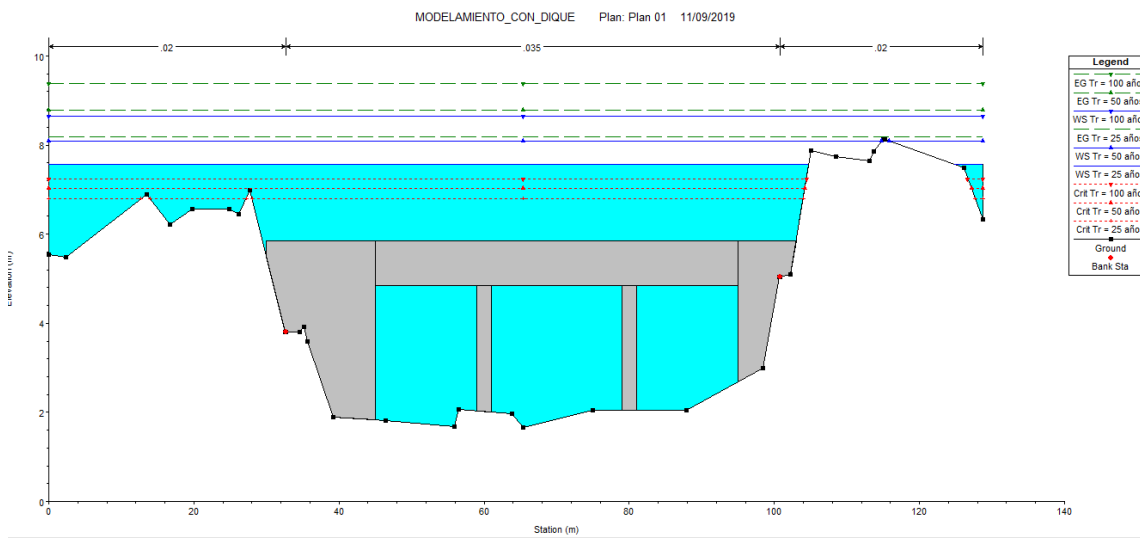
9.20 Sección Transversal aguas arriba (PUENTE BOLSICO) para Tr = 25, 50 y 100 años.



Fuente: Modelamiento Hec-Ras – Tesis 2019.

ANEXO N° 21.

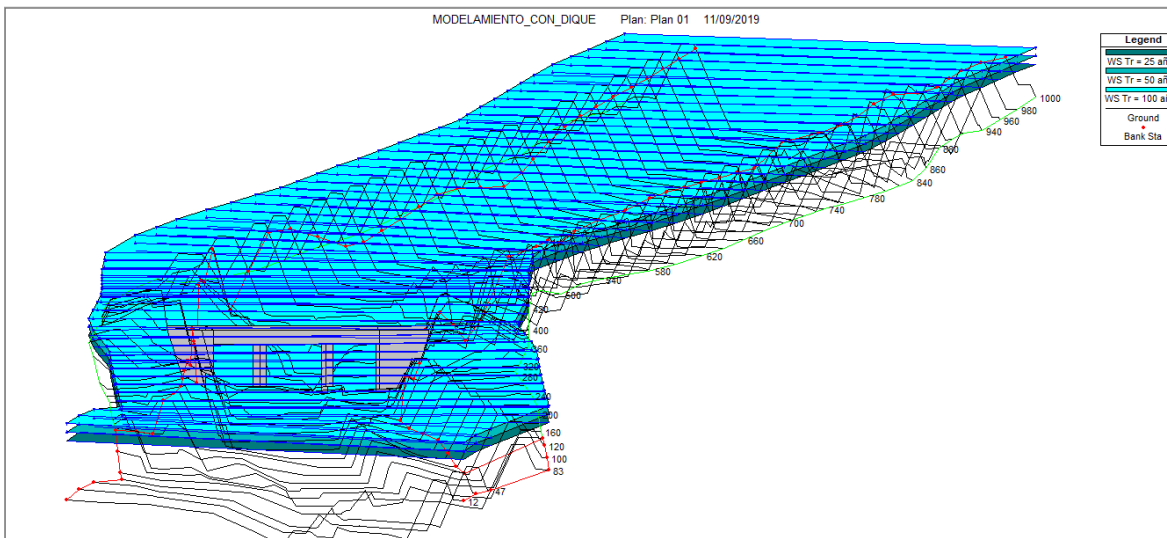
9.21 Sección Transversal aguas abajo (PUENTE BOLSICO) para Tr = 25, 50 y 100 años.



