

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“EVALUACIÓN DE LA SOCAVACIÓN PRODUCIDA EN PILARES Y ESTRIBOS DEL PUENTE LIBERTAD CAUSADO POR EL FENÓMENO EL NIÑO. DISTRITO DE GUADALUPE, LA LIBERTAD - 2019”

Trabajo de investigación para optar el grado de:

Bachiller en Ingeniería Civil

Autores:

Albert Heins Guillen Caballero

Chris Belú Gálvez Alcalde

Asesor:

Mg. Wiston Henry Azañedo Medina

Trujillo - Perú

2019



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi familia, por haber estado a mi lado en todo momento. Y a todos los que me guiaron con sus consejos.

Chris G.

Por brindarme la oportunidad de cristalizar mis anhelos de superación, por acompañarme en este difícil camino de la vida, por enseñarme a luchar por mis sueños, por su gran esfuerzo y sacrificio, por hacer de mi lo que soy, este trabajo de investigación se lo dedico: a mis padres y hermanos.

Albert G.

AGRADECIMIENTO

Nuestra más excelsa gratitud a quienes hicieron posible que este trabajo de investigación de grado haya tenido una culminación exitosa:

A la Universidad Privada del Norte por permitirnos disponer de sus instalaciones.

A nuestro asesor Mg. Wiston Henry Azañedo Medina por orientarnos para el desarrollo del presente trabajo y poner a nuestra disposición la información necesaria.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	8
ÍNDICE DE ANEXOS.....	8
RESUMEN	9
SUMMARY	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	11
1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	13
1.2.1. Antecedentes.....	13
1.2.2 Justificación.....	19
1.3 BASES TEÓRICAS	20
1.3.1. Socavación.	20
1.3.2. Puente.	29
1.3.3. Conceptos Hidrológicos	32
1.3.4. Aspectos básicos sobre cuencas hidrográficas.	33
1.3.5. Métodos para calcular el caudal de una cuenca hidrográfica	40
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	41
1.5 OBJETIVOS.....	42
1.5.1. Objetivo general.	42
1.5.2. Objetivos específicos.	42
1.6 HIPÓTESIS	43
1.6.1.Hipótesis general	43
1.6.2.Hipótesis específicas.....	43
1.7 LIMITACIONES.....	44
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	45
2.1.TIPO DE INVESTIGACIÓN	45
2.1.1.Diseño de la investigación.....	45
2.1.2.Población Y Muestra.	45
2.1.3.Variables.	46
2.2.TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	46
2.2.1.Unidad de estudio.....	46
2.2.2.Técnicas para recolección y análisis de datos.	47
2.2.3.Materiales para recolección y procesamiento de datos.	48

2.3. PROCEDIMIENTO	48
2.4. ASPECTOS ETICOS.....	51
CAPITULO III. RESULTADOS.....	53
3.1. CALCULO DEL CAUDAL MÁXIMO DE LA CUENCA DEL RIO JEQUETEPEQUE	53
3.1.1. Cálculo del área de la cuenca (A).....	53
3.1.2. Cálculo del tiempo de concentración (Tc).....	55
3.1.3. Cálculo del coeficiente de uniformidad (K).....	56
3.1.4. Cálculo del coeficiente de simultaneidad o factor reductor (K_A).....	56
3.1.5. Cálculo de la precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P).....	57
3.1.6. Cálculo de la intensidad de precipitación (I).....	57
3.1.7. Coeficiente de escorrentía (C).....	58
3.2. CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO	60
3.3. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DEL RIO JEQUETEPEQUE	61
RESUMEN DEL ESTUDIO DE SUELOS	74
3.4. MODELAMIENTO DEL FLUJO CON EL NUEVO CAUDAL DEL RÍO JEQUETEPEQUE EN HEC- RAS.....	77
3.5. CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN GENERAL DEL CAUCE POR EL MÉTODO DE LISCHTVAN- LEVEDIEV	81
3.6. CALCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DE LOS ESTRIBOS POR EL MÉTODO DE K. F. ARTAMONOV. K. F.	85
3.7. CALCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DE LOS PILARES POR EL MÉTODO DE NEILL	87
CAPÍTULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	89
4.1.LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	89
4.2.COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	90
4.3.IMPLICANCIAS DE LA INVESTIGACIÓN	96
4.4.CONCLUSIONES.....	96
4.5.RECOMENDACIONES.....	98
REFERENCIAS.....	99
ANEXOS	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Factor de corrección por contracción del cauce</i>	25
Tabla 2. <i>Operacionalización de variables</i>	46
Tabla 3. <i>Precipitaciones máximas del mes de marzo de 2017 de la estación meteorológica de Talla</i>	57
Tabla 4. <i>Clasificación de la intensidad de precipitación</i>	58
Tabla 5. <i>Datos de entrada para cálculo de hidrograma sintético</i>	59
Tabla 6. <i>Análisis de granulometría calicata N° 1 a 0.3 m</i>	62
Tabla 7. <i>Clasificación y diámetro medio de la muestra a 0.3 m de la calicata N° 1</i>	63
Tabla 8. <i>Análisis de granulometría calicata N° 1 a 1.2 m</i>	64
Tabla 9. <i>Clasificación y diámetro medio de la muestra a 1.2 m de la calicata N° 1</i>	65
Tabla 10. <i>Análisis de granulometría calicata N° 1 a 2.3 m</i>	66
Tabla 11. <i>Clasificación y diámetro medio de la muestra a 2.3 m de la calicata N° 1</i>	67
Tabla 12. <i>Análisis de granulometría calicata N° 2 a 0.3 m</i>	68
Tabla 13. <i>Clasificación y diámetro medio de la muestra a 0.3 m de la calicata N° 2</i>	69
Tabla 14. <i>Análisis de granulometría calicata N° 2 a 1.2 m</i>	70
Tabla 15. <i>Clasificación y diámetro medio de la muestra a 1.2 m de la calicata N° 2</i>	71
Tabla 16. <i>Análisis de granulometría calicata N° 2 a 2.3 m</i>	72
Tabla 17. <i>Clasificación y diámetro medio de la muestra a 2.3 m de la calicata N° 2</i>	73
Tabla 18. <i>Análisis de granulometría de las 6 muestras</i>	74
Tabla 19. <i>Resultados de diámetros medios por muestra</i>	75
Tabla 20. <i>Distribución porcentual según textura de suelo</i>	76
Tabla 21. <i>Calculo de peso específico de las partículas del rio Jequetepeque</i>	77
Tabla 22. <i>Tabla de datos de la modelación en HEC-RAS</i>	81
Tabla 23. <i>Coefficiente de contracción</i>	83
Tabla 24. <i>Valores de X para suelos cohesivos y no cohesivos</i>	84
Tabla 25. <i>Valores del coeficiente b</i>	85
Tabla 26. <i>Valores del coeficiente correctivo Pa</i>	87
Tabla 27. <i>Valores del coeficiente correctivo Pq</i>	87
Tabla 28. <i>Valores del coeficiente correctivo PR</i>	87
Tabla 29. <i>Resultados finales de socavación</i>	88
Tabla 30. <i>Comparación de resultados con los antecedentes</i>	90
Tabla 31. <i>Comparación diámetro medio - socavación general</i>	91
Tabla 32. <i>Comparación diámetro medio - socavación en estribos</i>	92
Tabla 33. <i>Comparación diámetro medio - socavación en pilares</i>	93
Tabla 34. <i>Comparación Caudal - socavación en pilares</i>	94
Tabla 35. <i>Comparación diámetro Caudal - socavación en pilares</i>	95

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Causas de colapso en puentes.....	14
<i>Figura 2.</i> Puentes destruidos en fenómeno “El Niño”.....	15
<i>Figura 3.</i> Caída del puente Reque.....	16
<i>Figura 4.</i> Vista aérea caída del puente Reque.....	16
<i>Figura 5.</i> Sección transversal del cauce.....	24
<i>Figura 6.</i> Intersección del flujo por los estribos. Método de ARTAMONOV.....	27
<i>Figura 7.</i> Influencia de la forma de la cuenca en el hidrograma.....	33
<i>Figura 8.</i> Divisoria de aguas.....	36
<i>Figura 9.</i> Partes de un río.....	37
<i>Figura 10.</i> Ubicación del río Jequetepeque y puente Libertad.....	47
<i>Figura 11.</i> Delimitación del área de la cuenca con google Earth.....	54
<i>Figura 12.</i> Inicio del cauce principal de la cuenca del río Jequetepeque.....	54
<i>Figura 13.</i> Hidrograma sintético de la cuenca del río Jequetepeque.....	59
<i>Figura 14.</i> Calculo del Caudal máximo en HCANALES.....	60
<i>Figura 15.</i> Curva Granulométrica de muestra a 0.3 m de la calicata N° 1.....	63
<i>Figura 16.</i> Curva Granulométrica de muestra a 1.2 m de la calicata N° 1.....	65
<i>Figura 17.</i> Curva Granulométrica de muestra a 2.3 m de la calicata N° 1.....	67
<i>Figura 18.</i> Curva Granulométrica de muestra a 0.3 m de la calicata N° 2.....	69
<i>Figura 19.</i> Curva Granulométrica de muestra a 1.2 m de la calicata N° 2.....	71
<i>Figura 20.</i> Curva Granulométrica de muestra a 2.3 m de la calicata N° 2.....	73
<i>Figura 21.</i> Curvas Granulométricas de las 6 muestras.....	74
<i>Figura 22.</i> Diámetros medios por muestra.....	75
<i>Figura 23.</i> Distribución porcentual según textura de suelo.....	76
<i>Figura 24.</i> Geometría de las secciones transversales del río Jequetepeque cada 20 m.....	78
<i>Figura 25.</i> Sección transversal del río Jequetepeque 20 m aguas abajo del puente HEC-RAS.....	78
<i>Figura 26.</i> Sección transversal del río Jequetepeque 100 m aguas arriba del puente HEC-RAS.....	79
<i>Figura 27.</i> Sección transversal del río Jequetepeque 100 m aguas arriba del puente HEC-RAS.....	79
<i>Figura 28.</i> Vista 3D del flujo del caudal en el río Jequetepeque (X, Y, Z) HEC-RAS.....	80
<i>Figura 29.</i> Distancia recorrida y elevación HEC-RAS.....	80
<i>Figura 30.</i> Comparación diámetro medio - socavación general.....	91
<i>Figura 31.</i> Comparación diámetro medio - socavación en estribos.....	92
<i>Figura 32.</i> Comparación diámetro medio - socavación en pilares.....	93
<i>Figura 33.</i> Comparación Caudal - socavación en pilares.....	94
<i>Figura 34.</i> Comparación diámetro Caudal - socavación en pilares.....	95

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1.</i> Método de Lischtvan-Levediev para Profundidad de socavación en suelos granulares	26
<i>Ecuación 2.</i> Método de Método de K. F. Artamonov para profundidad de socavación.....	27
<i>Ecuación 3.</i> Método de Neill para cálculo de socavación en pilares.	29
<i>Ecuación 4.</i> Pendiente del cauce principal de la cuenca.	40
<i>Ecuación 5.</i> Método racional para cálculo de caudal de una cuenca.	40
<i>Ecuación 6.</i> Método racional modificado para cálculo de caudal de una cuenca.....	41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Señalización del puente Libertad	102
Anexo 2. Toma lateral del puente Libertad.	103
Anexo 3. Vista interna.	104
Anexo 4. Presencia de enrocado.	105
Anexo 5. Huella de nivel durante el fenómeno El Niño.	106
Anexo 6. Toma panorámica del puente Libertad.....	107
Anexo 7. Residuos del fenómeno El Niño.....	108
Anexo 8. Equipo GPS Garmin Oregon 550.....	109
Anexo 9. Mallas Granulométricas para realizar el estudio de suelos.	110
Anexo 10. Análisis de datos del estudio granulométrico.....	111
Anexo 11. Análisis de datos del estudio granulométrico.....	112
Anexo 12. Macrolocalización y Microlocalización del puente Libertad	113

RESUMEN

El siguiente estudio determinó el nivel de socavación producido por el fenómeno El Niño en los pilares y estribos del puente Libertad; se aplicó un diseño de enfoque cuantitativo correlacional para encontrar la relación del caudal con el nivel de socavación.

Se calculó Morfológicamente: pendiente de 0.003m/m y ancho promedio del río de 200m; hidrológicamente: Q_m de 1235m³/seg para un PT de 500 años; geotécnicamente: d_m de 47.25mm, 5 muestras determinaron un suelo GP y SP; por el uso del Hec-Ras y Hcanales un Ty de 2.3m. Los métodos utilizados fueron LISCHTVAN-LEVEDIEV, K. F. ARTAMONOV y NEILL: 0.10m de socavación general, 2.4m en estribos y 3.14m en pilares.

Como una limitación ha sido obtener información meteorológica oportuna de parte de las entidades estatales por ejemplo la Dirección General de agricultura y riego y el ANA.

Se concluye que el puente resiste caudales durante el fenómeno El Niño debido a que se consideró el ancho efectivo del río, y la socavación es menor a la de diseño (6m). Se recomienda hacer un mayor número de calicatas para precisar el tipo de suelo en todo el lecho del río.

Palabras clave: Socavación, estribos, pilares, caudal, diámetro medio, cuenca hidrográfica.

SUMMARY

The following study determined the level of undermining produced by the El Niño phenomenon in the pillars and stirrups of the Libertad bridge; a quantitative correlational approach design was applied to find the relationship of the flow rate with the level of undercutting.

Morphologically calculated: slope of 0.003m / m and average river width of 200m; hydrologically: Q_m of 1235m³ / sec for a PT of 500 years; geotechnically: 47.25mm dm, 5 samples determined a GP and 1 SP sample; for the use of Hec-Ras and Hcanales a Ty of 2.3m. The methods used were LISCHTVAN-LEVEDIEV, K. F. ARTAMONOV and NEILL: 0.10m of general undercutting, 2.4m in stirrups and 3.14m in pillars.

As a limitation it has been to obtain timely meteorological information from state entities, for example the General Directorate of Agriculture and Irrigation and the ANA.

It is concluded that the bridge resists flow rates during the El Niño phenomenon because the effective width of the river was considered, and the undercut is less than the design (6m). It is recommended to make a greater number of calicatas to specify the type of soil in all the river bed.

Keywords: Undermining, stirrups, pillars, flow, mean diameter, watershed.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

REALIDAD PROBLEMÁTICA

En enero de 2017 la temperatura de la superficie del mar se incrementó abruptamente, contra los pronósticos del ENFEN y de los modelos climáticos internacionales, hasta alcanzar valores por encima de 26°C en varios puntos de la costa norte, lo cual propició la ocurrencia de lluvias muy fuertes en la zona norte. (ENFEN, 2017, p.1).

El periodo de diciembre 2016 a mayo del 2017 calificó formalmente como “El Niño costero” de magnitud moderada, con condiciones neutras en el Pacífico central. Si bien este evento fue de características y por mecanismos locales, a diferencia de los eventos de 1982-1983 y 1997-1998, fue bastante similar al evento El Niño del año 1925. Por sus impactos, asociados a las lluvias e inundaciones, este evento “El Niño costero 2017” se puede considerar como el tercer “Fenómeno El Niño” más intenso de al menos los últimos cien años para el Perú. (ENFEN, 2017, p.1).

Construcciones afectadas. A nivel de infraestructura la emergencia provocó que un total de 66,093 viviendas quedaran destruidas y afectó a otras 371,370. Después de las casas, las edificaciones que resultaron más afectadas fueron las instituciones educativas: 354 fueron destruidas y 3,266 afectadas, mientras que 64 establecimientos de salud quedaron inservibles y otras 1,044 afectadas. En Piura fue donde más viviendas quedaron destruidas: 22 mil. Sin embargo, la región que tuvo la mayor cantidad de casas dañadas por las inundaciones y deslizamientos fue La Libertad: 104 mil. (INDECI, 2019, p.3).

Agricultura. A nivel nacional se desaparecieron 50,514 áreas de cultivo, mientras que 22,674 canales de regadío quedaron destruidos. La región con más áreas de cultivo perdidas fue La Libertad con 11,557, mientras que en Lima fue donde más canales de riego desaparecieron: trece mil. (INDECI, 2019, p.3).

Transportes. Cuatro mil kilómetros de caminos rurales, 4,391 kilómetros de carreteras y 489 puentes quedaron destruidos por El Fenómeno El Niño. La región Lima, 2,216 kilómetros desaparecieron. Además, tuvo la mayor cantidad de puentes destruidos: 139. (INDECI, 2019, p.3).

Los estudios más cercanos a nuestra realidad se realizaron en Colombia y arrojaron que el principal problema en caída de puentes en un 70% del total de causas es de carácter hidráulico, principalmente la Socavación en sus pilares representa el 35% y el otro 35% lo conforman las crecidas de avalanchas. (Muñoz, 2017, p.2).

El Niño dejó en evidencia la alta susceptibilidad en la que se encuentra la población a raíz de no contar con infraestructura adecuada para soportar los embates de la naturaleza.

En enero y febrero del presente año 2019 nuevamente se presentaron precipitaciones pluviales intensas que desbordaron ríos en todo el Perú, afectando diversas ciudades e infraestructura vial como carreteras y puentes, Sin embargo, en el Perú no se ha realizado estudios sobre socavación ni tampoco se ha diseñado infraestructura vial con la importancia necesaria que se

refiere a temas hidráulicos e hidrológicos por lo que genera mucha preocupación la posibilidad de repetirse fenómenos climáticos similares.

Debido a la preocupación de la ocurrencia de un evento climático similar al Fenómeno El Niño y su impacto producido en el sector de transportes se realizó esta investigación en el río Jequetepeque y Puente Libertad de Guadalupe – Pacasmayo – La Libertad, la importancia de este estudio radica en que este puente une a los departamentos del norte con el resto de ciudades del Perú y esta investigación permitió determinar su respuesta a un futuro evento climático con similares características del fenómeno El Niño.

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

1.2.1. Antecedentes.

1.2.1.1. *Antecedentes en el mundo.*

- En una evaluación de las causas del colapso de los puentes en Colombia, basada en el estudio de sesenta y tres (63) casos reales de fallas registradas desde el año 1986. Mediante el análisis de cada uno de los casos se identificaron las causas principales que han generado el colapso total o parcial de las estructuras de los puentes, El 36% de los casos estudiados corresponde a puentes de acero que fallaron generalmente por deficiencias estructurales, mientras el 64% restante corresponde a puentes de concreto que colapsaron en su mayoría por socavación. (Muñoz, 2017, p.4).

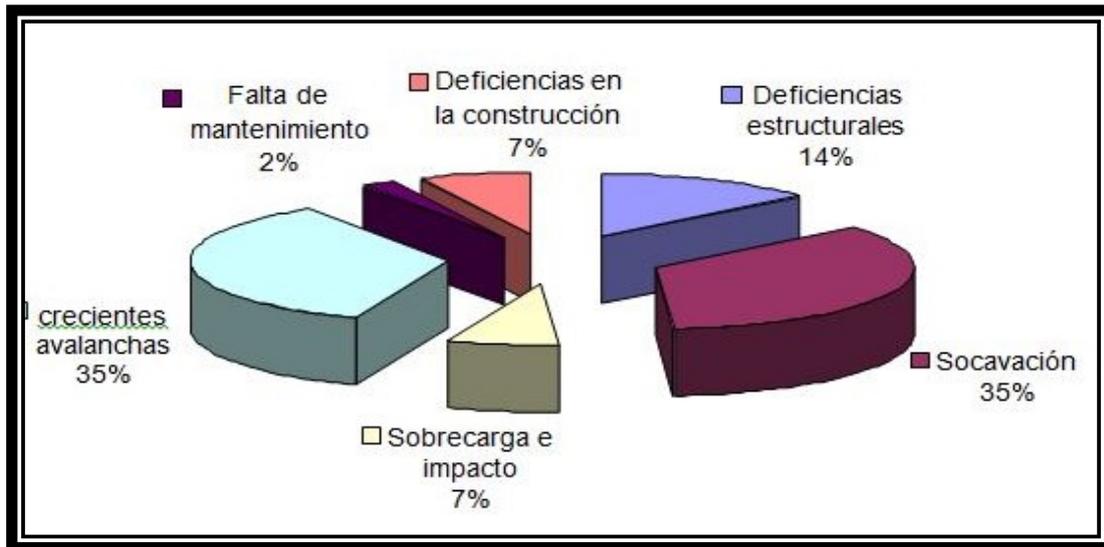


Figura 1. Causas de colapso en puentes.