Fuente: Modelamiento Hec-Ras – Tesis 2019.

ANEXO N° 22.

9.22 VISTA 3D GEOMETRIA DEL TRAMO DE ESTUDIO para Tr = 25, 50 y 100 años.



Fuente: Modelamiento Hec-Ras – Tesis 2019.

ANEXO N° 23.

9.23 TABLA DE RESUMEN CARACTERISTICAS HIDRAULICAS Tr=25 años.

| SECCIONES | COTA MINIMA SECCION (m) | TIRANTE DE AGUA (m/s) | COTA DE LA LINEA DE ENERGIA (m) | PENDIENTE DE LA LINEA DE ENERGIA | VELOCIDAD DEL CAUCE DEL RIO (m/s) | AREA DE FLUJO (m/s) | ANCHO DEL RÍO (m) | NUMERO DE FROUDE |
|-----------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| 1000 | 2.15 | 8.55 | 8.73 | 0.000526 | 1.9 | 529.82 | 117.78 | 0.27 |
| 980 | 2.15 | 8.53 | 8.72 | 0.000553 | 1.94 | 520.21 | 116.94 | 0.27 |
| 960 | 2.14 | 8.52 | 8.71 | 0.000579 | 1.96 | 512.17 | 116.05 | 0.28 |
| 940 | 2.13 | 8.5 | 8.7 | 0.000604 | 1.98 | 505.93 | 116.14 | 0.28 |
| 920 | 2.12 | 8.49 | 8.68 | 0.000577 | 1.97 | 514.06 | 116.95 | 0.28 |
| 900 | 2.11 | 8.48 | 8.67 | 0.000559 | 1.95 | 519.51 | 117.7 | 0.27 |
| 880 | 2.08 | 8.47 | 8.66 | 0.000549 | 1.94 | 520.8 | 117.97 | 0.27 |
| 860 | 2.03 | 8.45 | 8.65 | 0.000562 | 1.97 | 513.37 | 117.87 | 0.28 |
| 840 | 1.98 | 8.43 | 8.64 | 0.000582 | 2.01 | 503.87 | 118.01 | 0.28 |
| 820 | 1.94 | 8.42 | 8.62 | 0.000586 | 2.04 | 499.13 | 118.38 | 0.28 |
| 800 | 1.9 | 8.4 | 8.61 | 0.000616 | 2.05 | 493.67 | 118.37 | 0.29 |
| 780 | 1.86 | 8.39 | 8.6 | 0.000636 | 2.05 | 491.66 | 118.47 | 0.29 |
| 760 | 1.83 | 8.38 | 8.58 | 0.000632 | 2.04 | 495.18 | 118.61 | 0.29 |
| 740 | 1.8 | 8.37 | 8.57 | 0.000628 | 2.02 | 497.93 | 118.84 | 0.29 |