(Fuente: Muñoz, 2017. Estudio de las causas del colapso de algunos puentes en Colombia, p.4)

1.2.1.2. Antecedentes en el Perú.

- Según el informe realizado por el Colegio de Ingenieros del Perú sobre el Fenómeno “El niño” 97-98, la mayoría de los puentes colapsaron por problemas de socavación del lecho del río, lo que ha ocasionado que las fundaciones se inclinen o colapsen totalmente, este tipo de errores es ocasionado por falta de estudios de Hidráulica y por presiones de hacer obras de bajo costo. Como consecuencia de las intensas lluvias ocurridas durante El Fenómeno “El Niño” de 1998 en el Perú, en sólo los primeros 3 meses de ese año 68 puentes fueron destruidos, 13 de los cuales no tenían más de 14 años de antigüedad, y ocho de ellos fueron construidos en los últimos cinco años previos a “El Niño” (ver fig. 2). Los mayores daños se produjeron en la costa norte del país, en los departamentos de Lambayeque, Piura y Tumbes. Tan sólo en la ciudad de Piura, dos de los cuatro puentes existentes colapsaron; el puente Bolognesi sucumbió en las aguas del río Piura (murieron 3 personas, y desaparecieron 10), demostrando la

vulnerabilidad hidráulica de nuestros puentes que simplemente no están diseñados para soportar este tipo de caudales producidos por las lluvias ya sea porque no son suficiente o adecuadamente largos, o porque sus estribos y pilares no son bastante profundos y el nivel del tablero no es suficientemente alto.



Figura 2. Puentes destruidos en fenómeno “El Niño”

Fuente: “Peor que una Guerra”, (Caretas 1998)

La falla de estos puentes se produce por erosión hidráulica, en la mayoría de casos porque la longitud del puente es demasiado corta. En la costa los ríos tienen cauces relativamente planos y amplios, el puente no cubre el ancho total del río sino sólo una parte del cauce principal y el resto es cubierto mediante la construcción de terraplenes. Este estrechamiento del cauce genera dos efectos negativos: aumenta los niveles de agua e incrementa la profundidad de erosión.

El primero de marzo de 1998 en Chiclayo, el puente Reque colapsó a las 10:00 am, el pilar se paralizó con un caudal de $300 \text{ m}^3/\text{s}$, valor menor que aquel registrado el 14 de marzo el cual fue de $1996 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura 3. Caída del puente Reque

Fuente: Dr. Ing. Jorge D. Reyes Salazar – Universidad de Piura

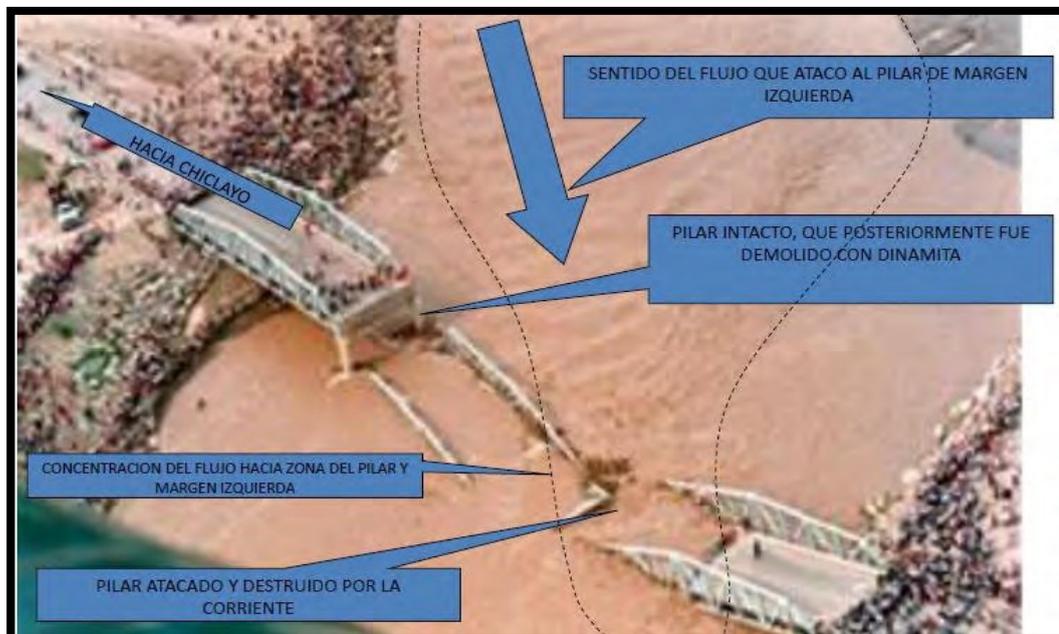


Figura 4. Vista aérea caída del puente Reque

Fuente: Dr. Ing. Jorge D. Reyes Salazar – Univ. De Piura

El Perú cuenta con más de dos mil doscientas estructuras de puentes en las carreteras de la red vial nacional (26,976 kilómetros km).

1.2.1.3. *Proyectos de investigación en el Perú.*

- a) Avalos y Zegarra (2018) calcularon la socavación general en pilares y estribos del río Moche por el método de Lischtvan-Levediev; para la socavación en estribos emplearon el método de K. F. Artamonov y para la socavación en pilares el método de Neill, junto al programa HEC RAS. Para los caudales del río Moche utilizaron métodos estadísticos con datos proporcionados por las diferentes entidades encargadas de las mediciones meteorológicas e hidráulicas. La socavación general que encontraron fue de 0.10m, la socavación en estribos 1.7m y la socavación en pilares 1.34m. Los resultados obtenidos del cálculo del caudal de la micro cuenca San Idelfonso y los registros del río Moche demostraron que la incidencia de las aguas de la quebrada san Idelfonso representa apenas un 5% del caudal del río, por lo que concluyeron que la socavación en los pilares y estribos del puente Moche no representa un peligro para la estabilidad del mismo. El diámetro medio del lecho del río fue de 50.44mm.
- b) Henríquez (2013) realizó el estudio de socavación en la base de estribos del puente Mariscal Cáceres encontrando una socavación en estribos de 3.63m para un caudal de 583.32m³/s y un periodo de retorno de 50 años; 3.83m para un caudal de 636.41m³/s y un periodo de 100 años; y 4.04m para un caudal de 759.68m³/s y un periodo de retorno de 500 años. El D50 fue de 27.50mm. (p.146).
- c) Elbio (2016). Realizó un proyecto de investigación sobre la Socavación producida por el río Huallaga al puente colpa alta en la provincia de

Huánuco, utilizando los métodos de Artamanov, Straub y maza, en el Hec-Ras, utilizó parámetros hidráulicos que el HEC –RAS proporciona, con el objetivo de aplicar los tres métodos propuestos (Artamanov, Straub y Masa) y determinar de manera práctica los diferentes tipos de socavación que se presentan en la zona de estudio. Obteniéndose finalmente para el estribo derecho una socavación de 2.18 m y para el estribo izquierdo una socavación de 1.51 m. en los pilares encontró una socavación que va desde los 5.158 m hasta los 4.214 m.

- d) Cotrina Y Hernández (2017) realizaron el trabajo de investigación con el fin de obtener los criterios técnicos para realizar el estudio de la socavación del puente El Inca proyectado en el río Chorobal, ubicado en la carretera Chao – Buenavista de la provincia de Virú, para el puente el Inca se hicieron uso de la forma de los estribos y de los pilares (rectangulares) con un ancho de 2.00m, Luz de 90.00m y tamaños de partícula $d_{50} = 15.61\text{mm}$. Para la recolección, registro y procesamiento de datos para realizar la simulación hidráulica unidimensional, usaron como instrumentos programas de informática como RIVER, ARC-GIS, HEC-RAS, entre otros programas complementarios. Entre las principales conclusiones que encontraron tenemos que el caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años es de 243.77 m^3/s , y 664.37 m^3/s para un periodo de retorno de 500 años, ambos obtenidos mediante métodos estadísticos, a partir del cual se obtuvo una profundidad de socavación general de 1.88 m, mediante el método De Ll. Lischt van-Lebediev y una profundidad de socavación local en el estribo derecho de 7.41 m y en el estribo izquierdo de 7.93 m mediante el método de Hire, así como

también para los pilares de 5.89 m con el método de la Universidad Estatal de Colorado (CSU) , llegando a la conclusión de proteger a los estribos con enrocados a 20 m aguas arriba y 20 m aguas abajo, y para los pilares proteger el perímetro con enrocado, y en su efecto considerar la profundidad de desplante para la cimentación de la subestructura, en función a la profundidad de socavación obtenida mediante la simulación numérica unidimensional con Hec-Ras.

- e) Chirinos (2017) realizó el estudio de socavación en pilares y estribos del puente Nicolás Dueñas en Lima, con un diámetro de partículas de río D50 de 19 mm se determinó como resultado de la socavación general de 2.84 metros por el método de Lischtván – Levediev, la socavación en estribos de 5.09 metros por el método de Froehlich, la socavación en el pilar de 2.84 metros teniendo como resultado la socavación total en el pilar de 5.48 metros y una socavación total para estribos de 7.42 metros, del mismo modo el análisis de estabilidad del estribo in situ da como resultado una estabilidad aceptable, sin embargo ante el paso de una máxima avenida el puente sufriría imperfecciones.

1.2.2. Justificación.

Las aguas cargadas del fenómeno El niño del 2017 generaron un incremento en el caudal del río Jequetepeque y este año en los meses de enero, febrero y marzo nuevamente ha incrementado su caudal por las lluvias provenientes de su cuenca tributaria a lo largo de su recorrido.

El caudal proveniente del río Jequetepeque a causa del Fenómeno El Niño generó un mayor esfuerzo en las estructuras y estuvieron mucho más

solicitadas con un caudal mayor al proyectado, comprometiendo sus pilares, estribos y el nivel de socavación previsto en su diseño original.

El presente tema de investigación surge de la necesidad de hacer un estudio del impacto de estas nuevas condiciones hidráulicas a fin de determinar si la estructura del puente puede soportar, sin daños, este evento extremo.

La conveniencia de este estudio radica en que, siendo el puente Libertad de Guadalupe una infraestructura que conecta a toda la región norte con el resto del país, su operatividad es de vital importancia para el normal desarrollo económico y social.

BASES TEÓRICAS

1.3.1. Socavación.

La socavación es un fenómeno hidrodinámico que es la causa más frecuente de falla que afecta las cimentaciones de los puentes. Dicho fenómeno es una combinación de distintos procesos, unos que se producen a largo plazo y otros transitorios por el paso de avenidas. 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. (Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC, 2012, p.99).

Para el presente estudio se tuvo en cuenta las características granulométricas del fondo del lecho del río Jequetepeque. Rocha (2013)

afirma: “El transporte sólido está formado por las partículas en suspensión y por las de fondo. En lo que respecta a este último modo de transporte, y para efectos de la erosión local, es muy importante la curva de distribución granulométrica de las partículas que lo constituyen. Es así como una distribución granulométrica extendida protege de la erosión. Por el contrario, la granulometría casi uniforme, como la de una arena fina, aumenta el peligro de erosión. En general, en el cálculo de la profundidad de socavación en lechos arenosos, no influye el tamaño de los granos. Cuando hay partículas mayores puede producirse, para un cierto caudal, el acorazamiento del lecho, lo que implicaría la disminución de la socavación. Esto fue considerado por Richardson en la fórmula de Colorado State University (CSU)” (p.16).

Se ha considerado datos estadísticos proporcionados por las diferentes instituciones meteorológicas, al respecto el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC (2012), recomienda: “Para obtener la Avenida de Diseño o el caudal máximo en la sección de interés de un cauce natural (río o quebrada) además de los métodos de análisis regional e hidráulico (sección-pendiente y modelamientos), existen dos formas más comunes de obtenerlo; la primera consiste en la aplicación de teorías estadísticas a series históricas de caudales máximos (método hidrológico) registrados en el tramo fluvial de interés o cercano a él; la segunda forma, se refiere a los métodos indirectos mediante el uso de relaciones precipitación escorrentía (método hidrometeorológico), a partir de información pluviométrica registrada en el área o cuenca hidrográfica de interés” (p.92).

La geometría de los pilares influye decisivamente en el nivel de socavación; al respecto, Rocha (2013) afirma: “El ancho del pilar es sumamente importante en el cálculo de la socavación. Se sabe que mientras mayor sea el ancho del pilar (entendiendo como tal su dimensión en el sentido normal al de la corriente), mayores serán las posibilidades de una socavación más intensa. De acá que haya que preferir pilares delgados” (p.16).

Para la estimación de la socavación local en estribos es muy importante la recomendación que al respecto formula el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC (2012), el cual afirma:” Existen algunos métodos para la determinación de la socavación local en estribos, entre ellos podemos mencionar: Liu, Chang y Skinner, Laursen, Artamonov, Froehlich, Hire y Melville. Sin embargo, la incertidumbre existente con relación a la aplicabilidad y a los resultados de las ecuaciones es mayor que para el caso de la socavación local en pilares.

Todas las ecuaciones existentes tienen limitaciones de tipo práctico. Por ejemplo, las ecuaciones han sido desarrolladas para cauces de lecho arenoso y no tienen en cuenta la posibilidad de acorazamiento. Las ecuaciones para el cálculo de la socavación local en estribos se basan en información de laboratorio y muy poca información de campo existe para su verificación. Casi todas las ecuaciones dan como resultado valores muy conservadores de socavación debido a que consideran que el estribo está en el cauce principal formado por lechos aluviales y asumen que el caudal de agua obstruido es proporcional a la longitud del estribo, lo cual raramente ocurre en la realidad. El

especialista debe determinar la ecuación que mejor se ajusta a las condiciones de un puente en particular.

La socavación local en los estribos depende, entre otros, de la forma del estribo, las características del sedimento, la forma de la sección transversal, la profundidad del flujo en el cauce principal y en las márgenes, el caudal que es interceptado por el estribo y retorna al cauce principal, el alineamiento del cauce, el tiempo de duración de la creciente, etc., factores que no se reflejan debidamente en las ecuaciones existentes. (p.139).

En nuestro país uno de los métodos más usados para el cálculo de socavación general es el llamado Método de Lischtvan-Levediev por su alto grado de confiabilidad, a tal punto que la mayoría de los puentes construidos en nuestra red vial han sido diseñados bajo sus parámetros. Al respecto el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC (2012) textualmente afirma: “El método propuesto por Lischtvan-Levediev es el más usado en nuestro país para el cálculo de la socavación general incluyendo el efecto de la contracción de un puente. Se fundamenta en el equilibrio que debe existir entre la velocidad media real de la corriente (V_r) y la velocidad media erosiva (V_e). La velocidad erosiva no es la que da inicio al movimiento de las partículas en suelos sueltos, sino la velocidad mínima que mantiene un movimiento generalizado del material del fondo. Si el suelo es cohesivo, es la velocidad que es capaz de levantar y poner el sedimento en suspensión. La velocidad erosiva está en función de las características del sedimento de fondo y de la profundidad del agua. La velocidad real está dada principalmente en función de las características del río: pendiente, rugosidad y tirante o profundidad del agua.

El método se basa en suponer que el caudal unitario correspondiente a cada franja elemental en que se divide el cauce natural (Figura 5) permanece constante durante el proceso erosivo y puede aplicarse, con los debidos ajustes, para casos de cauces definidos o no, materiales de fondo cohesivos o friccionantes y para condiciones de distribución de los materiales del fondo del cauce homogénea o heterogénea.

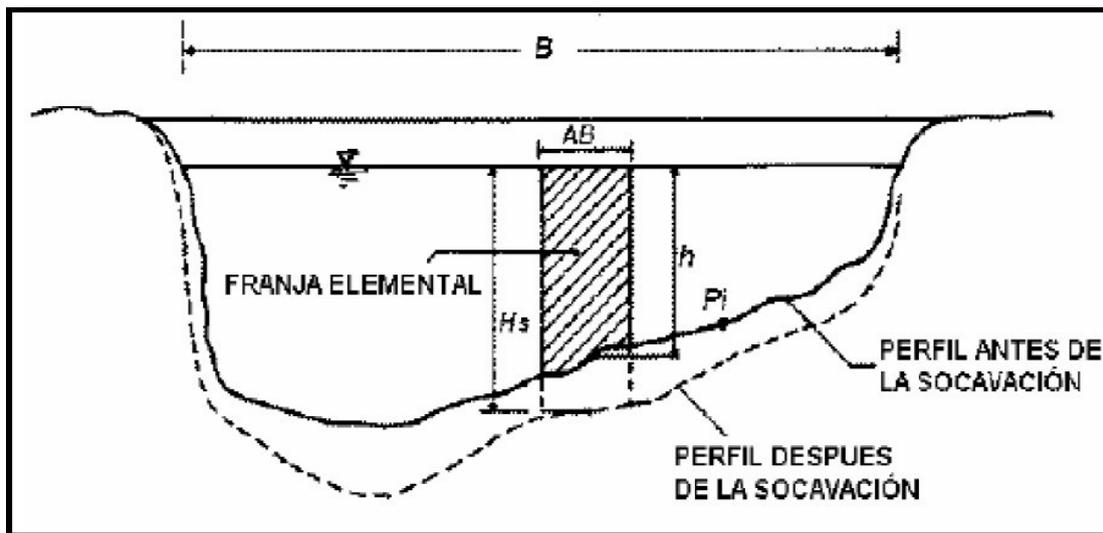


Figura 5. Sección transversal del cauce

(Fuente: Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A. (1992).

a) Para suelos granulares.

Se tiene la siguiente ecuación:

$$H_s = \left[\frac{\alpha h^{5/3}}{0.68 \beta D_m^{0.28}} \right]^{1/1+z}$$

La expresión anterior no considera el efecto de la contracción del flujo debida a la presencia de estribos y pilares, ni el peso específico del agua durante la creciente, por lo que debe corregirse mediante unos factores de ajuste cuando se trata de evaluar un puente.

El factor de corrección por contracción p es menor que 1 y contribuye al incremento de la profundidad de socavación.

En la siguiente tabla se muestra el factor de corrección por contracción del cauce en metros (m):

Tabla 1. *Factor de corrección por contracción del cauce*

Velocidad media en la sección en m/seg	Longitud libre entre dos estribos												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
Menor de 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.50	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.00	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.50	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.00	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.50	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
4.00 o mayor	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

(Fuente: “Bridge failures” de D. W. Smith)

V: Velocidad media en la sección transversal. \sim : 1.0, Si no hay obstáculos.

Para puentes de una sola luz, la luz libre es la distancia entre estribos.

Para puentes de varios tramos, la luz libre es la mínima distancia entre dos pilares consecutivos, o entre el pilar y estribo más próximos.

Adicionalmente, el efecto del peso específico del agua durante la creciente se considera en otro factor de corrección ϕ que es mayor o igual que la unidad y su efecto es reducir la profundidad de socavación.

$\phi = 1.0$, si $\gamma_m = 1.0 \text{ T/m}^3$ (agua clara)

$\gamma_m =$ Peso específico de la muestra agua sedimento

$$\varphi = -0.54 + 1.5143\gamma_m, \text{ si } \gamma_m > 1.0 \text{ T/m}^3 \text{ (Lecho móvil)}$$

(Coeficiente de correlación o de ajuste= 0.9983, (Higuera C. y Pérez G; 1989).)

La ecuación final para el cálculo de la socavación considerando los coeficientes de corrección por contracción y peso específico de agua, es la siguiente:

$$H_s = \left[\frac{\alpha h^{5/3}}{0.68 \beta \alpha \varphi D_m^{0.28}} \right]^{1+z}$$

Ecuación 1. Método de Lischtvan-Levediev para Profundidad de socavación en suelos granulares

Dónde:

H_s-h : Profundidad de socavación (m).

H : Tirante de agua (m).

D_m : Diámetro característico del lecho (mm).

B : Coeficiente de frecuencia.

α : Factor de corrección por contracción del cauce.

φ : Factor de corrección por forma de transporte de sedimentos.

Otro método que es utilizado en nuestro país, es el Método de K. F. Artamonov, el cual suele ser usado cuando existen limitaciones en la amplia información que otros métodos suelen requerir. Al respecto el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC (2012) textualmente afirma: “Este método permite determinar no solamente la profundidad de socavación que se

produce al pie de estribos sino también al pie de espolones o espigones (p.154).

Depende de los siguientes factores:

- Porción del caudal que es interceptado por la estructura al meterse dentro de la corriente Q_1 o Q_2 (ver Figura 6).
- Talud que tienen los lados del estribo (mH: 1.0V)
- Ángulo entre el eje longitudinal del puente y la corriente (θ)

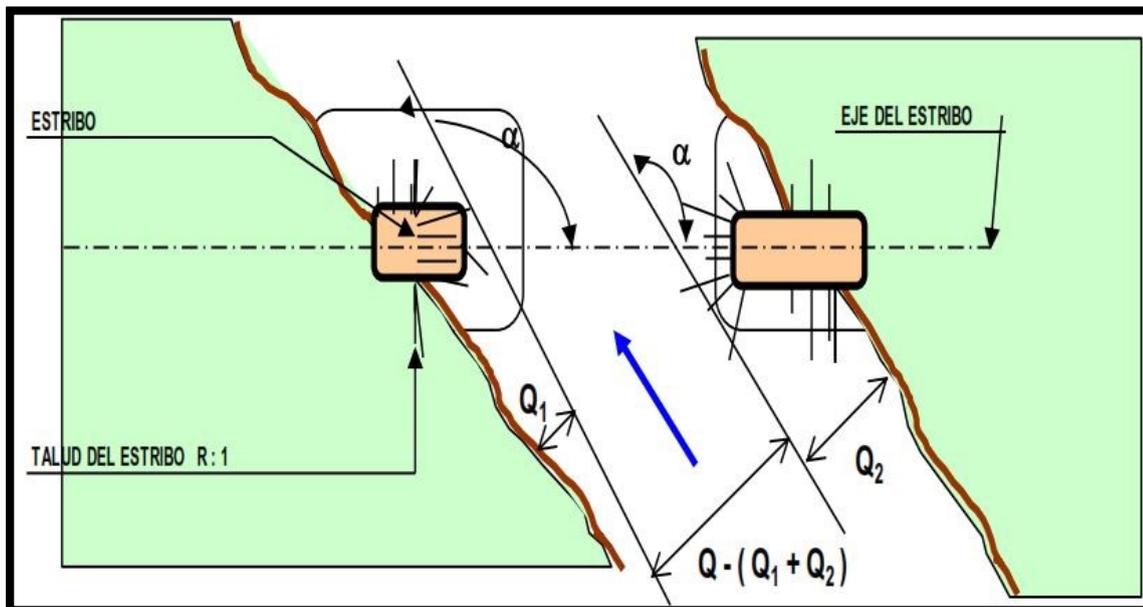


Figura 6. Intersección del flujo por los estribos. Método de ARTAMONOV

(Fuente: Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A; 1002)

$$H_T = K_\theta K_Q K_m h$$

Ecuación 2. Método de Método de K. F. Artamonov para profundidad de socavación

Dónde:

H_T : Profundidad del agua al pie del estribo o espigón medida desde la superficie libre de la corriente.

K_θ : Coeficiente que depende del ángulo que forma la corriente con el eje longitudinal del puente.

K_Q : Coeficiente que depende de la relación entre el gasto teórico interceptado por el estribo Q_1 o Q_2 y el caudal total Q_d que escurre por la sección transversal.

K_m : Coeficiente que depende del talud que tienen los lados del estribo.

h : Tirante de agua en la zona cercana al estribo o al espigón antes de la socavación

Coeficiente de corrección K_θ .

θ	20°	60°	90°	120°	150°
K_θ	0.84	0.94	1.00	1.07	1.19

(Fuente: Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A., 1992).

Coeficiente de corrección K_Q .

Q_1/Q_d	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
K_Q	2.00	2.65	3.22	3.45	3.67	3.87	4.06	4.20

(Fuente: Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A., 1992).

Coeficiente de corrección K_m .

Talud m	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
K_m	1.00	0.91	0.85	0.83	0.61	0.50

(Fuente: Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A., 1992).

La siguiente ecuación se usa cuando el puente no está sesgado respecto al flujo ($\theta = 90^\circ$) y la pared de los estribos es vertical:

$$H_T = K_Q h$$

El método que arroja los resultados más conservadores para el cálculo de la socavación local en pilares, es el método de Neill. Al respecto el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC (2012) textualmente afirma: “Esta ecuación es utilizada por que proporciona la máxima profundidad de socavación que se espera para cualquier velocidad.

Su fórmula es:

$$Y_s = 1.5 * (a'')^{0.7} * h^{0.3}$$

Ecuación 3. Método de Neill para cálculo de socavación en pilares.

Dónde:

Y_s: Profundidad de socavación medida a partir del fondo del cauce (mm)

a'': Ancho proyectado del pilar (m)

h : Profundidad del flujo aguas arriba del pilar (m)

1.3.2. Puente.

La AASHTO define a un puente como cualquier estructura que tiene una abertura no menor a 6100 mm y que forma parte de una carretera o está ubicada sobre o debajo de una carretera.

Parte de la estructura del puente.

Los componentes principales de una estructura del puente son:

- Superestructura
- Subestructura

Superestructura.

Son los componentes estructurales del puente que constituyen el tramo horizontal.

a) *Tablero.* - Es el componente, con o sin superficie de rodamiento, que soporta las cargas de rueda en forma directa y es soportado por otros componentes.

b) *Estructura Portante.* - Es el componente estructural que soporta al

tablero y se apoya en sus extremos con la subestructura, es decir transmite las cargas procedentes del tablero a los estribos y/o pilas.

c) *Accesorios del tablero.* - Son elementos que sirven para dar funcionalidad al puente y seguridad tanto a los peatones: Cordón barrera, barandas, barreras.

Subestructura.

Son los componentes estructurales del puente que soportan el tramo horizontal, los componentes más importantes son:

- Pilares
- Estribos
- Fundaciones

a) Pilares.

Son elementos de apoyo intermedios los cuales conducen los esfuerzos de la superestructura hacia las fundaciones están diseñados para resistir presiones hidráulicas, cargas de viento, cargas de impacto, etc., son más susceptibles a los efectos de la socavación por lo que las fundaciones deberán estar por debajo de la altura máxima de socavación.

Pueden ser de concreto o acero, aun en puentes de acero los pilares de concreto son a menudo adoptados, en algunos casos los pilares muy altos son elaborados en segmentos de concreto prefabricado.

Los pilares pueden ser de una sección transversal constante o variable eso dependerá de la altura del pilar, también pueden tener una sección llena o

una sección hueca la elección de los pilares depende de la constructibilidad y la estética. Podemos clasificar a los pilares en cuatro tipos:

- Circulares.
- Rectangulares.
- Semicirculares.
- Biselada.

b) *Estribos.*

Son los que proveen soporte a la superestructura, establecen la conexión entre la superestructura y el terraplén, son diseñados para soportar la carga de la superestructura la cual es transmitida por medio de los elementos de apoyo, el peso de la losa de transición y las presiones del suelo (empuje de tierras).

Los estribos están conformados por una losa de fundación que transmite el peso de los estribos directamente al suelo, la losa sirve de cubierta para un sistema de pilotes que soportan la carga, el muro frontal, asiento del puente, muro de retención encima del asiento del puente, losa de aproximación, los estribos también poseen juntas de dilatación o expansión que ajustan los desplazamientos de la superestructura.

c) *Fundaciones.*

Se encuentran bajo el terreno de la superficie son encargados de transmitir toda la carga al suelo, al absorber dicha carga el suelo se contrae dando origen a los asentamientos.

En todo diseño de fundaciones dos condiciones se deben satisfacer:
“que el asentamiento total de la estructura este limitado a una cantidad
tolerablemente pequeña y que en lo posible el asentamiento diferencial de las
distintas partes de la estructura se elimine”. (Arthur Nilson, 2000)

1.3.3. Conceptos Hidrológicos.

Caudal.

Volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en
la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m^3/s .

Tirante.

Es la distancia vertical medida del fondo del lecho de un canal, a la
altura libre del agua.

Caudal máximo instantáneo.

Para la determinación del caudal máximo instantáneo ($Q_{m\acute{a}x}$) ocurrido
en una sección de control, en un lapso determinado, generalmente durante el
transcurso del pasaje de una onda de avenida, debe disponerse de un instrumento
registrator. Se expresan en m^3/s y se le asocia la fecha en que se ha registrado.

Hidrograma.

Un hidrograma de caudal es una gráfica o una tabla que muestra la tasa de
flujo como función del tiempo en un lugar dado de la corriente. En efecto el
hidrograma es una expresión integral de las características fisiográficas y

climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y escorrentía de una cuenca de drenaje particular.

Según Heras (1983), el hidrograma permite representar la variación del caudal de un río, en función del tiempo. El hidrograma, está en función del aporte de precipitaciones que puedan ocurrir en la superficie de la cuenca y de las características físicas de ella, tal como se puede apreciar en la Figura 7, donde se observa una comparación de dos hidrogramas en función de la forma de la cuenca. (Fuente: Foro Peruano para el Agua)

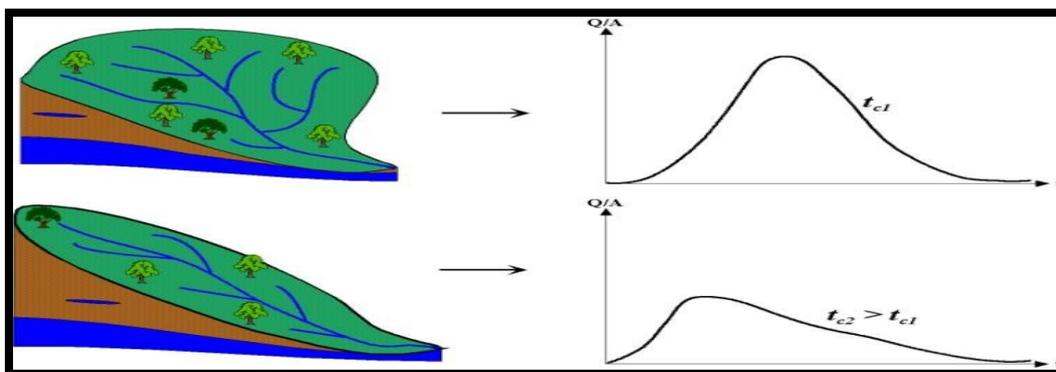


Figura 7. Influencia de la forma de la cuenca en el hidrograma.

(Fuente: Musy André, 2001)

1.3.4. Aspectos básicos sobre cuencas hidrográficas.

Cuenca hidrográfica.

Desde el punto de vista hidrológico, una cuenca hidrográfica es definida como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarum), que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal.

En la cuenca hidrográfica, se distinguen por lo general tres sectores característicos: Alto, Medio y Bajo, los cuales en función a las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos (Llerena, 2003).

Arreola-Muñoz (s/f), establece que “las cuencas tienen un funcionamiento territorial altitudinal ya que implica la relación directa entre las partes altas, cercanas al parteaguas, la zona de tránsito o intermedia y la parte baja de deposición y desembocadura, de tal forma que la parte alta afecta de manera determinante a la parte baja.

Subcuencas.

Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante, pero permanente.

Microcuencas.

Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca; es decir, que una subcuenca está dividida en varias microcuencas.

Quebradas.

Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca.

Cuenca alta.

Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.

Cuenca media.

Donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido. (Sociedad Geográfica de Lima, 2011)

Cuenca baja o zonas transicionales.

Donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales.

Divisoria de aguas.

La divisoria de aguas o **divortium aquarum** es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre cuencas hidrográficas y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos. También se denomina “parteaguas”.

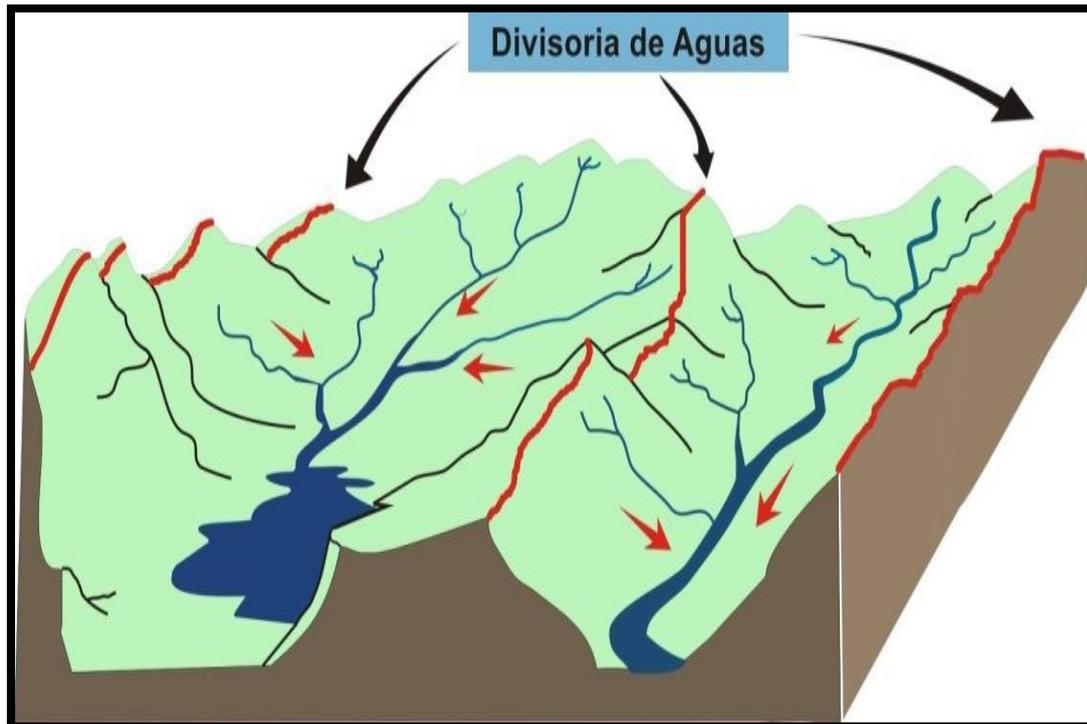


Figura 8. Divisoria de aguas

(Fuente: <http://recuperapatzcuaro.com/lacuena.php#>), adaptado por Casa verde (2011).

Río principal.

El río principal suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud. Tanto el concepto de río principal como el nacimiento del río son arbitrarios, como también lo es la distinción entre el río principal y afluente. Sin embargo, la mayoría de cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura. En el curso de un río se distinguen tres partes (ver Figura 9):

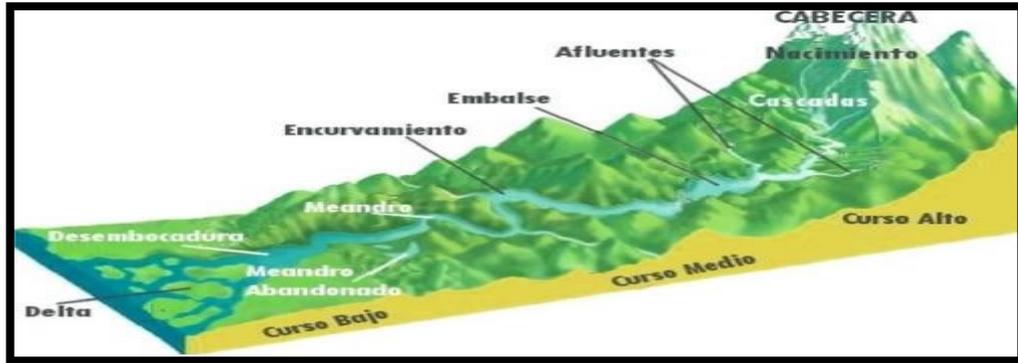


Figura 9. Partes de un río

(Fuente: <http://www.curiosfera.com>)

- **Curso alto o superior**, ubicado en lo más elevado del relieve, en donde la erosión de las aguas del río es vertical. Su resultado: la profundización del cauce;
- **Curso medio**, en donde el río empieza a zigzaguear, ensanchando el valle;
- **Curso bajo o inferior**, situado en las partes más bajas de la cuenca. Allí el caudal del río pierde fuerza y los materiales sólidos que lleva se sedimentan, formando las llanuras aluviales o valles.

Otros términos importantes a distinguir en un río son:

- **Cauce**, o también denominado lecho, es el conducto descubierto o acequia por donde corren las aguas para riegos u otros usos.
- **Margen derecha**, mirando río abajo, la margen que se encuentra a la derecha.
- **Margen izquierda**, mirando río abajo, la margen que se encuentra a la izquierda.
- **Aguas abajo**, con relación a una sección de un curso de agua, sea

principal o afluente; si se sitúa después de la sección considerada, avanzando en el sentido de la corriente.

- *Aguas arriba*, es el contrario de la definición anterior.

Delimitación de una cuenca.

La delimitación de una cuenca se puede hacer a partir de fotografías aéreas, sin embargo, lo más común es utilizando los mapas topográficos (escala 1: 100,000). Consiste en trazar la línea divisoria que se denomina parteaguas y se ubica en las partes más altas dividiendo el curso de la escorrentía hacia una u otra cuenca. (Fuente: Foro Peruano para el Agua)

¿Cómo se traza la línea divisoria de una cuenca?

Una forma práctica y sencilla para trazar la línea divisoria de una cuenca es seguir los siguientes consejos:

1. Se definen la red de drenaje partiendo del cauce principal es decir todas las corrientes.
2. Se ubican los puntos altos que están definidos por las curvas de nivel en el plano (estas curvas son líneas que indican la elevación de los lugares por donde pasan y cuya elevación será igual al valor de la curva).
3. La línea divisoria debe pasar por los puntos altos definidos cortando ortogonalmente las curvas de nivel.
4. En cualquier punto del terreno la línea divisoria debe ser el punto de mayor altitud excepto cerros o puntos altos que se encuentran dentro de la cuenca.
5. La línea divisoria nunca debe cortar un río, quebrada o arroyo.

Una vez establecida la línea divisoria de la cuenca, se puede conocer

mediante métodos sencillos, su área que es de mucha importancia para considerarlo al hacer estimaciones de volúmenes precipitados, el perímetro de la cuenca, la forma de ésta etc. (Fuente: Foro Peruano para el Agua)

Área de la cuenca.

Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Representada con la letra “A” mayúscula, es probablemente la característica geomorfológica más importante.

Perímetro de la cuenca.

Es la longitud del contorno del área de la cuenca. Es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la mayúscula “P”.

Longitud del río principal.

Es la longitud del río principal o cauce principal de la cuenca, donde van a drenar todos los afluentes y quebradas. Representada con la letra “L” mayúscula.

Pendiente del cauce principal de la cuenca.

Es un parámetro de importancia pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca.

Uno de los métodos más representativos para el cálculo es el siguiente, se obtiene dividiendo la diferencia total de la altitud mayor del cauce (H_M -m) y la altitud menor del cauce (H_m -m) entre la longitud horizontal (L -km) del curso de agua entre esos dos puntos. Representada como “S (%)”.

$$S(\%) = \frac{H_M - H_m}{1000 * L} * 100$$

Ecuación 4. Pendiente del cauce principal de la cuenca.

Dónde:

H_M = Altitud mayor en metros

H_m = Altitud menor en metros

L = Longitud del curso de agua en Km

1.3.5. Métodos para calcular el caudal de una cuenca hidrográfica

Método racional.

Estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente C (coef. escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca. Muy usado para cuencas, $A < 10 \text{ Km}^2$. Considerar que la duración de P es igual a T_c . La descarga máxima de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Q = 0,278 CIA$$

Ecuación 5. Método racional para cálculo de caudal de una cuenca.

Dónde:

- Q : Descarga máxima de diseño (m^3/s)
C : Coeficiente de escorrentía
I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)
A : Área de la cuenca (Km^2).

Método racional modificado.

Es el método racional según la formulación propuesta por Témez (1987, 1991) adaptada para las condiciones climáticas de España. Y permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de $770 Km^2$ y con tiempos de concentración (T_c) de entre 0.25 y 24 horas, la fórmula es la siguiente:

$$Q = 0,278 CIAK$$

Ecuación 6. Método racional modificado para cálculo de caudal de una cuenca

Dónde:

- Q : Descarga máxima de diseño (m^3/s)
C : Coeficiente de escorrentía
I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)
A : Área de la cuenca (Km^2).
K : Coeficiente de uniformidad.

Nivel de Socavación de diseño (z).

Para enfrentar la socavación se debe diseñar zapatas de pilares y estribos de una dimensión mayor al nivel de socavación.

$z = 1,5 B$; siendo **B** el ancho de la cimentación prevista de mayor área.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En qué medida el aumento de caudal producido por el fenómeno El niño afectó en la socavación de los estribos y pilares del puente Libertad?

OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general.

Determinar el nivel de socavación producido en los estribos y pilares del puente Libertad de Guadalupe por el aumento de caudal generado por el fenómeno El Niño.