| 720 | 1.78 | 8.35 | 8.56 | 0.000642 | 2.04 | 494.33 | 118.84 | 0.29 |
| 700 | 1.76 | 8.33 | 8.54 | 0.000673 | 2.07 | 486.93 | 118.85 | 0.3 |
| 680 | 1.73 | 8.31 | 8.53 | 0.000688 | 2.09 | 482.83 | 118.81 | 0.3 |
| 660 | 1.67 | 8.3 | 8.52 | 0.000679 | 2.09 | 484.19 | 118.86 | 0.3 |
| 640 | 1.5 | 8.29 | 8.5 | 0.000684 | 2.08 | 484.72 | 119.18 | 0.3 |
| 620 | 1.52 | 8.29 | 8.48 | 0.000604 | 1.98 | 508.41 | 121.17 | 0.28 |
| 600 | 1.54 | 8.28 | 8.47 | 0.000573 | 1.94 | 519.97 | 122.88 | 0.28 |
| 580 | 1.68 | 8.25 | 8.46 | 0.000601 | 2.04 | 499.87 | 116.07 | 0.29 |
| 560 | 1.79 | 8.22 | 8.44 | 0.000633 | 2.14 | 482.83 | 117.32 | 0.3 |
| 540 | 1.82 | 8.21 | 8.43 | 0.000639 | 2.13 | 481.61 | 118.19 | 0.3 |
| 520 | 0.98 | 8.12 | 8.41 | 0.000876 | 2.39 | 423.21 | 114.61 | 0.35 |
| 500 | 0.97 | 8.05 | 8.38 | 0.001118 | 2.57 | 391.1 | 110.93 | 0.39 |
| 480 | 0.96 | 8 | 8.36 | 0.001159 | 2.72 | 382.78 | 112.79 | 0.4 |
| 456 | 0.97 | 8.1 | 8.3 | 0.000412 | 1.96 | 518.72 | 118.81 | 0.25 |
| 420 | 1.66 | 7.8 | 8.07 | 0.000689 | 2.33 | 446.53 | 119.74 | 0.31 |
| 400 | 1.63 | 7.83 | 8.04 | 0.000526 | 2 | 493.73 | 125.84 | 0.27 |
| 395 | 1.28 | 7.83 | 8.03 | 0.000471 | 1.92 | 515.6 | 130 | 0.26 |
| 380 | 1.62 | 7.77 | 8.01 | 0.000694 | 2.17 | 462.91 | 130 | 0.31 |
| 360 | 1.78 | 7.75 | 8 | 0.00071 | 2.23 | 459.32 | 130 | 0.31 |
| 340 | 1.79 | 7.76 | 7.97 | 0.000597 | 2.07 | 486.3 | 130 | 0.29 |
| 320 | 1.8 | 7.75 | 7.96 | 0.000603 | 2.02 | 490.52 | 130 | 0.29 |
| 300 | 1.73 | 7.74 | 7.95 | 0.000588 | 1.99 | 499.85 | 130 | 0.28 |