1.5.2. Objetivos específicos.

1. Determinar las características Geomorfológicas de la cuenca tributaria del rio Jequetepeque.
2. Determinar las condiciones Hidrológicas del rio Jequetepeque bajo influencia del fenómeno El Niño y su repercusión en el nivel de socavación de pilares y estribos del puente Libertad mediante el uso del software Hec-Ras.
3. Determinar las características geotécnicas del rio Jequetepeque y su influencia en el nivel de socavación de pilares y estribos del puente Libertad mediante el análisis de suelos de las partículas del rio Jequetepeque.
4. Realizar el cálculo de la socavación general producida en el lecho del rio Jequetepeque mediante el método de LISCHTVAN-LEVEDIEV.
5. Realizar el cálculo de la socavación local producida en estribos y pilares por los métodos de K. F. ARTAMONOV y NEILL respectivamente.

HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis general.

El aumento de caudal producido por el fenómeno El Niño produce un incremento considerable del nivel de socavación en los pilares y estribos del puente Libertad.

1.6.2. Hipótesis específicas.

1. Es posible determinar las características Geomorfológicas de la cuenca tributaria del río Jequetepeque.
2. Las condiciones Hidrológicas del río Jequetepeque bajo influencia del fenómeno El Niño generan un nivel de socavación significativo de pilares y estribos del puente Libertad que compromete su normal funcionamiento.
3. Las características geotécnicas del río Jequetepeque no soportan el caudal de máxima avenida del fenómeno del niño y permiten un nivel de socavación significativo en pilares y estribos del puente Libertad que compromete su normal funcionamiento.
4. Es posible determinar la socavación general producida en el lecho del río Jequetepeque mediante el método de LISCHTVAN-LEVEDIEV.
5. Mediante los métodos de K. F. ARTAMONOV y NEILL se determina el incremento de caudal producido por el fenómeno El Niño el cual genera una socavación local considerable en pilares y estribos que afecta seriamente el funcionamiento del puente Libertad.

LIMITACIONES

1. Una de las mayores limitaciones para la elaboración del presente proyecto de investigación, ha sido obtener información oportuna de parte de las diferentes entidades estatales a las que se les ha solicitado, como la Municipalidad Distrital de Guadalupe, Dirección General de agricultura y riego, Autoridad Nacional del Agua, Ministerio de Transportes y comunicaciones y Gobierno Regional de la Libertad.
2. Los datos proporcionados por los diferentes organismos que manejan información meteorológica no siempre coinciden.
3. Las estaciones pluviométricas instaladas en el departamento de La Libertad no funcionan permanentemente y en la mayoría de los casos no vienen funcionando del todo, por lo que poseen datos incompletos.
4. Para modelar el río con el HEC-RAS, es necesario conocer la granulometría con el objetivo de determinar el diámetro medio (Dm) de partícula y las secciones transversales de río en el tramo de estudio (aguas arriba y aguas abajo) y realizar un adecuado estudio hidrológico, con el fin de determinar adecuados caudales de diseño.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es tipo cuantitativa, porque se basa en el estudio y análisis de la realidad a través de diferentes procedimientos basados en la medición.

2.1.1. Diseño de la investigación.

En el presente trabajo el diseño de investigación viene a ser de tipo investigación de campo porque consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos.

Este trabajo es una investigación de campo, con un enfoque cuantitativo correlacional, debido a que se busca encontrar la relación del caudal nuevo que generará el fenómeno El Niño con el nivel de socavación de los pilares y estribos del puente Libertad.

2.1.2. Población Y Muestra.

2.1.2.1. Población.

El Puente Libertad de Ciudad de Dios, distrito de Guadalupe, provincia de Pacasmayo es el objeto de estudio y dado que el presente trabajo de investigación se trata del cálculo de socavación de estribos del puente mediante la aplicación de los Métodos de K. F. Artamonov Y Neill y el programa *HEC-RAS*, no se ha trabajado con población sino con la estructura.

2.1.2.2. *Muestra.*

Al igual que la población para la recolección de la muestra únicamente se ha requerido dos calicatas del río Jequetepeque para su respectivo estudio de suelos.

2.1.3. Variables.

Variable Independiente - Caudal.

Variable Dependiente - Socavación.

2.1.3.1. *Operacionalización de variables.*

.Tabla 2. *Operacionalización de variables.*

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Caudal	Volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m ³ /s	m ³ /seg.	Nivel de agua Área que ocupa el agua en la sección transversal
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Socavación	Remoción de materiales del lecho de un cauce debido a la acción erosiva del flujo de agua alrededor de una estructura hidráulica	m	Velocidad del flujo Disminución del nivel del lecho del río

2.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y

ANÁLISIS DE DATOS

2.2.1. Unidad de estudio.

Nuestra unidad de estudio será en primer término, el río Jequetepeque, La Cuenca que lo contiene, la zona de la ubicación del puente Jequetepeque, el suelo del cauce de la zona cercana a los estribos y pilares.

Las Zonas de estudio para el presente trabajo de investigación fueron:

Microcuenca del río Jequetepeque, el cual se encuentra ubicada al noreste del continuo urbano de Jequetepeque, iniciando el departamento de Cajamarca.

Su altitud varía desde los 724 hasta los 2474 metros sobre el nivel del mar.

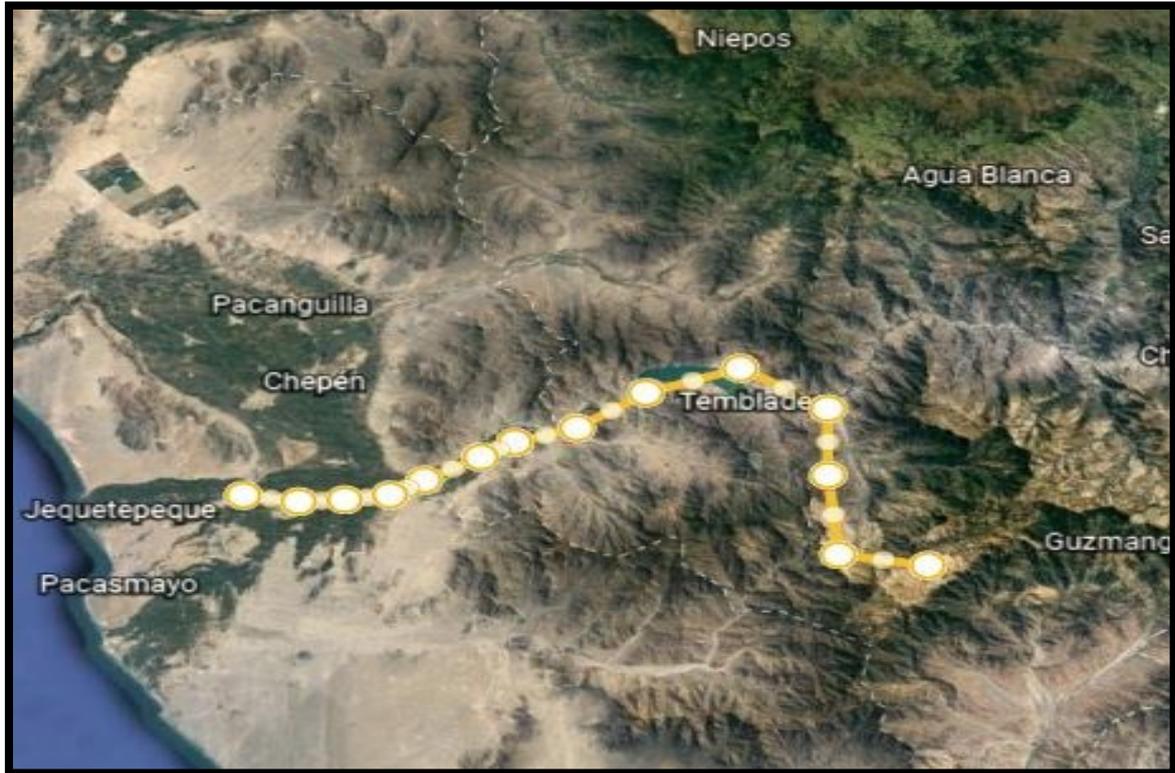


Figura 10. Ubicación del río Jequetepeque y puente Libertad

(Fuente: Google Earth Pro)

2.2.2. Técnicas para recolección y análisis de datos.

Para obtener información de las precipitaciones provenientes de eventos climáticos como la del fenómeno El Niño se solicitó la información a la Autoridad Nacional de Agua (ANA) y además mediante una solicitud al Senamhi, por medio de su portal de acceso a la información pública.

Para conocer la constitución del lecho del río Jequetepeque se realizaron calicatas en puntos cercanos a los pilares y estribos del puente Libertad, de donde se extrajeron muestras de diferentes niveles de profundidad, las cuales se analizaron en el laboratorio para un estudio granulométrico.

Para conocer la geometría del terreno del río Jequetepeque se realizaron nivelaciones con equipos de Topografía (Teodolito, Nivel, Wincha y Mira).

Para conocer la información de los caudales históricos alcanzados por el río Jequetepeque acudimos al proyecto especial Chavimochic, que es la entidad que registra, mantiene y proporciona información oficial hidrológica en la región, así como también al Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER).

2.2.3. Materiales para recolección y procesamiento de datos.

- Equipo GPS GARMIN OREGON 550
- Laptop
- Celular
- Mallas granulométricas

2.3. PROCEDIMIENTO

Para el cálculo del área de la cuenca tributaria se determinaron los límites y el área de la cuenca vertiente mediante el uso del programa Google Earth pro. Este método ha sido escogido por ser el más adecuado debido a las grandes extensiones a medir. Si bien es cierto que no ofrece una exactitud en sus resultados, para nuestro caso es aceptable dicha información, ya que el

margen de error no es significativo como para influir en nuestros cálculos y resultados.

Para medir la longitud del cauce principal de la cuenca tributaria se realizó un recorrido a pie desde el puente Libertad hasta la cuenca alta, en donde se ubica el inicio del cauce principal. La longitud se medirá de forma manual con la ayuda de un GPS y un dispositivo electrónico para medición de distancias.

Para conocer el caudal máximo que aporta la cuenca tributaria analizamos los datos obtenidos de precipitaciones máximas provenientes de la base de datos de estaciones pluviométricas, además de la información obtenida de la longitud del cauce principal medida de forma manual.

Para determinar la constitución del lecho del río Jequetepeque se analizó en el laboratorio las muestras extraídas de las calicatas, sometiéndolas a un análisis mecánico mediante el uso de tamices de abertura y numeración, horno de secado de temperatura regulable, balanzas electrónicas de precisión, bandejas metálicas y recipientes, bajo los parámetros de la Norma N.T.P. 399.128: ASTM D-422 para análisis granulométrico. Los estudios de Socavación en general requieren necesariamente conocer la constitución de suelo del lecho, donde se asienta la fundación de estribos y pilares de un puente.

Para poder realizar la modelación del caudal resultante en el río Jequetepeque, producto del fenómeno El Niño se procesó en el programa HEC-RAS v5.0.3 los datos obtenidos de la geometría del terreno, junto con los

caudales y el tipo de suelo. El HEC-RAS v5.0.3 es un programa que está diseñado para realizar cálculos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales para una red completa de canales naturales y construidos, fue diseñado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE) (CEIWR-HEC), cuyo uso es muy común en América y España como una herramienta complementaria en la ingeniería Hidráulica.

Para elaborar los cálculos de la socavación en pilares y estribos del puente Libertad se procesó la información obtenida del Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER), junto con los datos obtenidos del cálculo del caudal máximo de la cuenca tributaria y los resultados del estudio geológico realizado mediante las dos calicatas en el lecho del río. La validez de los datos procesados se justifica por ser datos oficiales obtenidos de organismos del estado como el COER, ANA y SENAMHI.

Para el cálculo de nivel de socavación general en el cauce del río se utilizó el método de Lischtvan- Levediev, para el cálculo de **socavación local en estribos y pilares** se utilizaron los métodos de ARTAMONO y NEILL respectivamente.

2.4. ASPECTOS ETICOS

Como estudio de la moral, la ética es, ante todo, filosofía práctica cuya tarea no es precisamente resolver conflictos, pero sí plantearlos. Ni la teoría de la justicia ni la ética comunicativa indican un camino seguro hacia la sociedad bien ordenada o la comunidad ideal del diálogo que postulan. Y es precisamente ese largo trecho que queda por recorrer y en el que estamos el que demanda una urgente y constante reflexión ética (Camps, 1992)

Valor social o científico.- la presente investigación soluciona el problema social y se obtienen datos de cálculos de caudal de máxima avenida del río Jequetepeque y las implicancias sobre la socavación en puentes que son de uso de la población al ser uno de los medios viales de comunicación entre poblaciones de la zona centro y sur con pobladores norteños. Mejorando las condiciones de vida y el bienestar de las personas.

Validez científica. - La presente investigación está sustentada con los estudios hidrológicos, hidráulicos y geotécnicos, además, de usar técnicas y métodos para la recolección y análisis de datos (Metodos de Lischtvan-Levediev K. F. Artamonov Y Neill).

Asimismo, se ha incluido las bases teóricas sobre la socavación y sus métodos de análisis y estudios hidrológicos.

Evaluación Independiente. - La presente investigación se realiza como requisito de la Universidad Privada del Norte para la culminación de estudios de pregrado en Ingeniería Civil, así como la revisión exhaustiva del

profesor y asesor del curso. De esta forma también cumplimos con la responsabilidad social.

Particularmente en el caso de la investigación cualitativa, es necesario incluir ciudadanos con capacidad y disposición de reflexión y comunicación que comprendan los valores sociales, las prioridades y vulnerabilidad, y las inquietudes de los sujetos potenciales del estudio. En otras palabras, la pluralidad es otra condición deseable en los grupos evaluadores. Así como esta condición es atendida en la investigación cualitativa, debe ser igualmente incorporada en el método que se utiliza para construir los juicios éticos (Emanuel, 1999).

CAPITULO III. RESULTADOS

Para efectos de cálculo de socavación necesitamos saber:

3.1. CALCULO DEL CAUDAL MÁXIMO DE LA CUENCA DEL RIO

JEQUETEPEQUE

Utilizamos el Método racional modificado de Témez; para calcular el caudal máximo de diseño, haciendo uso de este método nos permitirá hallar el caudal para cuencas de áreas mayores a 10 km², cuya fórmula es la siguiente:

$$Q = 0,278 CIAK$$

Dónde:

- Q: Descarga máxima de diseño (m³/s)
- C: Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce
- I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)
- A: Área de la cuenca (Km²)
- K: Coeficiente de Uniformidad

3.1.1. Cálculo del área de la cuenca (A).

Mediante un análisis del Modelo Digital del Terreno, determinamos los límites y el área de la cuenca vertiente mediante el uso del programa Google Earth Pro. Este método ha sido escogido por ser el más adecuado debido a las grandes extensiones a medir. Si bien es cierto que no ofrece una exactitud en sus resultados, para nuestro caso es aceptable dicha información, ya que el margen de error no es tan significativo como para influir en nuestros cálculos y resultados.

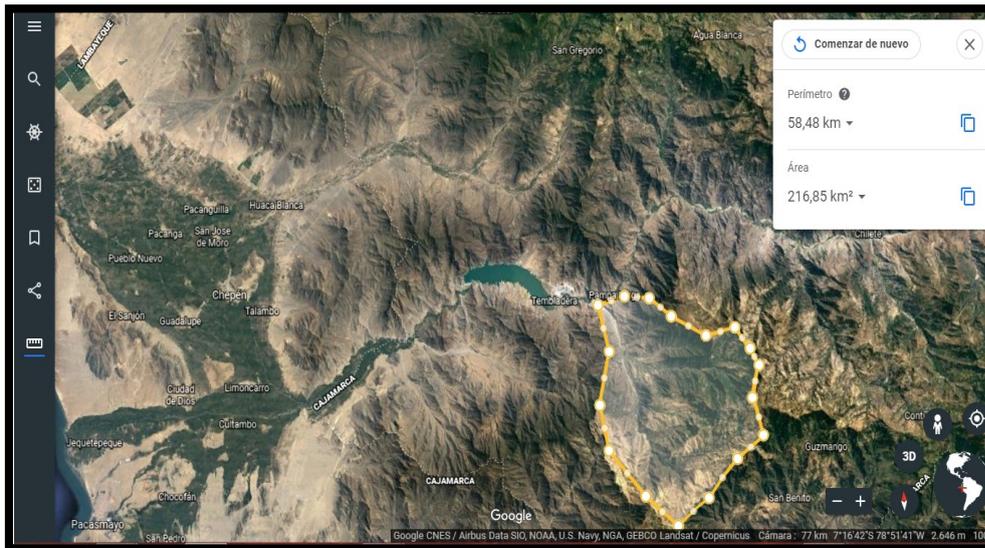


Figura 11. Delimitación del área de la cuenca con google Earth

(Fuente: elaboración propia)

Área: 216.85 Km²

- Para medir la longitud del cauce principal se realizó una expedición hasta la cuenca alta, en donde se ubicó el inicio del cauce principal en las coordenadas UTM (715486 mE, 9183679.2m S) y a una altura de 2474 msnm. La longitud total medida fue de 14704 m.



Figura 12. Inicio del cauce principal de la cuenca del rio Jequetepeque

(Fuente: Elaboración propia)

3.1.2. Cálculo del tiempo de concentración (T_c).

El tiempo de concentración T_C de una determinada cuenca hidrográfica es el tiempo necesario para que el caudal saliente se estabilice, cuando ocurra una precipitación con intensidad constante sobre toda la cuenca. Su fórmula es:

$$T_c = 0.3(L/S^{0.25})^{0.76}$$

Para calcular el Tiempo de Concentración de la Cuenca en horas, determinamos, primero:

- Longitud del cauce mayor o principal (L)

$$L = 14704 \text{ m.}$$

- Pendiente Media del cauce mayor o principal (S)

Si la Cota superior es la 2474 m y la inferior 724 m, tenemos: $S = H/L$

Reemplazando valores para la pendiente media:

$$S = (2474 - 724) / 14704$$

$$S = 0.12 \text{ m/m}$$

Teniendo la Longitud del cauce principal y la pendiente reemplazamos en la fórmula de TC:

$$TC = 0.3 (14.70 / 0.12^{0.25})^{0.76}$$

$$TC = 3.46 \text{ h}$$

3.1.3. Cálculo del coeficiente de uniformidad (K).

Debemos corregir el valor del Tiempo de Concentración. Aplicamos para ello, el Coeficiente de Uniformidad.

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$$

Reemplazando valores tenemos:

$$K = 1 + (3.46^{1.25} + 14)$$

$$K = 1.25$$

Para un tiempo de concentración (TC) de 3.46 horas, hemos obtenido un valor K de 1.25.

3.1.4. Cálculo del coeficiente de simultaneidad o factor reductor (K_A).

Hemos obtenido una **precipitación máxima diaria (Pd) de 28.5 mm** que nos fue facilitada por la Estación meteorológica de Talla - Guadalupe (que es la más cercana); esta precipitación se dio el día 14/03/2017 como observamos en la Tabla 3; siendo la precipitación máxima diaria que se dio en los últimos 20 años.

Una vez obtenido el valor de la precipitación máxima, le aplicaremos el **Factor Reductor (K_A)** de la Lluvia Diaria. Tenemos:

$$\text{SI } A < 1 \rightarrow K_A = 1$$

$$\text{SI } 1 \leq A < 3.000 \rightarrow K_A = 1 - \left(\log_{10} \frac{A}{15} \right)$$

Si A: Área de la cuenca (Km²) Reemplazando valores tenemos:

$$K_A = (\log_{10} (216.85 / 15))$$

$$K_A = 1.16$$

Tabla 3. Precipitaciones máximas del mes de marzo de 2017 de la estación meteorológica de Talla

Senamhi - Últimos Datos - Google Chrome

-estaciones/_dat_esta_tipo.php?estaciones=000325

Estación : TALLA (GUADALUPE) , Tipo Convencional - Meteorológica												
Departamento : LA LIBERTAD			Provincia : PACASMAYO			Distrito : GUADALUPE			Ir : 2017-03 ▼			
Latitud : 7° 16' 48.33"			Longitud : 79° 25' 8.61"			Altitud : 117						
Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Temperatura Bulbo Seco (°c)			Temperatura Bulbo Humedo (°c)			Precipitación (mm)		Dirección del Viento 13h	Velocidad del Viento 13h (m/s)
			07	13	19	07	13	19	07	19		
01-Mar-2017	33	24	24.4	32	26.6	22.8	25.4	22.8	0	0	SW	6
02-Mar-2017	33.6	23.6	23.8	32.2	27	22.4	25.2	23.2	0	0	SW	6
03-Mar-2017	32.8	23.8	24.2	31.6	26.6	23	24	23	0	0	SW	6
04-Mar-2017	30.4	24	24.8	29.6	24	23.8	25.2	22.2	0	6.4	SW	8
05-Mar-2017	31.8	24.2	24.6	30.8	24.6	24	25	22.6	.6	.8	SW	6
06-Mar-2017	32.2	24	24.8	31.6	25	23.6	25.6	22.8	.2	5.6	SW	4
07-Mar-2017	32.4	22.4	23.8	31.4	26.2	22.4	26	23.4	.9	0	NW	4
08-Mar-2017	31	24.4	24.8	29	26.6	24	24.4	23.6	0	0	SW	6
09-Mar-2017	30	24	24.2	29.2	24	23.6	25.2	22.4	1.9	5	W	4
10-Mar-2017	31	23.4	24.2	29.8	26.4	23.2	25	24.8	4.9	0	SW	14
11-Mar-2017	31.6	24.2	24.6	29	26.2	23.8	24.4	24	0	0	SW	8
12-Mar-2017	31.8	24	25	29.8	26.4	23.8	24.2	24.8	.3	0	W	2
13-Mar-2017	32.8	24.2	24.6	31.8	25	23.8	26.2	23.6	3.8	9.1	W	4
14-Mar-2017	30.8	24	24.4	30	24.6	23.6	24.8	22	1	28.5	NW	6
15-Mar-2017	30.8	23.2	24	30	23.8	23.8	24.2	22.2	4	18.2	C	4
16-Mar-2017	31.6	23.8	24.2	30.8	26.4	23.4	26.2	23.6	.3	0	W	2
17-Mar-2017	32	23.4	23.8	31	27.6	23.2	26.6	24.2	0	0	W	2
18-Mar-2017	32	24	25	31.6	25.6	24	26.4	23.6	0	4.9	SW	8
19-Mar-2017	31	24	24.6	29.8	25	23.8	26.4	23.2	13.9	5.8	W	2
20-Mar-2017	30.6	24.8	25	29	25.6	24.4	26	23	0	1	SW	8
21-Mar-2017	31.2	24.4	24.8	30	26	24.2	25.4	22.8	.5	0	N	4
22-Mar-2017	31.4	24.6	25	30.6	24.8	24.4	25	22	0	13.5	W	2
23-Mar-2017	32.4	23.4	23.6	30.8	26	23.2	26	23.2	10.6	1.9	W	2
24-Mar-2017	29.2	23.8	24	28.6	25	23.6	24.8	22.8	0	0	SW	6
25-Mar-2017	31	24.2	24.6	30.6	25.4	23.8	25.6	23	0	0	W	2
26-Mar-2017	30.8	24	24.6	29.8	26	24	24.6	23.2	.3	0	SW	4
27-Mar-2017	31.4	24.2	24.8	30.4	26	24	25.4	24	0	0	SW	6
28-Mar-2017	31.6	24.4	25	30.2	25.6	24	25	23.8	0	0	SW	6
29-Mar-2017	31.2	23.2	23.8	29.6	25.2	23	24.6	23.4	3.4	0	W	2
30-Mar-2017	30	22.8	23	27.4	24.8	21.8	24.6	24.2	.6	1.2	C	4
31-Mar-2017	29.2	23	23.6	28.6	24.6	22.2	24	24	0	.6	W	2

* Fuente : SENAMHI - Dirección de Redes de Observación y Datos
* Información sin Control de Calidad
* El uso de esta información es bajo su entera Responsabilidad

(Fuente: Senhami).

3.1.5. Cálculo de la precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P).

Por tanto, la Precipitación Máxima Diaria final, se reduce hasta obtener el valor de:

$$P = Pd \cdot KA$$

Dónde:

Pd: precipitación máxima diaria (mm) KA: factor reductor

Reemplazando valores tenemos:

$$P = 28.5 * 1.16 = 33.06$$

3.1.6. Cálculo de la intensidad de precipitación (I).

Es la razón de incremento de la altura que alcanza la lluvia respecto al tiempo. Se clasifica en ligera, moderada y fuerte, como observamos en la

siguiente tabla facilitada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA):

Tabla 4. *Clasificación de la intensidad de precipitación*

Intensidad	mm/h	Criterios
Ligera	2.5 o menos	Las gotas son fácilmente identificables, unas de otras, las superficies expuestas secas tardan más de dos minutos en mojarse completamente.
Moderada	2.5-7.5	No se pueden identificar gotas individuales, los charcos se forman rápidamente. Las salpicaduras de la precipitación se observan hasta cierta altura del suelo o de otras superficies planas.
Fuerte	> 7.5	La visibilidad es bastante restringida y las salpicaduras que se producen sobre la superficie se levantan varias pulgadas.

(Fuente: ANA)

Cuya fórmula se representa por:

$$I = \left(\frac{P}{24}\right) \cdot (11)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Reemplazando valores tenemos:

$$I = \left(\frac{33.06}{24}\right) (11)^{\frac{((28^{0.1}) - (3.46^{0.1}))}{(28^{0.1} - 1)}}$$

$$I = \left(\frac{33.06}{24}\right) (11)^{\frac{((28^{0.1}) - (3.46^{0.1}))}{(28^{0.1} - 1)}}$$

$$\mathbf{I=6.80 \text{ mm/h}}$$

3.1.7. Coeficiente de escorrentía (C).

Es la relación entre la parte de la precipitación que circula superficialmente y la precipitación total, entendiendo que la parte superficial es menor que la precipitación total al descontar la evaporación, evapotranspiración, almacenamiento, etc.; cuya fórmula se representa por:

$$C = \frac{(P_d - P_o) \cdot (P_d + 23 \cdot P_o)}{(P_d + 11 \cdot P_o)^2}$$

El Número de curva (CN) se obtiene de acuerdo a la ubicación geográfica de la cuenca y a las condiciones ambientales utilizando la aplicación **GeoHidro** facilitada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Entonces: tomamos el valor promedio de CN = **93**

$$(5000/93)-50=3.76$$

Reemplazando valores tenemos: $P_o = 3.76$

$$C=(28.5-3.76)(28.5+23*3.76)/(28.5+11*3.76)^2$$

$$C=0.58$$

Por lo tanto, el caudal máximo de diseño de la cuenca del río Jequetepeque es:

$$Q = 0.278 * CIAK$$

$$Q = 0.278 * (0.58 * 6.80 * 216.86 * 1.25)$$

$$Q = 43.70 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hidrograma Sintético

Tabla 5. Datos de entrada para cálculo de hidrograma sintético

Datos de entrada			Cálculos		
Longitud cauce	15	km	Pendiente	0.11901523	mm
Cota máxima	2474	m	T concentración	239.28	minutos
Cota mínima	724	m	T concentración	3.99	horas
Superficie	216.85	km ²	Tiempo punta	34.68	horas
Precipitación	33.6	mm	Tiempo base	92.59	horas
Duración P neta	64.57	horas	Caudal de la punta	43.70	m ³ /seg.

Fuente (elaboración propia)

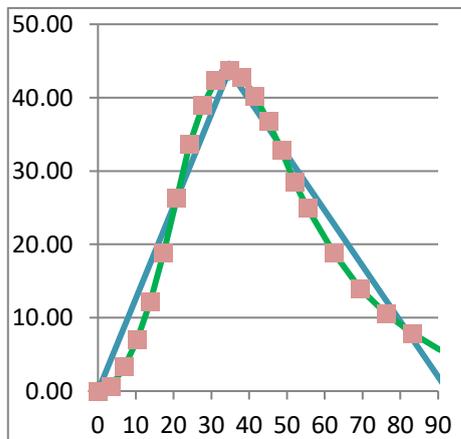


Figura 13. Hidrograma sintético de la cuenca del río Jequetepeque

(Fuente: Elaboración propia)

3.2. CÁLCULO DEL CAUDAL MÁXIMO

Realizamos las mediciones in situ del tirante.

Para realizar el cálculo, luego de haber recolectado los datos de campo, se utilizó el programa HCANALES porque se considera la forma del río como la de un canal. La misma que posee un suelo de tierra natural.

Ancho de solera: 200m

Pendiente: $(67-64)/1000=0.003\text{m/m}$

Tirante medido=2.3m



Lugar:	CIUDAD DE DIOS	Proyecto:	MEDICION DE CAUDAL
Tramo:	PUENTE LIBERTAD	Revestimiento:	TIERRA

Datos:		
Tirante (y):	2.3 m	
Ancho de solera (b):	200 m	
Talud (Z):	0	
Pendiente (S):	0.003 m/m	

Resultados:			
Caudal (Q):	1235.4312 m ³ /s	Velocidad (v):	2.6857 m/s
Area hidráulica (A):	460.0000 m ²	Perímetro (p):	204.6000 m
Radio hidráulico (R):	2.2483 m	Espejo de agua (T):	200.0000 m
Número de Froude (F):	0.5654	Energía específica (E):	2.6676 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico	Cuidado velocidad erosiva	

Calcular	Limpiar Pantalla	Imprimir	Menú Principal	Calculadora
----------	------------------	----------	----------------	-------------

Ingresar el tipo de material del canal

11:00 a.m. 14/05/2019

Figura 14. Calculo del Caudal máximo en HCANALES

(Fuente: Elaboración propia)

3.3. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS DEL RIO

JEQUETEPEQUE

La metodología utilizada para conocer las características del suelo del cauce del río Jequetepeque, ha sido por exploración, practicado a través de 2 calicatas a cielo abierto. Las calicatas tienen una profundidad de 2.3 m. La ubicación de las calicatas se ha determinado de tal manera que sea representativa dentro de la superficie estudiada. Se tomaron 3 muestras representativas del suelo en cada calicata, la primera a 0.30 metros, la segunda a 1.2 metros y la tercera a 2.3 metros de profundidad. Las muestras obtenidas fueron llevadas a laboratorio para un análisis granulométrico.

Luego de la toma de muestras de suelo se procedió a llevar las 6 muestras al laboratorio para realizar el análisis de granulometría. La Norma empleada para el análisis granulométrico es la: N.T.P. 399.128: ASTM D-422.

Para luego, con los resultados obtenidos, poder elaborar las tablas con las cuales se obtuvo las curvas granulométricas de cada muestra, el tipo de material al que corresponde cada estrato, para la clasificación del suelo y el diámetro medio. Como se muestra en las siguientes tablas y Gráficos:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO CALICATA N° 1

 Peso de la muestra: **9.194 Kg**

Al: 100 %

(M1) Peso muestra N° 1 (a 0.30 m):

 Tabla 6. *Análisis de granulometría calicata N° 1 a 0.3 m*

TAMIZ (N°)	Apertura Tamiz(mm)	Peso (g)	Peso acumulado (g)	Retenido %	Reten. Acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)
3"	76.200	789	789	8.58	8.58	91.42
2 1/2"	63.500	507	1296	5.51	14.10	85.90
2"	50.800	488	1784	5.31	19.40	80.60
1 1/2"	38.100	496	2280	5.39	24.80	75.20
1"	25.400	486	2766	5.29	30.08	69.92
3/4"	19.050	480	3246	5.22	35.31	64.69
1/2"	12.700	475	3721	5.17	40.47	59.53
3/8"	9.525	469	4190	5.10	45.57	54.43
1/4"	6.350	464	4654	5.05	50.62	49.38
N° 4	4.760	458	5112	4.98	55.60	44.40
N° 6	3.360	453	5565	4.93	60.53	39.47
N° 8	2.380	447	6012	4.86	65.39	34.61
N° 10	2.000	442	6454	4.81	70.20	29.80
N°16	1.190	436	6890	4.74	74.94	25.06
N° 20	0.840	431	7321	4.69	79.63	20.37
N° 30	0.590	425	7746	4.62	84.25	15.75
N° 40	0.426	420	8166	4.57	88.82	11.18
N° 50	0.297	284	8450	3.09	91.91	8.09
N° 80	0.177	264	8714	2.87	94.78	5.22
N° 100	0.149	244	8958	2.65	97.43	2.57
N° 200	0.074	224	9182	2.44	99.87	0.13
- N° 200	-	12	9194	0.13	100.00	0.00

(Fuente: Elaboración propia)

La muestra presenta mayor porcentaje de partículas que no pasan la malla N° 4, esto resulta ser bueno para la edificación de puentes con muros y estribos.

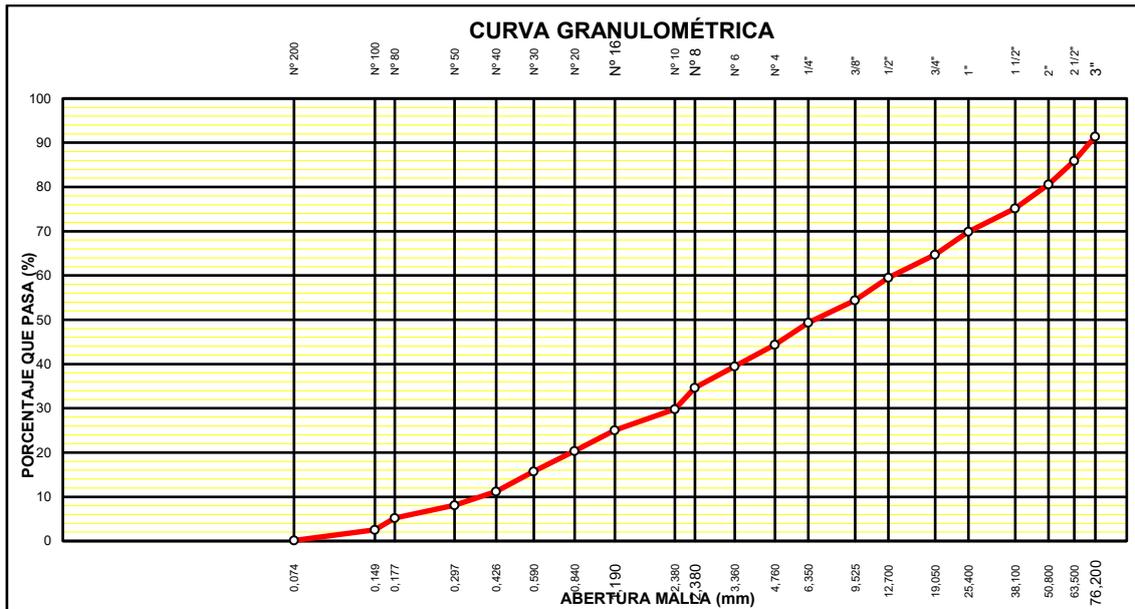


Figura 15. Curva Granulométrica de muestra a 0.3 m de la calicata N° 1

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 7. Clasificación y diámetro medio de la muestra a 0.3 m de la calicata N° 1

	Apertura(mm)*%retenido
Porcentaje de finos	653.92
0.13	350.17
Porcentaje de arena	269.64
49.25	205.54
Porcentaje de grava	134.27
50.62	99.46
CLASIFICACION GP	65.61
(GRAVA POBREMENTE	48.59
GRADUADA CON	32.05
ARENA)	23.71
	16.56
	11.57
	9.61
	5.64
	3.94
	2.73
	1.95
	0.92
	0.51
	0.40
	0.18
dm(mm)=	19.40

(Fuente: Elaboración propia)

La muestra presenta mayor porcentaje de partículas que no pasan la malla N° 4, esto resulta ser bueno para la edificación de puentes con muros y estribos, además se obtuvo como diámetro medio partículas de 19.40mm.

Peso de la muestra: **9.076 Kg**

Al: 100 %

(M2) Peso muestra N°2 (a 1.2 m):

Tabla 8. *Análisis de granulometría calicata N° 1 a 1.2 m*

TAMIZ (N°)	Apertura Tamiz(mm)	Peso (g)	Peso acumulado (g)	Retenido %	Reten. acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)
3"	76.200	2789	2789	30.73	30.73	69.27
2 1/2"	63.500	2376	5165	26.18	56.91	43.09
2"	50.800	1768	6933	19.48	76.39	23.61
1 1/2"	38.100	539	7472	5.94	82.33	17.67
1"	25.400	407	7879	4.48	86.81	13.19
3/4"	19.050	249	8128	2.74	89.55	10.45
1/2"	12.700	168	8296	1.85	91.41	8.59
3/8"	9.525	146	8442	1.61	93.01	6.99
1/4"	6.350	112	8554	1.23	94.25	5.75
N° 4	4.760	78	8632	0.86	95.11	4.89
N° 6	3.360	61	8693	0.67	95.78	4.22
N° 8	2.380	46	8739	0.51	96.29	3.71
N° 10	2.000	27	8766	0.30	96.58	3.42
N° 16	1.190	19	8785	0.21	96.79	3.21
N° 20	0.840	20	8805	0.22	97.01	2.99
N° 30	0.590	97	8902	1.07	98.08	1.92
N° 40	0.426	56	8958	0.62	98.70	1.30
N° 50	0.297	43	9001	0.47	99.17	0.83
N° 80	0.177	29	9030	0.32	99.49	0.51
N° 100	0.149	21	9051	0.23	99.72	0.28
N° 200	0.074	16	9067	0.18	99.90	0.10
- N° 200	-	9	9076	0.10	100.00	0.00

(Fuente: *Elaboración propia*)

La muestra presenta mayor porcentaje de partículas que no pasan la malla N° 4, esto resulta ser muy bueno para la edificación de puentes con muros y estribos.

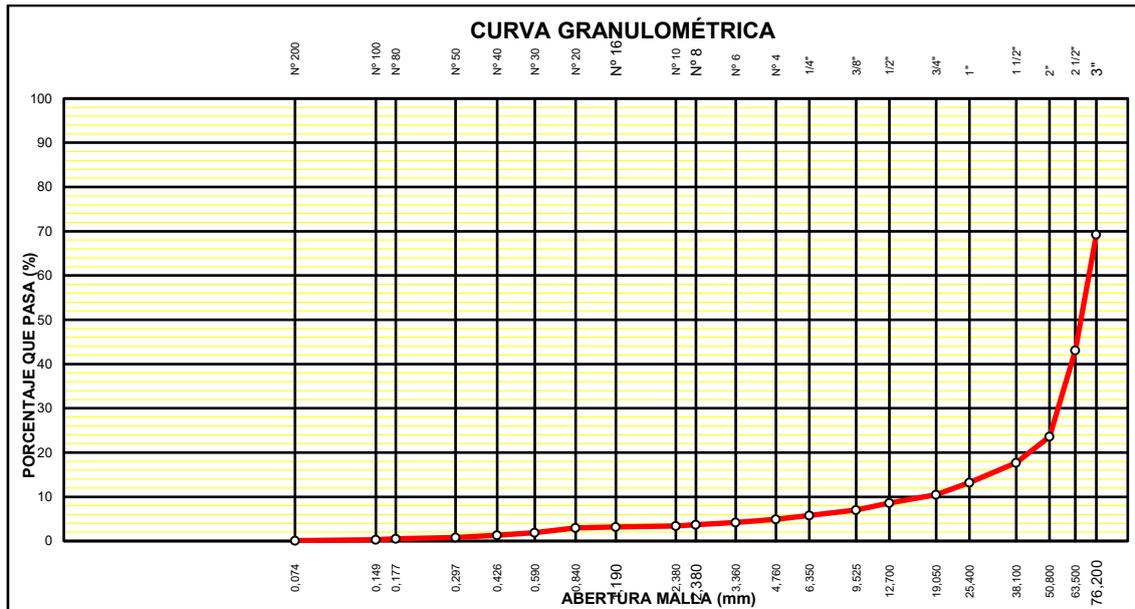


Figura 16. Curva Granulométrica de muestra a 1.2 m de la calicata N° 1

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 9. Clasificación y diámetro medio de la muestra a 1.2 m de la calicata N° 1

	apertura(mm)*%retenido
Porcentaje de finos	2341.58
0.10	1662.36
Porcentaje de arena	989.58
5.65	226.27
Porcentaje de grava	113.90
94.25	52.26
CLASIFICACION	23.51
GP (GRAVA	15.32
POBREMENTE	7.84
GRADUADA	4.09
CON ARENA)	2.26
	1.21
	0.59
	0.25
	0.19
	0.63
	0.26
	0.14
	0.06
	0.03
	0.01
dm(mm)=	54.42

(Fuente :Elaboración propia)

La muestra presenta mayor porcentaje de partículas que no pasan la malla N° 4, esto resulta ser muy bueno para la edificación de puentes con muros y estribos, además, se obtuvo como diámetro medio partículas de 54.42 mm.