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 24.

9.24 TABLA DE RESUMEN CARACTERISTICAS HIDRAULICAS Tr=50 años.

| SECCIONES | COTA MINIMA SECCION (m) | TIRANTE DE AGUA (m/s) | COTA DE LA LINEA DE ENERGIA (m) | PENDIENTE DE LA LINEA DE ENERGIA | VELOCIDAD DEL CAUCE DEL RIO (m/s) | AREA DE FLUJO (m/s) | ANCHO DEL RÍO (m) | NUMERO DE FROUDE |
|-----------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| 1000 | 2.15 | 9.14 | 9.37 | 0.000639 | 2.12 | 579.23 | 130 | 0.3 |
| 980 | 2.06 | 9.13 | 9.35 | 0.000639 | 2.12 | 577.12 | 130 | 0.3 |
| 960 | 2.15 | 9.12 | 9.34 | 0.000577 | 2.08 | 591.59 | 130 | 0.28 |
| 940 | 2.15 | 9.12 | 9.33 | 0.000556 | 2.06 | 598.14 | 130 | 0.28 |
| 920 | 2.15 | 9.1 | 9.31 | 0.000592 | 2.09 | 588.09 | 128.94 | 0.29 |
| 900 | 2.14 | 9.08 | 9.3 | 0.000607 | 2.12 | 579.28 | 126.75 | 0.29 |
| 880 | 2.13 | 9.06 | 9.29 | 0.000623 | 2.15 | 572.82 | 124.79 | 0.29 |
| 860 | 2.12 | 9.05 | 9.28 | 0.000597 | 2.13 | 581.55 | 126.87 | 0.29 |
| 840 | 2.11 | 9.04 | 9.26 | 0.000583 | 2.11 | 587.61 | 129.12 | 0.28 |
| 820 | 2.08 | 9.03 | 9.25 | 0.00058 | 2.1 | 589.29 | 130 | 0.28 |
| 800 | 2.03 | 9.02 | 9.24 | 0.000594 | 2.12 | 581.83 | 130 | 0.29 |
| 780 | 1.98 | 8.99 | 9.22 | 0.000602 | 2.17 | 572.31 | 130 | 0.29 |
| 760 | 1.94 | 8.98 | 9.21 | 0.000599 | 2.2 | 567.49 | 130 | 0.29 |
| 740 | 1.9 | 8.96 | 9.2 | 0.000627 | 2.22 | 561.98 | 130 | 0.3 |
| 720 | 1.86 | 8.95 | 9.19 | 0.000645 | 2.22 | 560.09 | 130 | 0.3 |
| 700 | 1.83 | 8.94 | 9.17 | 0.00064 | 2.2 | 563.79 | 130 | 0.3 |
| 680 | 1.8 | 8.92 | 9.16 | 0.000635 | 2.18 | 566.86 | 130 | 0.3 |
| 660 | 1.78 | 8.91 | 9.15 | 0.000649 | 2.19 | 563.33 | 130 | 0.3 |
| 640 | 1.76 | 8.89 | 9.13 | 0.000679 | 2.22 | 555.99 | 130 | 0.31 |
| 620 | 1.73 | 8.87 | 9.12 | 0.000686 | 2.24 | 551.9 | 130 | 0.31 |
| 600 | 1.67 | 8.86 | 9.1 | 0.000679 | 2.24 | 553.25 | 130 | 0.31 |
| 580 | 1.5 | 8.85 | 9.09 | 0.000686 | 2.24 | 553.89 | 130 | 0.31 |
| 560 | 1.52 | 8.85 | 9.07 | 0.000608 | 2.14 | 578.54 | 130 | 0.29 |
| 540 | 1.54 | 8.84 | 9.06 | 0.000577 | 2.09 | 590.82 | 130 | 0.28 |
| 520 | 1.68 | 8.81 | 9.04 | 0.000626 | 2.18 | 569.05 | 126.86 | 0.3 |
| 500 | 1.79 | 8.78 | 9.03 | 0.000661 | 2.25 | 550.81 | 123.73 | 0.3 |
| 480 | 1.82 | 8.77 | 9.01 | 0.00063 | 2.25 | 548.32 | 120.59 | 0.3 |
| 456 | 0.98 | 8.68 | 8.99 | 0.000849 | 2.53 | 489.05 | 117.91 | 0.35 |
| 440 | 0.97 | 8.61 | 8.97 | 0.001063 | 2.71 | 457.8 | 120.12 | 0.38 |
| 420 | 0.96 | 8.57 | 8.95 | 0.001071 | 2.8 | 451.02 | 122.6 | 0.39 |
| 400 | 0.97 | 8.66 | 8.89 | 0.00045 | 2.17 | 588.84 | 125.66 | 0.26 |
| 380 | 1.66 | 8.36 | 8.65 | 0.000674 | 2.46 | 517.32 | 128.73 | 0.32 |
| 360 | 1.63 | 8.39 | 8.63 | 0.000513 | 2.11 | 566.1 | 130 | 0.27 |
| 340 | 1.28 | 8.39 | 8.61 | 0.000454 | 2.01 | 588.76 | 130 | 0.26 |
| 320 | 1.62 | 8.34 | 8.6 | 0.000632 | 2.22 | 536.62 | 130 | 0.3 |
| 300 | 1.78 | 8.32 | 8.59 | 0.000645 | 2.28 | 533.52 | 130 | 0.3 |

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 25.