Peso de la muestra: **9.995 Kg**
al: 100 %
(M3) Peso muestra N° 3 (a 2.3 m):

Tabla 10. *Análisis de granulometría calicata N° 1 a 2.3 m*

TAMIZ (N°)	Apertura Tamiz(mm)	Peso (g)	Peso acumulado (g)	Retenido %	Reten. acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)
3"	76.200	1375	1375	13.76	13.76	86.24
2 1/2"	63.500	1298	2673	12.99	26.74	73.26
2"	50.800	1167	3840	11.68	38.42	61.58
1 1/2"	38.100	1063	4903	10.64	49.05	50.95
1"	25.400	981	5884	9.81	58.87	41.13
3/4"	19.050	835	6719	8.35	67.22	32.78
1/2"	12.700	602	7321	6.02	73.25	26.75
3/8"	9.525	510	7831	5.10	78.35	21.65
1/4"	6.350	467	8298	4.67	83.02	16.98
N° 4	4.760	406	8704	4.06	87.08	12.92
N° 6	3.360	282	8986	2.82	89.90	10.10
N° 8	2.380	209	9195	2.09	92.00	8.00
N° 10	2.000	201	9396	2.01	94.01	5.99
N°16	1.190	183	9579	1.83	95.84	4.16
N° 20	0.840	116	9695	1.16	97.00	3.00
N° 30	0.590	94	9789	0.94	97.94	2.06
N° 40	0.426	63	9852	0.63	98.57	1.43
N° 50	0.297	46	9898	0.46	99.03	0.97
N° 80	0.177	39	9937	0.39	99.42	0.58
N° 100	0.149	24	9961	0.24	99.66	0.34
N° 200	0.074	21	9982	0.21	99.87	0.13
- N° 200	-	13	9995	0.13	100.00	0.00

(Fuente: Elaboración propia)

La muestra presenta mayor porcentaje de partículas que no pasan la malla N° 4, esto resulta ser muy bueno para la edificación de puentes con muros y estribos.

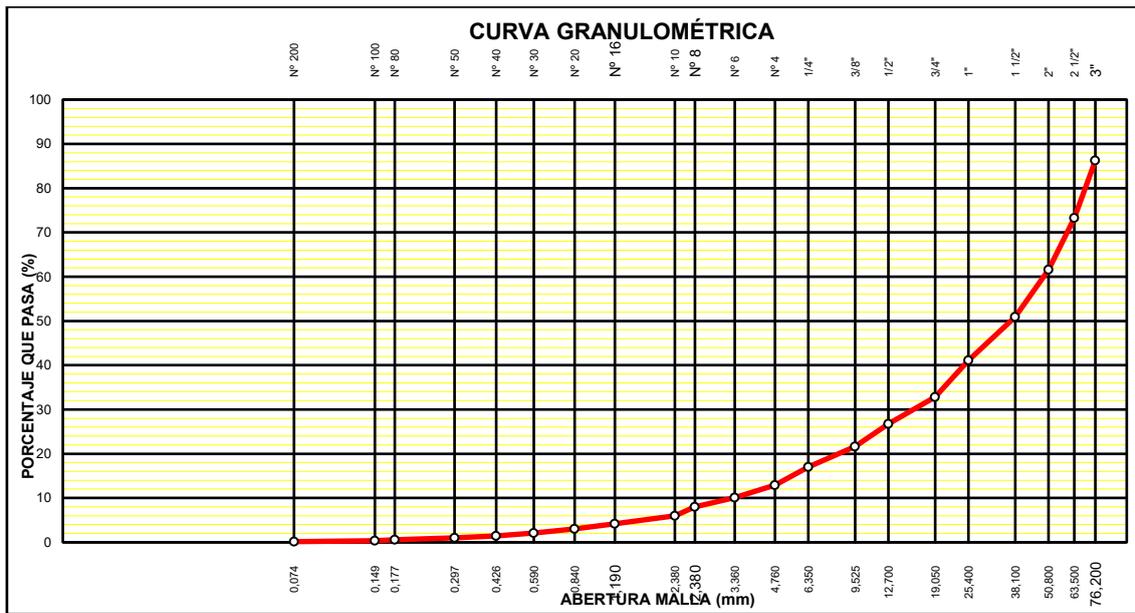


Figura 17. Curva Granulométrica de muestra a 2.3 m de la calicata N° 1

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 11. Clasificación y diámetro medio de la muestra a 2.3 m de la calicata N° 1

	apertura(mm)*%retenido
Porcentaje de finos	1048.27
0.13	824.64
Porcentaje de arena	593.13
16.85	405.21
Porcentaje de grava	249.30
83.02	159.15
GP (GRAVA	76.49
POBREMENTE	48.60
GRADUADA	29.67
CON ARENA)	19.34
	9.48
	4.98
	4.02
	2.18
	0.97
	0.55
	0.27
	0.14
	0.07
	0.04
	0.02
dm(mm)=	34.76

(Fuente: Elaboración propia).

La muestra presenta mayor porcentaje de partículas que no pasan la malla N° 4, esto resulta ser muy bueno para la edificación de puentes con muros y estribos, además, se obtuvo como diámetro medio partículas de 34.76 mm.

ÁNÁLISIS GRANULOMÉTRICO CALICATA N° 2

Peso de la muestra: **9.307 Kg**

al: 100 %

(M4) Peso muestra N° 1 (a 0.30 m):

Tabla 12. *Análisis de granulometría calicata N° 2 a 0.3 m*

TAMIZ (N°)	Apertura Tamiz(mm)	Peso (g)	Peso acumulado (g)	Retenido %	Reten. acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)
3"	76.200	0	0	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	867	867	9.32	9.32	90.68
2"	50.800	652	1519	7.01	16.32	83.68
1 1/2"	38.100	567	2086	6.09	22.41	77.59
1"	25.400	579	2665	6.22	28.63	71.37
3/4"	19.050	535	3200	5.75	34.38	65.62
1/2"	12.700	456	3656	4.90	39.28	60.72
3/8"	9.525	531	4187	5.71	44.99	55.01
1/4"	6.350	489	4676	5.25	50.24	49.76
N° 4	4.760	478	5154	5.14	55.38	44.62
N° 6	3.360	440	5594	4.73	60.10	39.90
N° 8	2.380	441	6035	4.74	64.84	35.16
N° 10	2.000	457	6492	4.91	69.75	30.25
N° 16	1.190	403	6895	4.33	74.08	25.92
N° 20	0.840	388	7282	4.17	78.24	21.76
N° 30	0.590	373	7655	4.00	82.25	17.75
N° 40	0.426	358	8013	3.84	86.09	13.91
N° 50	0.297	343	8355	3.68	89.77	10.23
N° 80	0.177	328	8683	3.52	93.29	6.71
N° 100	0.149	313	8996	3.36	96.65	3.35
N° 200	0.074	298	9293	3.20	99.85	0.15
- N° 200	-	14	9307	0.15	100.00	0.00

(Fuente: *Elaboración propia*)

La muestra presenta mayor porcentaje de partículas que no pasan la malla N° 4, esto resulta ser muy bueno para la edificación de puentes con muros y estribos.

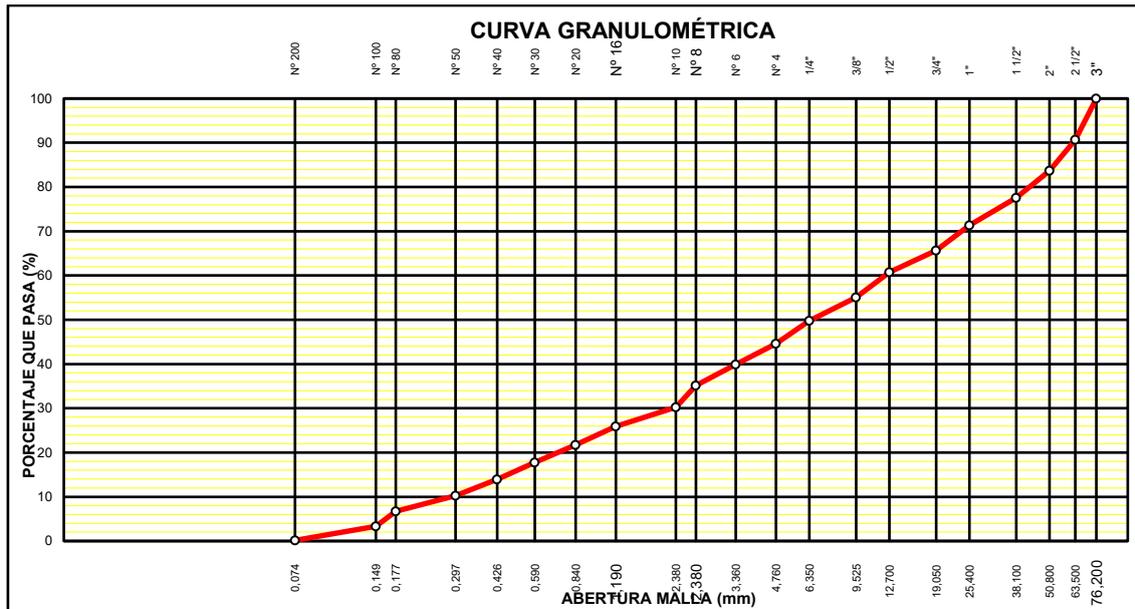


Figura 18. Curva Granulométrica de muestra a 0.3 m de la calicata N° 2

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 13. Clasificación y diámetro medio de la muestra a 0.3 m de la calicata N° 2

	apertura(mm)*%retenido
Porcentaje de finos	0.00
0.15	591.52
Porcentaje de arena	355.87
49.61	232.10
Porcentaje de grava	158.01
50.24	109.50
GP (GRAVA	62.22
POBREMENTE	54.34
GRADUADA	33.36
CON ARENA)	24.45
	15.88
	11.28
	9.82
	5.15
	3.50
	2.36
	1.64
	1.09
	0.62
	0.50
	0.24
dm(mm)=	16.7

(Fuente: Elaboración propia).

La muestra presenta mayor porcentaje de partículas que no pasan la malla N° 4, esto resulta ser muy bueno para la edificación de puentes con muros y estribos, además, se obtuvo como diámetro medio partículas de 16.7 mm.

Peso de la muestra: **9.973 Kg**

al: 100 %

(M5) Peso muestra N° 2 (a 1.2 m):

Tabla 14. *Análisis de granulometría calicata N° 2 a 1.2 m*

TAMIZ (N°)	Apertura Tamiz(mm)	Peso (g)	Peso acumulado (g)	Retenido %	Reten. acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)
3"	76.200	1846	1846	18.51	18.51	81.49
2 1/2"	63.500	1639	3485	16.43	34.94	65.06
2"	50.800	1563	5048	15.67	50.62	49.38
1 1/2"	38.100	1035	6083	10.38	60.99	39.01
1"	25.400	529	6612	5.30	66.30	33.70
3/4"	19.050	451	7063	4.52	70.82	29.18
1/2"	12.700	402	7465	4.03	74.85	25.15
3/8"	9.525	361	7826	3.62	78.47	21.53
1/4"	6.350	319	8145	3.20	81.67	18.33
N° 4	4.760	259	8404	2.60	84.27	15.73
N° 6	3.360	246	8650	2.47	86.73	13.27
N° 8	2.380	238	8888	2.39	89.12	10.88
N° 10	2.000	206	9094	2.07	91.19	8.81
N°16	1.190	181	9275	1.81	93.00	7.00
N° 20	0.840	175	9450	1.75	94.76	5.24
N° 30	0.590	146	9596	1.46	96.22	3.78
N° 40	0.426	129	9725	1.29	97.51	2.49
N° 50	0.297	104	9829	1.04	98.56	1.44
N° 80	0.177	64	9893	0.64	99.20	0.80
N° 100	0.149	44	9937	0.44	99.64	0.36
N° 200	0.074	24	9961	0.24	99.88	0.12
- N° 200	-	12	9973	0.12	100.00	0.00

(Fuente: Elaboración propia)

La muestra presenta mayor porcentaje de partículas que no pasan la malla N° 4, esto resulta ser muy bueno para la edificación de puentes con muros y estribos.

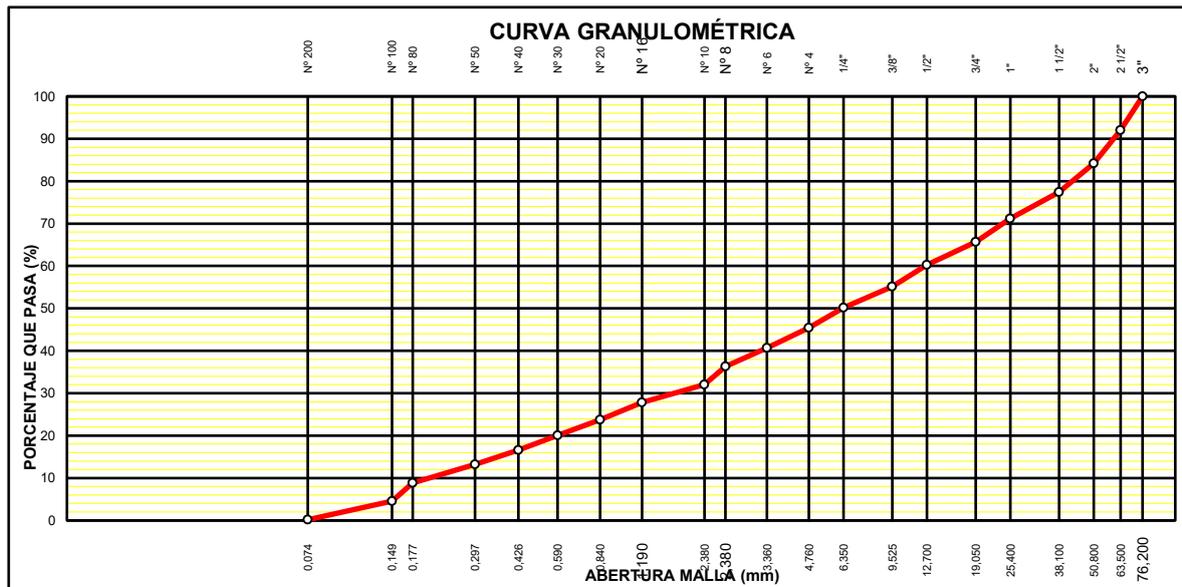


Figura 19. Curva Granulométrica de muestra a 1.2 m de la calicata N° 2

Fuente: Elaboración propia)

Tabla 15. Clasificación y diámetro medio de la muestra a 1.2 m de la calicata N° 2

	apertura(mm)*%retenido
Porcentaje de finos	1410.46
0.12	1043.58
Porcentaje de arena	796.15
18.21	395.40
Porcentaje de grava	134.73
81.67	86.15
GP (GRAVA POBREMENTE GRADUADA CON ARENA)	51.19
	34.48
	20.31
	12.36
	8.29
	5.68
	4.13
	2.16
	1.47
	0.86
	0.55
	0.31
	0.11
	0.07
	0.02
dm(mm)=	40.08

(Fuente: Elaboración propia).

La muestra presenta mayor porcentaje de partículas que no pasan la malla N° 4, esto resulta ser muy bueno para la edificación de puentes con muros y estribos, además, se obtuvo como diámetro medio partículas de 40.08 mm.

Peso de la muestra: **9.107 Kg**

al: 100 %

(M6) Peso muestra N° 3 (12ma 2.3 m):

Tabla 16. *Análisis de granulometría calicata N° 2 a 2.3 m*

TAMIZ (N°)	Apertura Tamiz(mm)	Peso (g)	Peso acumulado (g)	Retenido %	Reten. acumulado (%)	Porcentaje que Pasa (%)
3"	76.200	0	0	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.500	725	725	7.96	7.96	92.04
2"	50.800	715	1440	7.85	15.81	84.19
1 1/2"	38.100	614	2054	6.74	22.55	77.45
1"	25.400	568	2622	6.24	28.79	71.21
3/4"	19.050	504	3126	5.53	34.33	65.67
1/2"	12.700	490	3616	5.38	39.71	60.29
3/8"	9.525	467	4083	5.13	44.83	55.17
1/4"	6.350	453	4536	4.97	49.81	50.19
N° 4	4.760	434	4970	4.77	54.57	45.43
N° 6	3.360	429	5399	4.71	59.28	40.72
N° 8	2.380	398	5797	4.37	63.65	36.35
N° 10	2.000	395	6192	4.34	67.99	32.01
N° 16	1.190	381	6573	4.18	72.18	27.82
N° 20	0.840	372	6945	4.08	76.26	23.74
N° 30	0.590	338	7283	3.71	79.97	20.03
N° 40	0.426	314	7597	3.45	83.42	16.58
N° 50	0.297	307	7904	3.37	86.79	13.21
N° 80	0.177	397	8301	4.36	91.15	8.85
N° 100	0.149	393	8694	4.32	95.47	4.53
N° 200	0.074	398	9092	4.37	99.84	0.16
- N° 200	-	15	9107	0.16	100.00	0.00

(Fuente: Elaboración propia)

La muestra presenta mayor porcentaje de partículas que pasan la malla N° 4, esto no resulta ser bueno para la edificación de puentes con muros y estribos.

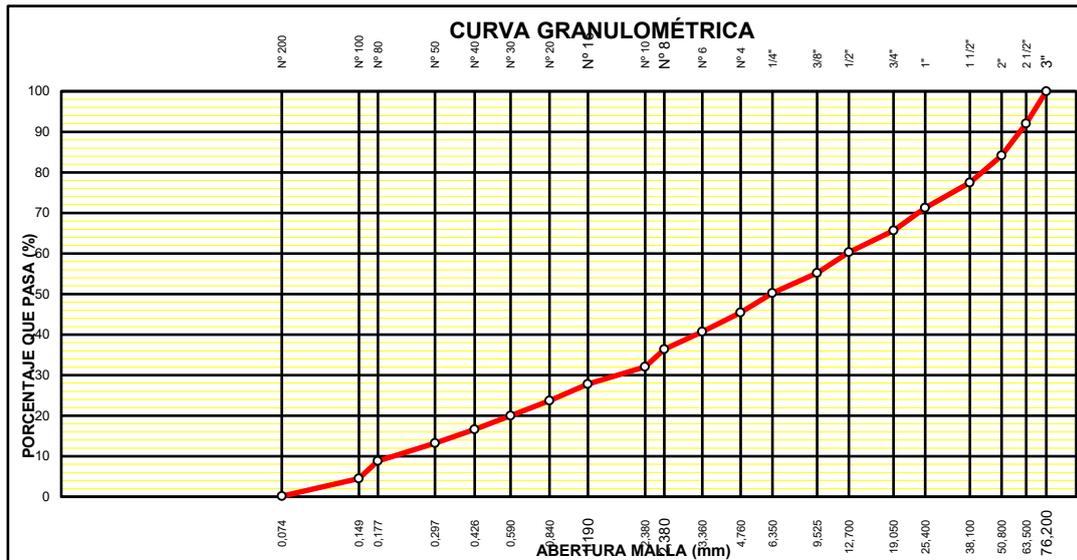


Figura 20. Curva Granulométrica de muestra a 2.3 m de la calicata N° 2

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 17. Clasificación y diámetro medio de la muestra a 2.3 m de la calicata N° 2

	apertura(mm)*%retenido
Porcentaje de finos	0.00
0.16	505.52
Porcentaje de arena	398.84
50.03	256.87
Porcentaje de grava	158.42
49.81	105.43
SP (ARENA	68.33
POBREMENTE	48.84
GRADUADA	31.59
CON GRAVA)	22.68
	15.83
	10.40
	8.67
	4.98
	3.43
	2.19
	1.47
	1.00
	0.77
	0.64
	0.32
dm(mm)=	16.46

(Fuente: Elaboración propia).

La muestra presenta mayor porcentaje de partículas que pasan la malla N° 4, esto no resulta ser bueno para la edificación de puentes con muros y estribos, además, se obtuvo como diámetro medio partículas de 16.46 mm.

RESUMEN DEL ESTUDIO DE SUELOS

Tabla 18. *Análisis de granulometría de las 6 muestras*

TAMIZ (N°)	Apertura Tamiz(mm)	peso g					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
		0-.30m	0.3-1.2m	1.2-2.3m	0-.30m	0.3-1.2m	1.2-2.3m
3"	76.200	789	2789	1375	0	1846	0
2 1/2"	63.500	507	2376	1298	867	1639	725
2"	50.800	488	1768	1167	652	1563	715
1 1/2"	38.100	496	539	1063	567	1035	614
1"	25.400	486	407	981	579	529	568
3/4"	19.050	480	249	835	535	451	504
1/2"	12.700	475	168	602	456	402	490
3/8"	9.525	469	146	510	531	361	467
1/4"	6.350	464	112	467	489	319	453
N° 4	4.760	458	78	406	478	259	434
N° 6	3.360	453	61	282	440	246	429
N° 8	2.380	447	46	209	441	238	398
N° 10	2.000	442	27	201	457	206	395
N°16	1.190	436	19	183	403	181	381
N° 20	0.840	431	20	116	388	175	372
N° 30	0.590	425	97	94	373	146	338
N° 40	0.426	420	56	63	358	129	314
N° 50	0.297	284	43	46	343	104	307
N° 80	0.177	264	29	39	328	64	397
N° 100	0.149	244	21	24	313	44	393
N° 200	0.074	224	16	21	298	24	398
- N° 200	-	12	9	13	14	12	15

(Fuente: Elaboración propia)

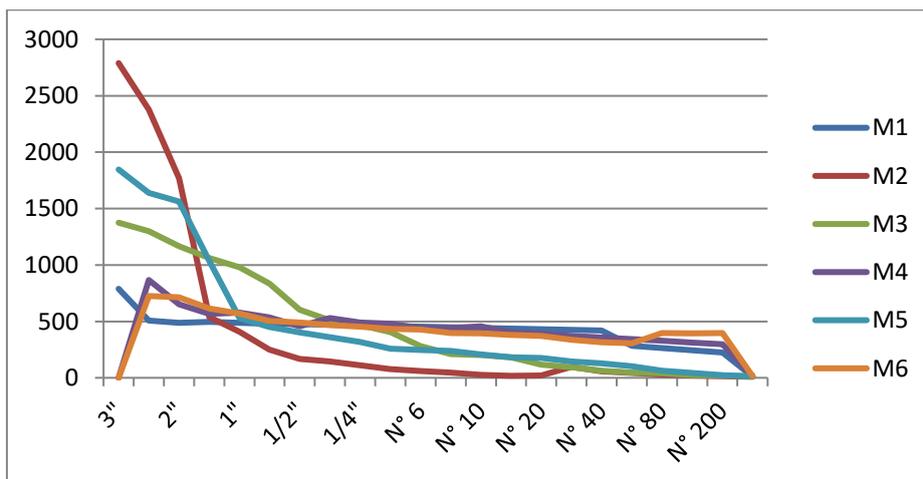


Figura 21. Curvas Granulométricas de las 6 muestras

(Fuente: Elaboración propia).

Se aprecia una mayor concentración de partículas en las mallas de mayor diámetro.

Tabla 19. Resultados de diámetros medios por muestra

MUESTRAS	dm (mm)	Clasificación USCS		
M1	19.37	GP		*
M2	54.42	GP		*
M3	34.77	GP		*
M4	16.73	GP		*
M5	40.08	GP		*
M6	16.46	SP		**

* GP POSITIVO - GP (GRAVA POBREMENTE GRADUADA CON ARENA) POSITIVO SOPORTAR SOCAVACION

** SP SP (ARENA POBREMENTE GRADUADA CON GRAVA) - NEGATIVO PARA SOPORTAR SOCAVACION

(Fuente: Elaboración propia)

Se obtuvo 5 muestras GP y 1 muestra con ligera tendencia a SP, evidenciando que las partículas del lecho del río Jequetepeque presentan buenas características para la construcción de pilares y estribos.

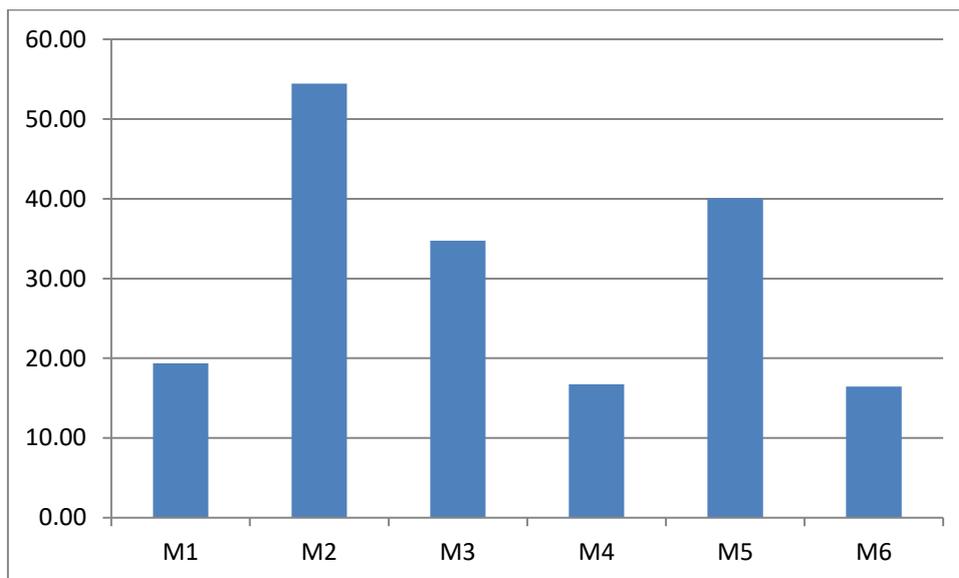


Figura 22. Diámetros medios por muestra

(Fuente: Elaboración propia)

Se aprecia que la M1 y M5 obtuvieron partículas más grandes debido a que esta parte (la de 1.2-2.3m de profundidad) esta acorazada se empleara el promedio de las mismas para los cálculos de socavación.

Tabla 20. *Distribución porcentual según textura de suelo*

MUESTRAS	DISTRIBUCION TEXTURAL (%)						
	FINO			ARENA		GRAVA	
M1	0.13	*		49.25	**	50.62	**
M2	0.10	*		5.65	*	94.25	***
M3	0.13	*		16.85	*	83.02	***
M4	0.15	*		49.61	**	50.24	**
M5	0.12	*		18.21	*	81.67	***
M6	0.16	*		50.03	**	49.81	**
	*	NO SIGNIFICATIVO					
	**	MODERADAMENTE SIGNIFICATIVO					
	***	ALTAMENTE SIGNIFICATIVO					

(Fuente: *Elaboración propia*)

Se encontró mayor cantidad de grava, cantidades no significativas de finos, pero, también hay cantidades moderadamente significativas de arena por lo que se debe considerar un enrocado en los pilares y estribos para mayor seguridad.

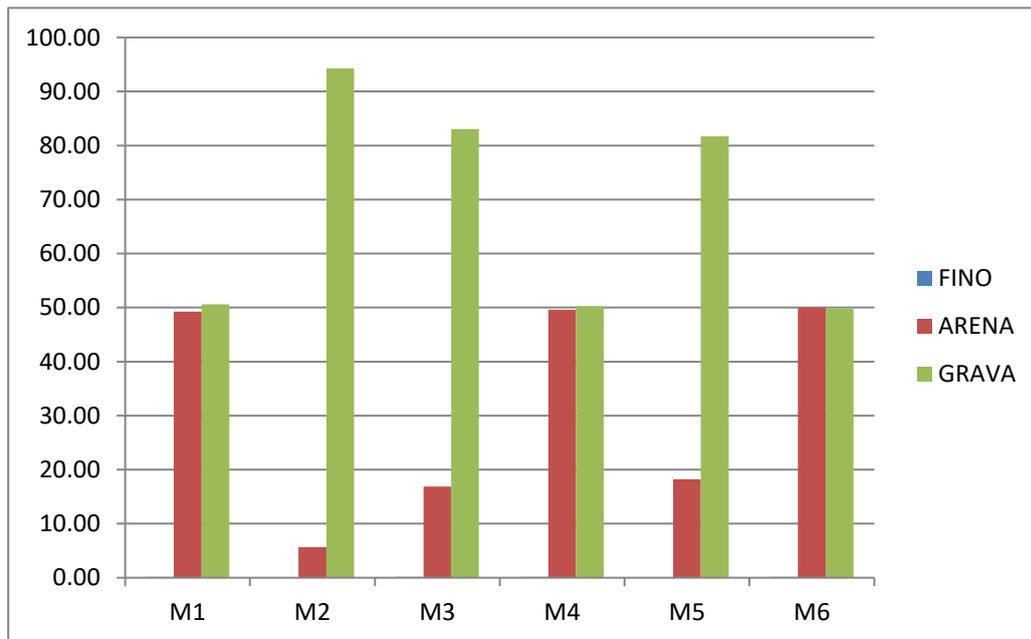


Figura 23. *Distribución porcentual según textura de suelo*

(Fuente: *Elaboración propia*)

Se encontró mayor cantidad de grava, cantidades no significativas de finos, pero, también hay cantidades moderadamente significativas de arena por lo que se debe considerar un enrocado en los pilares y estribos para mayor seguridad.

El suelo del lecho del río se considera como suelo acorazado. El diámetro medio a utilizar para el análisis de socavación será el del suelo acorazado, es decir el obtenido a 1.2 m de profundidad. Como se realizaron 2 calicatas hemos considerado el promedio entre ambos valores; nuestro diámetro medio es 47.25 mm.

Calculamos también el peso específico de la muestra:

Tabla 21. *Calculo de peso específico de las partículas del río Jequetepeque*

Altura del recipiente:	20.5	cm
Diámetro del recipiente:	20.3	cm
Peso del recipiente + la muestra:	17.28	Kg
Peso del recipiente:	3.45	Kg
Peso de la muestra:	13.83	Kg
	0.01383	Ton
Radio:	10.15	cm
Área base circular:	323.71	cm ²
Volumen del Cilindro:	6636	cm ³
Peso específico:	2.08	Ton/m ³

(Fuente: Elaboración propia)

3.4. MODELAMIENTO DEL FLUJO CON EL NUEVO CAUDAL DEL RÍO JEQUETEPEQUE EN HEC-RAS

Haciendo uso de la información obtenida de las secciones transversales del río Jequetepeque, su pendiente y el caudal máximo que alcanzó durante el fenómeno del Niño costero (2017), procedemos a realizar el modelamiento en Hec-Ras para calcular el tirante aproximado y la velocidad media. El caudal de diseño a utilizar será de 1235.43 m³/s que viene hacer el caudal que llegará al río Jequetepeque cuando se produce el fenómeno El Niño.

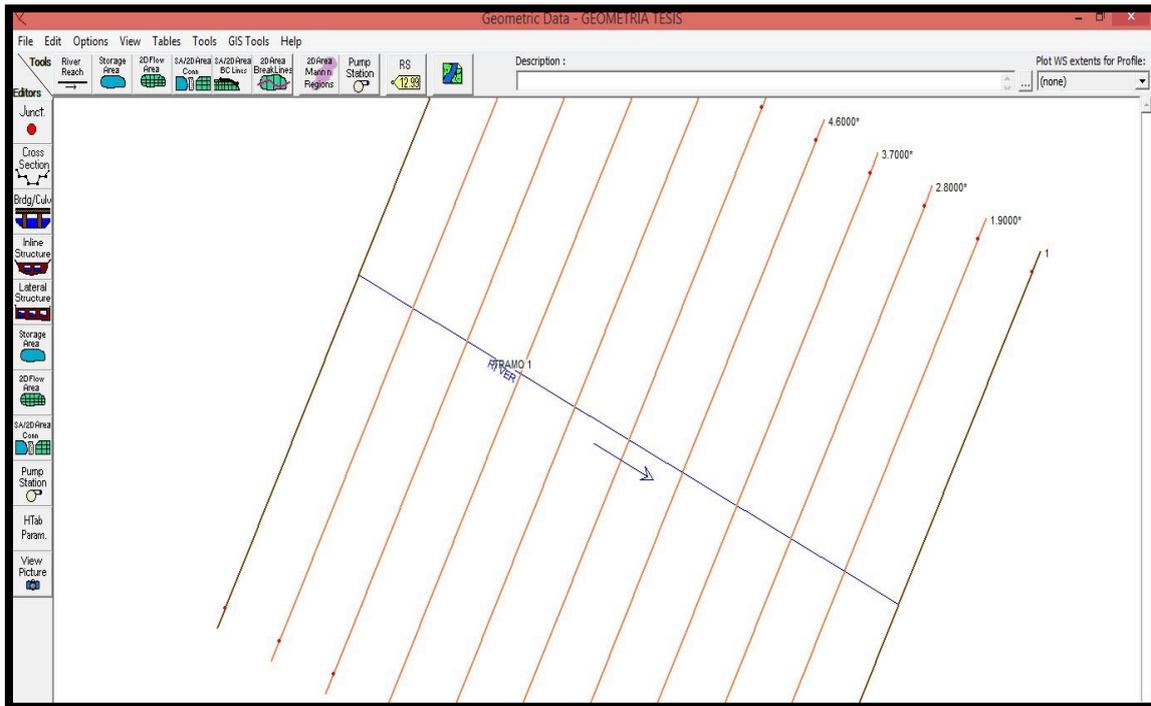


Figura 24. Geometría de las secciones transversales del río Jequetepeque cada 20 m
(Fuente: Elaboración propia)

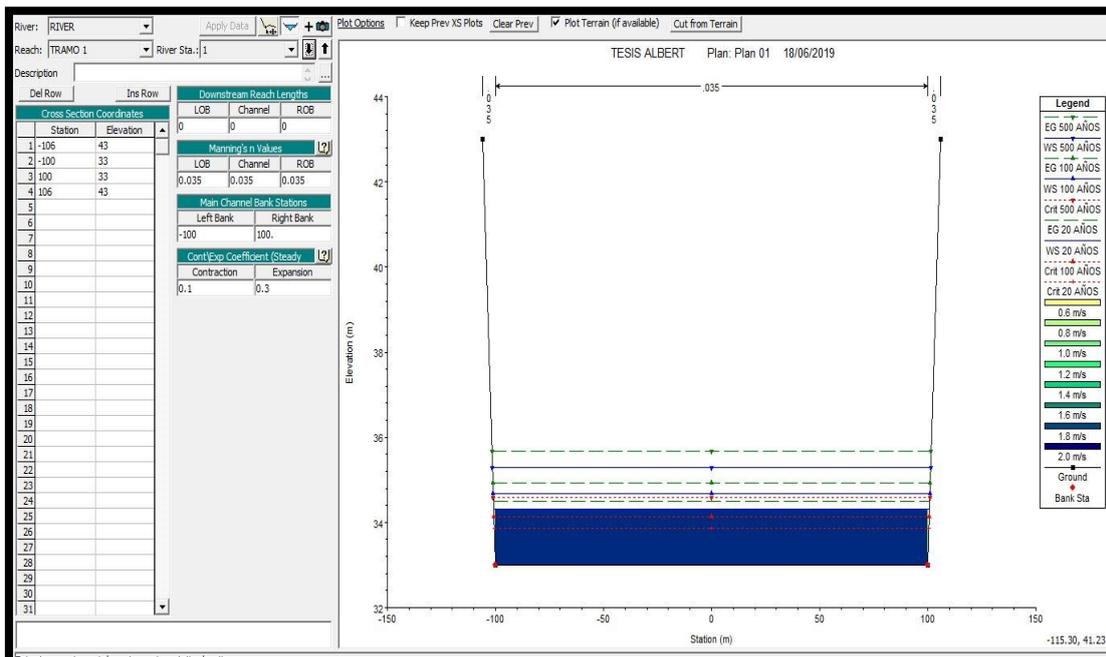


Figura 25. Sección transversal del río Jequetepeque 20 m aguas abajo del puente HEC-RAS – se observa el nivel de tirante máximo según periodo de retorno con un máximo de 2.3m.

(Fuente: Elaboración propia)

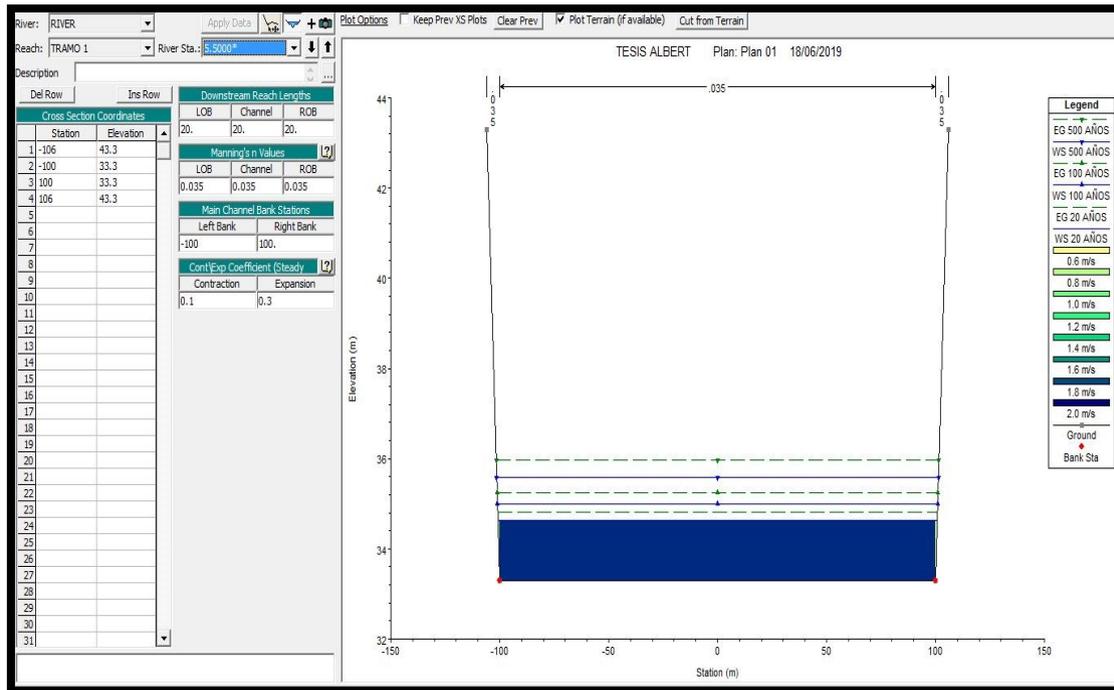


Figura 26. Sección transversal del río Jequetepeque 100 m aguas arriba del puente HEC-RAS - se observa el nivel de tirante máximo según periodo de retorno con un máximo de 2.3m.

(Fuente: Elaboración propia).

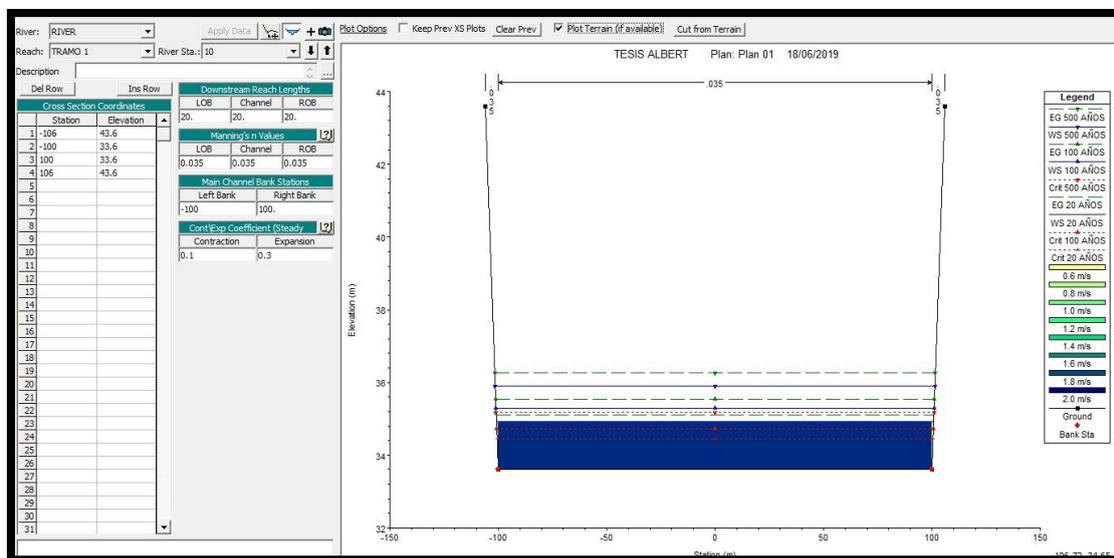


Figura 27. Sección transversal del río Jequetepeque 100 m aguas arriba del puente HEC-RAS - se observa el nivel de tirante máximo según periodo de retorno con un máximo de 2.3m.