9.25 TABLA DE RESUMEN CARACTERISTICAS HIDRAULICAS Tr=100 años.

| SECCIONES | COTA MINIMA SECCION (m) | TIRANTE DE AGUA (m/s) | COTA DE LA LINEA DE ENERGIA (m) | PENDIENTE DE LA LINEA DE ENERGIA | VELOCIDAD DEL CAUCE DEL RIO (m/s) | AREA DE FLUJO (m/s) | ANCHO DEL RÍO (m) | NUMERO DE FROUDE |
|-----------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| 1000 | 2.15 | 9.68 | 9.93 | 0.000621 | 2.23 | 649.21 | 130 | 0.3 |
| 980 | 2.06 | 9.67 | 9.92 | 0.000619 | 2.23 | 647.17 | 130 | 0.3 |
| 960 | 2.15 | 9.66 | 9.9 | 0.000566 | 2.2 | 661.7 | 130 | 0.29 |
| 940 | 2.15 | 9.65 | 9.89 | 0.000548 | 2.18 | 668.27 | 130 | 0.28 |
| 920 | 2.15 | 9.64 | 9.88 | 0.000587 | 2.2 | 658.16 | 130 | 0.29 |
| 900 | 2.14 | 9.62 | 9.87 | 0.000616 | 2.23 | 648.72 | 130 | 0.29 |
| 880 | 2.13 | 9.6 | 9.85 | 0.000627 | 2.26 | 640.87 | 128.57 | 0.3 |
| 860 | 2.12 | 9.59 | 9.84 | 0.000601 | 2.24 | 650.85 | 130 | 0.29 |
| 840 | 2.11 | 9.58 | 9.83 | 0.000578 | 2.22 | 657.65 | 130 | 0.29 |
| 820 | 2.08 | 9.57 | 9.81 | 0.000569 | 2.21 | 659.37 | 130 | 0.29 |
| 800 | 2.03 | 9.55 | 9.8 | 0.00058 | 2.23 | 651.92 | 130 | 0.29 |
| 780 | 1.98 | 9.53 | 9.79 | 0.000585 | 2.27 | 642.47 | 130 | 0.29 |
| 760 | 1.94 | 9.52 | 9.78 | 0.000581 | 2.3 | 637.8 | 130 | 0.29 |
| 740 | 1.9 | 9.5 | 9.77 | 0.000605 | 2.31 | 632.33 | 130 | 0.3 |
| 720 | 1.86 | 9.49 | 9.75 | 0.000621 | 2.32 | 630.49 | 130 | 0.3 |
| 700 | 1.83 | 9.48 | 9.74 | 0.000617 | 2.3 | 634.23 | 130 | 0.3 |
| 680 | 1.8 | 9.47 | 9.73 | 0.000613 | 2.28 | 637.33 | 130 | 0.3 |
| 660 | 1.78 | 9.45 | 9.71 | 0.000625 | 2.29 | 633.87 | 130 | 0.3 |
| 640 | 1.76 | 9.43 | 9.7 | 0.000649 | 2.31 | 626.61 | 130 | 0.3 |
| 620 | 1.73 | 9.42 | 9.69 | 0.000655 | 2.33 | 622.67 | 130 | 0.31 |
| 600 | 1.67 | 9.4 | 9.67 | 0.000648 | 2.33 | 624.13 | 130 | 0.3 |
| 580 | 1.5 | 9.39 | 9.66 | 0.000654 | 2.33 | 624.86 | 130 | 0.3 |
| 560 | 1.52 | 9.39 | 9.64 | 0.000589 | 2.24 | 649.53 | 130 | 0.29 |
| 540 | 1.54 | 9.39 | 9.63 | 0.000562 | 2.2 | 661.84 | 130 | 0.28 |
| 520 | 1.68 | 9.36 | 9.61 | 0.00061 | 2.29 | 638.27 | 126.86 | 0.3 |
| 500 | 1.79 | 9.33 | 9.6 | 0.000641 | 2.35 | 618.14 | 123.73 | 0.3 |
| 480 | 1.82 | 9.31 | 9.59 | 0.000615 | 2.36 | 613.76 | 120.59 | 0.3 |
| 456 | 0.98 | 9.22 | 9.57 | 0.000802 | 2.62 | 553.09 | 117.91 | 0.34 |
| 440 | 0.97 | 9.16 | 9.54 | 0.000967 | 2.77 | 523.93 | 120.12 | 0.37 |
| 420 | 0.96 | 9.13 | 9.52 | 0.000973 | 2.86 | 519.76 | 122.6 | 0.37 |
| 400 | 0.97 | 9.22 | 9.47 | 0.000447 | 2.28 | 658.69 | 125.66 | 0.27 |
| 380 | 1.66 | 8.93 | 9.24 | 0.000638 | 2.54 | 590.36 | 128.73 | 0.31 |
| 360 | 1.63 | 8.95 | 9.22 | 0.000492 | 2.19 | 639.44 | 130 | 0.27 |
| 340 | 1.28 | 8.96 | 9.2 | 0.000437 | 2.09 | 662.14 | 130 | 0.26 |
| 320 | 1.62 | 8.9 | 9.19 | 0.000583 | 2.28 | 610.3 | 130 | 0.29 |
| 300 | 1.78 | 8.89 | 9.18 | 0.000594 | 2.33 | 607.47 | 130 | 0.3 |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 26.

9.26 FOTOGRAFIAS DE CAMPO Y FASE DE GABINETE



VISTA DEL PUENTE BOLSICO EN MAXIMO ESTIAJE



VISTA DEL CAUCE DEL RIO ZARUMILLA DE NUESTRA ZONA DE ESTUDIO

AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO



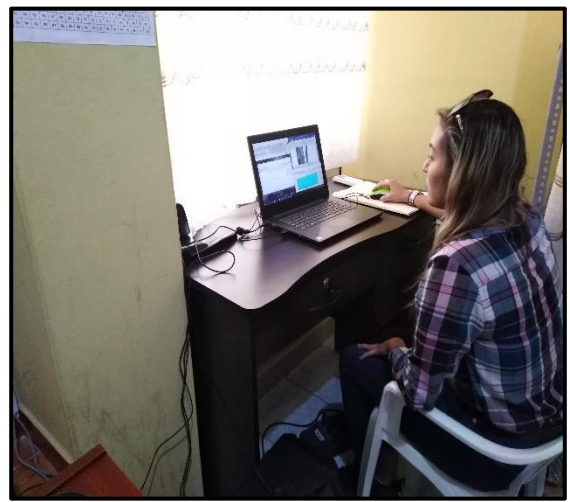
PREPARACIÓN DE EQUIPO TOPOGRAFICO PREVIO AL LEVANTAMIENTO



SECCIONAMIENTO TRANSVERSAL DEL CAUCE



REGISTRANDO LAS DIMENSIONES DEL PUENTE BOLSICO



FASE DE GABINETE

PROCESAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS DE CAMPO



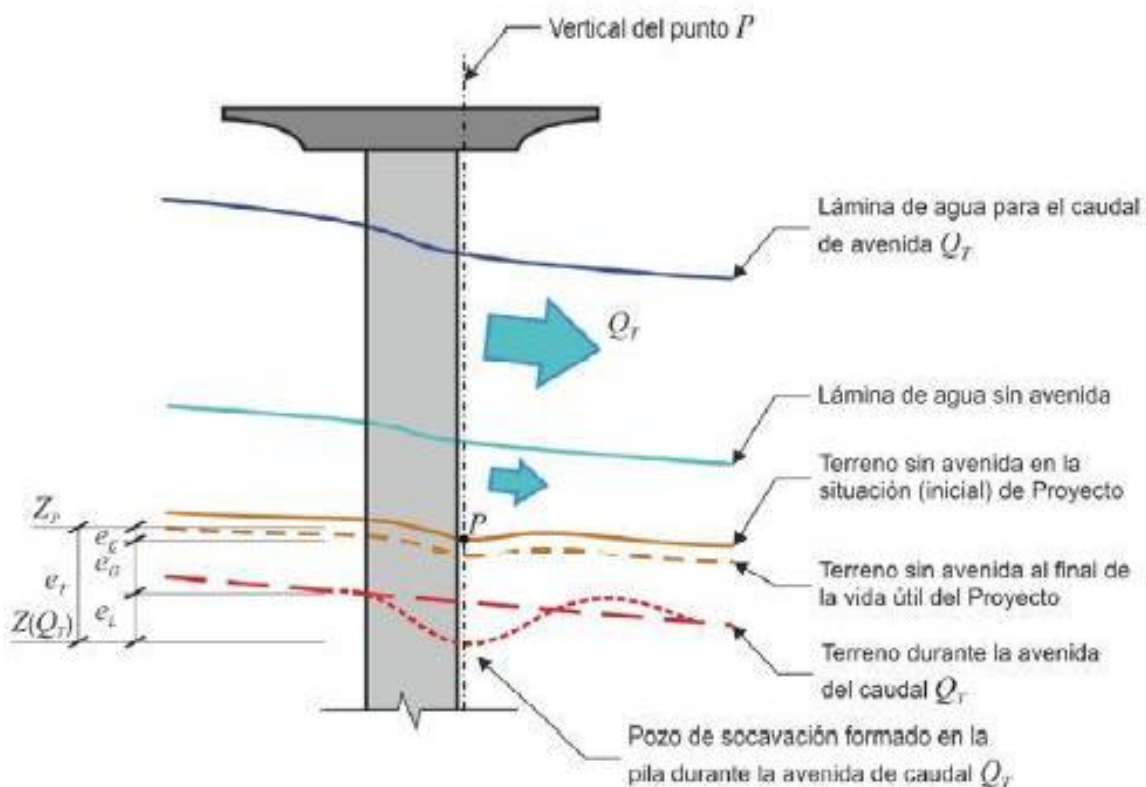
TESISTAS EN CAMPO



GRUPO DE TRABAJO Y TESISTAS

ANEXO N° 27.

9.27 COMPONENTES DE SOCAVACIÓN EN PILA DE PUENTE



Nota: La situación del punto P de mayor profundidad de erosión depende de la sección transversal de la pila



Fuente: Norma 5.2 – IC DRENAJE SUPERFICIAL