(Fuente: Elaboración propia)

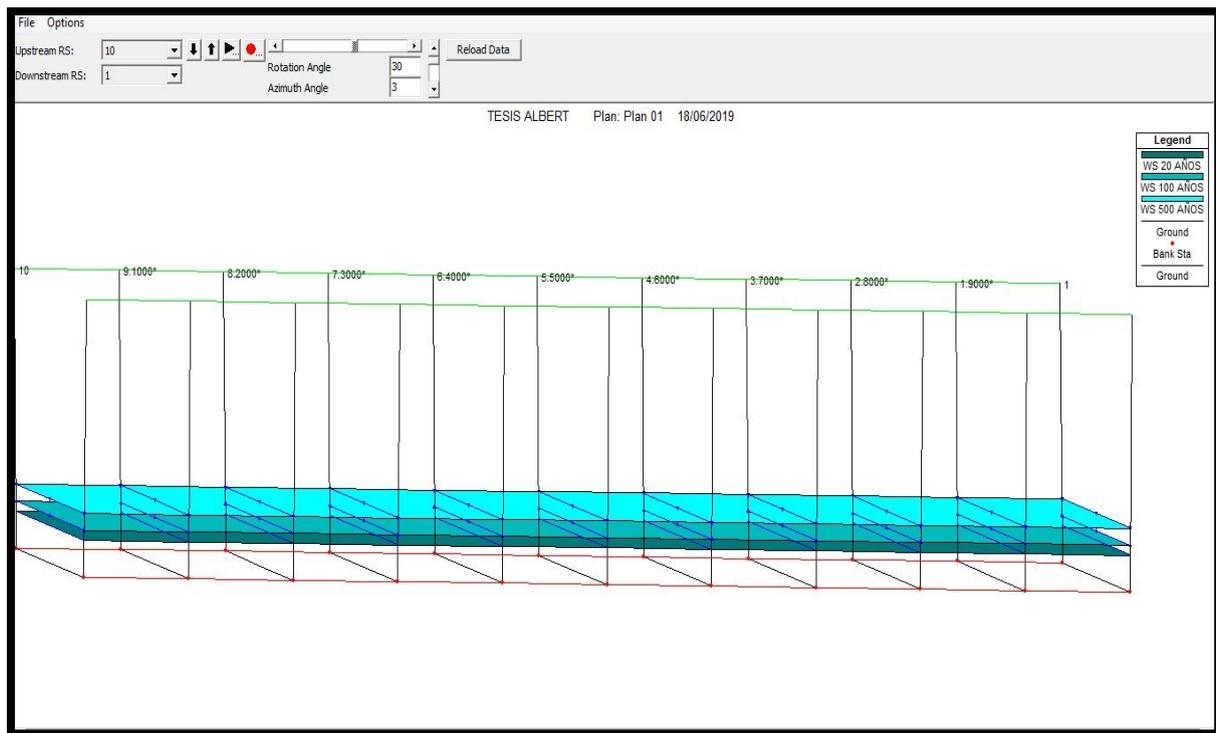


Figura 28. Vista 3D del flujo del caudal en el río Jequetepeque (X, Y, Z) HEC-RAS
 (Fuente: Elaboración propia).

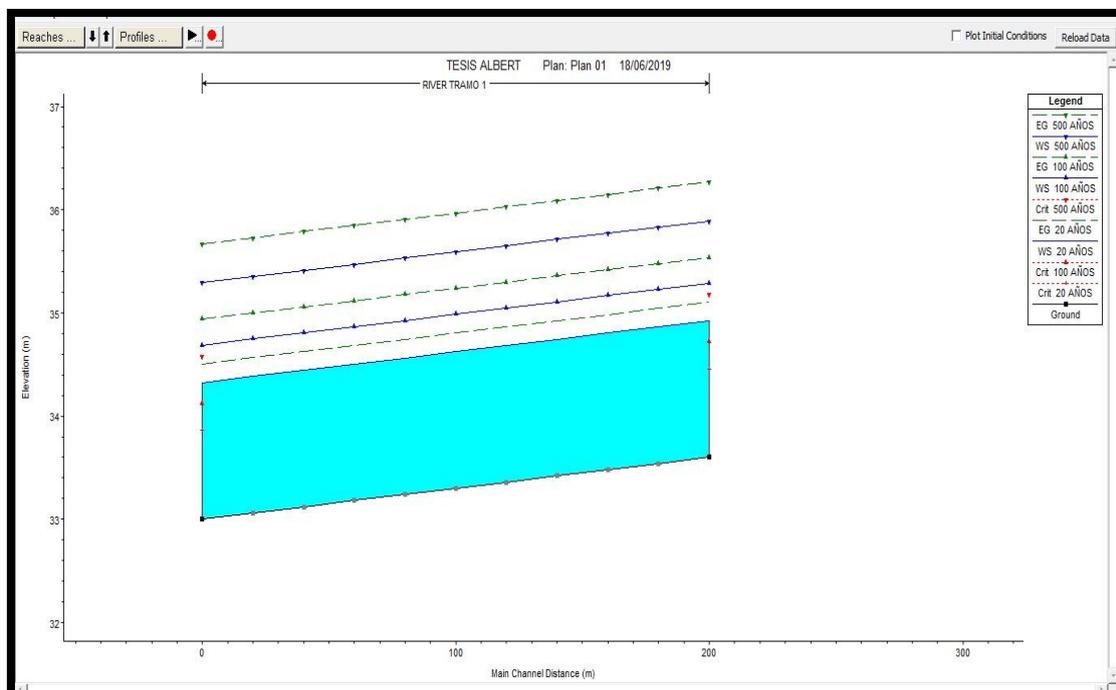


Figura 29. Distancia recorrida y elevación HEC-RAS

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 22. *Tabla de datos de la modelación en HEC-RAS*

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: RIVER Reach: TRAMO 1												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
TRAMO 1	10	20 AÑOS	500.00	33.60	34.92	34.46	35.10	0.002999	1.89	265.73	201.59	0.52
TRAMO 1	10	100 AÑOS	750.00	33.60	35.29	34.72	35.54	0.003000	2.22	339.16	202.02	0.55
TRAMO 1	10	500 AÑOS	1250.00	33.60	35.89	35.18	36.27	0.002999	2.72	461.48	202.75	0.57
TRAMO 1	9.1000*	20 AÑOS	500.00	33.54	34.86		35.04	0.002999	1.89	265.74	201.59	0.52
TRAMO 1	9.1000*	100 AÑOS	750.00	33.54	35.23		35.48	0.003000	2.22	339.17	202.02	0.55
TRAMO 1	9.1000*	500 AÑOS	1250.00	33.54	35.83		36.21	0.002999	2.72	461.49	202.75	0.57
TRAMO 1	8.2000*	20 AÑOS	500.00	33.48	34.80		34.98	0.003001	1.89	265.67	201.59	0.52
TRAMO 1	8.2000*	100 AÑOS	750.00	33.48	35.17		35.42	0.003002	2.22	339.09	202.02	0.55
TRAMO 1	8.2000*	500 AÑOS	1250.00	33.48	35.77		36.15	0.003000	2.72	461.42	202.75	0.57
TRAMO 1	7.3000*	20 AÑOS	500.00	33.42	34.74		34.92	0.003001	1.89	265.67	201.59	0.52
TRAMO 1	7.3000*	100 AÑOS	750.00	33.42	35.11		35.36	0.003002	2.22	339.09	202.02	0.55
TRAMO 1	7.3000*	500 AÑOS	1250.00	33.42	35.71		36.09	0.003000	2.72	461.43	202.75	0.57
TRAMO 1	6.4000*	20 AÑOS	500.00	33.36	34.68		34.86	0.003001	1.89	265.68	201.59	0.52
TRAMO 1	6.4000*	100 AÑOS	750.00	33.36	35.05		35.30	0.003002	2.22	339.09	202.02	0.55
TRAMO 1	6.4000*	500 AÑOS	1250.00	33.36	35.65		36.03	0.003000	2.72	461.44	202.75	0.57
TRAMO 1	5.5000*	20 AÑOS	500.00	33.30	34.62		34.80	0.003001	1.89	265.69	201.59	0.52
TRAMO 1	5.5000*	100 AÑOS	750.00	33.30	34.99		35.24	0.003002	2.22	339.09	202.02	0.55
TRAMO 1	5.5000*	500 AÑOS	1250.00	33.30	35.59		35.97	0.003000	2.72	461.45	202.75	0.57
TRAMO 1	4.6000*	20 AÑOS	500.00	33.24	34.56		34.74	0.003001	1.89	265.69	201.59	0.52
TRAMO 1	4.6000*	100 AÑOS	750.00	33.24	34.93		35.18	0.003002	2.22	339.09	202.02	0.55
TRAMO 1	4.6000*	500 AÑOS	1250.00	33.24	35.53		35.91	0.003000	2.72	461.46	202.75	0.57
TRAMO 1	3.7000*	20 AÑOS	500.00	33.18	34.50		34.68	0.003000	1.89	265.70	201.59	0.52
TRAMO 1	3.7000*	100 AÑOS	750.00	33.18	34.87		35.12	0.003002	2.22	339.09	202.02	0.55
TRAMO 1	3.7000*	500 AÑOS	1250.00	33.18	35.47		35.85	0.002999	2.72	461.47	202.75	0.57
TRAMO 1	2.8000*	20 AÑOS	500.00	33.12	34.44		34.62	0.003000	1.89	265.71	201.59	0.52
TRAMO 1	2.8000*	100 AÑOS	750.00	33.12	34.81		35.06	0.003002	2.22	339.09	202.02	0.55
TRAMO 1	2.8000*	500 AÑOS	1250.00	33.12	35.41		35.79	0.002999	2.72	461.48	202.75	0.57

(Fuente: Elaboración propia)

Dónde:

Q Total : Caudal total

Min Ch El : Elevación mínima del canal principal

W.S. Elev : Calculo de la superficie del agua a partir de la ecuación de energía

Crit W.S. : Elemento crítico de la superficie del agua. Superficie correspondiente a la energía mínima en la curva de energía versus profundidad

E.G. Elev : Línea de gradiente de energía para la elevación calculada de WS

E.G. Slope : Pendiente de la línea de grado energético

Vel Chnl : Velocidad media de flujo en el canal principal

Flow Area : Área total del flujo activo de la sección transversal

Top Width : Anchura superior de la sección transversal húmeda

Froude # Chl : Número de Froude para el canal principal

Ver Resumen de Errores, Advertencias y Notas (*Summary Err, Warn, Notes*)

Una vez ejecutada la simulación, el programa genera un registro de incidencias que se clasifican en:

Errores (*Errors*): los mensajes de error son enviados únicamente cuando han surgido problemas que han impedido que una simulación se complete.

Avisos (*Warnings*): los avisos dan información al usuario sobre incidencias que pueden exigir o no acciones de corrección. Cuando aparecen estos mensajes, el usuario debe revisar los resultados hidráulicos de la sección afectada para asegurarse de que sean razonables. A veces pueden ir acompañados de alguna sugerencia que puede hacer desaparecer este mensaje en futuras simulaciones. En este sentido los problemas más comunes son:

- Secciones demasiado espaciadas
- Secciones que comienzan o terminan en una cota demasiado baja
- Cota inicial de la lámina de agua incorrecta para el régimen especificado.

Para nuestra simulación el reporte no arrojó errores ni avisos que suelen mostrarse de color amarillo.

3.5. CÁLCULO DE LA SOCAVACIÓN GENERAL DEL CAUCE POR EL MÉTODO DE LISCHTVAN- LEVEDIEV

Después de haber recolectado la información necesaria mediante los procedimientos anteriores procedemos a elaborar un cuadro de Excel en base a las fórmulas que se usan en el método de lischtvan-levediev. Procedemos a analizar los datos:

Tipo de cauce

A.- Cálculo de la socavación general en el cauce:

Hs = profundidad de socavación (m)	X	
Qd = caudal de diseño	1235.	
	43	m ³ /seg
		g
Be = ancho efectivo de la superficie de agua	200	m
Ho = tirante antes de la erosión	2.30	m
Vm = velocidad media en la sección	2.68	
		m/seg
m = coeficiente de contracción. Ver tabla N° 23	0.96	
gd = peso específico del suelo del cauce	2.084	Tn/m ³
dm = diámetro medio	47.25	mm
x = exponente variable. Ver tabla N° 24	0.296	
Tr = Periodo de retorno del gasto de diseño	500	años
b = coeficiente que depende de la frecuencia del caudal de diseño. Ver tabla N° 25	1.05	
A = área de la sección hidráulica	459.9	m ²
Hm = profundidad media de la sección	2.30	m
a =	1.61	

Entonces:

$$Hs = 2.37 \quad m$$

ds = profundidad de socavación respecto al fondo del cauce

$$ds = 0.07 \quad m$$

Asumimos:

$$ds = 0.10 \quad m$$

ds = profundidad de socavación respecto al fondo del cauce

Tomando en cuenta que se realizó una inspección in situ en el lecho del río Jequetepeque y en las estructuras del puente, donde pudimos ver la marca del tirante que dejó la máxima avenida ocasionada por el fenómeno del niño costero, el valor del tirante que pudimos medir en todos los pilares y estribos del puente fue el mismo, 2.30 m.

Para la obtención de datos en el método de lischtván-levediev fue necesario el uso de las siguientes tablas:

Tabla 23. *Coefficiente de contracción*

Velocidad media en la sección en m/seg	Longitud libre entre dos estribos												
	10	13	16	18	21	25	30	42	52	63	106	124	200
Menor de 1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.50	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.00	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.50	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.00	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.50	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
4.00 o mayor	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

(Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC, p.97)

Tabla 24. *Valores de X para suelos cohesivos y no cohesivos*

SUELOS COHESIVOS		SUELOS NO COHESIVOS	
Peso Específico gd (Tn/m³)	X	dm (mm)	X
0.80	0.52	0.05	0.43
0.83	0.51	0.15	0.42
0.86	0.50	0.50	0.41
0.88	0.49	1.00	0.40
0.90	0.48	1.50	0.39
0.93	0.47	2.50	0.38
0.96	0.46	4.00	0.37
0.98	0.45	6.00	0.36
1.00	0.44	8.00	0.35
1.04	0.43	10.00	0.34
1.08	0.42	15.00	0.33
1.12	0.41	20.00	0.32
1.16	0.40	25.00	0.31
1.20	0.39	40.00	0.30
1.24	0.38	60.00	0.29
1.28	0.37	90.00	0.28
1.34	0.36	140.00	0.27
1.40	0.35	190.00	0.26
1.46	0.34	250.00	0.25
1.52	0.33	310.00	0.24
1.58	0.32	370.00	0.23
1.64	0.31	450.00	0.22
1.71	0.30	570.00	0.21
1.80	0.29	750.00	0.20
1.89	0.28	1000.00	0.19
2.00	0.27		

(Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC)

Tabla 25. *Valores del coeficiente b*

Periodo de retorno del gasto de diseño (AÑOS)	Coficiente b
2	0.82
5	0.86
10	0.90
20	0.94
50	0.97
100	1.00
500	1.05

(Fuente: *Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC*)

La socavación general respecto al fondo del cauce es de:
ds= 0.10 m.

3.6. CALCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DE LOS ESTRIBOS

POR EL MÉTODO DE K. F. ARTAMONOV. K. F.

Después de haber recolectado la información necesaria mediante los procedimientos anteriores procedemos a elaborar un cuadro de Excel en base a las fórmulas que se usan en el método de K. F. Artamonov.

Procedemos a ingresar los datos en las tablas:

B.- Cálculo de la socavación al pie de estribos:

1.- Muro margen central

St = tirante incrementado al pie del estribo debido a la
socavación en mts.

Ho = tirante que se tiene en la zona cercana al estribo antes de
la erosión 2.30 m

Q = caudal de diseño 1234
.35 m³/s
eg

Q1 = caudal que teóricamente pasaría por el lugar ocupado por el
estribo de la margen izquierda 29
m³/s
eg

Q1/Q = 0.02

Pq = coeficiente que depende de la relación Q1/Q. Ver tabla
N° 27 2.00

a = ángulo que forma el eje del estribo con la corriente 90 °

Pa = coeficiente que depende del ángulo a . Ver tabla N°
26 1.00

R = talud que tiene el estribo 0.10

PR = coeficiente que depende del talud que tiene el estribo. Ver
tabla N° 28 1.00

Entonces:

$$St = 4.60 \text{ m}$$

ds = profundidad de socavación respecto al fondo del
cauce

$$So = 2.30 \text{ m}$$

Asumimos:

$$So = 2.30 \text{ m}$$

$$A + B = 2.40$$

Para la obtención de datos en el método de K. F. Artamono v fue necesario el uso de las siguientes tablas:

Tabla 26. *Valores del coeficiente correctivo Pa*

a	30°	60°	90°	120°	150°
Pa	0.84	0.94	1.00	1.07	1.19

(Fuente: *Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC*)

Tabla 27. *Valores del coeficiente correctivo Pq*

Q1/Q	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Pq	2.00	2.65	3.22	3.45	3.67	3.87	4.06	4.20

(Fuente: *Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC*)

Tabla 28. *Valores del coeficiente correctivo PR*

Talud R	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00
PR	1.00	0.91	0.85	0.83	0.61	0.50

(Fuente: *Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC*)

La socavación local de los estribos con respecto al fondo del cauce es de:

So= 2.4 m.

3.7. CALCULO DE LA SOCAVACIÓN LOCAL DE LOS PILARES POR EL MÉTODO DE NEILL

La fórmula a utilizar es: $Y_s = 1.5 * (a'')^{0.7} * h^{0.3}$

Dónde:

Y_s : Profundidad de socavación medida a partir del fondo del cauce (mm) a'' :
Ancho proyectado del pilar (m)

h : Profundidad del flujo aguas arriba del pilar (m)

El ancho proyectado del pilar (a'') según el plano y las mediciones in situ es de 2 m, la profundidad de flujo aguas arriba del pilar (h) la obtuvimos mediante

el programa HEC-RAS, tomamos la profundidad que se dio en la sección transversal a 20 metros aguas arriba del puente, que fue de 2.3 m. Reemplazando valores en la formula nos da: $Y_s = 3.14 \text{ m}$

Debemos de tomar en cuenta que según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC (pág. 113 del manual), la mayoría de ecuaciones para hallar la socavación local en pilares y estribos son aplicables para cauces aluviales y no consideran la posibilidad de que materiales más gruesos y de mayor peso, presentes en el lecho, acoracen el hoyo que se produce por la socavación, lo que limitaría su profundidad. Es decir, los resultados deben evaluarse tomando en consideración la experiencia y el criterio del Ingeniero.

Si $z = 1,5 B$; siendo **B** el ancho de la cimentación prevista de mayor área. El área de la cimentación del puente libertad es de 4x4, es decir, la profundidad de socavación de diseño es de 6m, mayor al nivel de socavación producido por el fenómeno El Niño, por lo que el puente Libertad soporta eventos climáticos similares.

Tabla 29. *Resultados finales de socavación.*

RESULTADOS FINALES	
socavación general	0.10m
socavación local en estribos	2.4m
socavación local en pilares	3.14m

(Fuente: elaboración propia)

CAPÍTULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

4.1 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- a) Las ecuaciones existentes tienen limitaciones de tipo práctico. Por ejemplo, las ecuaciones han sido desarrolladas para cauces de lecho arenoso y no tienen en cuenta la posibilidad de acorazamiento y en el puente Libertad existe un acorazamiento de 4x6x3m. Las ecuaciones para el cálculo de la socavación local en estribos se basan en información de laboratorio y muy poca información de campo existe para su verificación. Casi todas las ecuaciones dan como resultado valores muy conservadores de socavación debido a que consideran que el estribo está en el cauce principal formado por lechos aluviales y asumen que el caudal de agua obstruido es proporcional a la longitud del estribo, lo cual raramente ocurre en la realidad. El especialista debe determinar la ecuación que mejor se ajusta a las condiciones de un puente en particular.
- b) Los datos proporcionados por los diferentes organismos que manejan información meteorológica, no siempre coinciden.
- c) Para modelar el río con el HEC-RAS, es necesario conocer la granulometría con el objetivo de determinar el diámetro medio (D_m) de partícula y las secciones transversales de río en el tramo de estudio (aguas arriba y aguas abajo) y realizar un adecuado estudio hidrológico, con el fin de determinar adecuados caudales de diseño. La limitación en este punto es el número limitado de calicatas realizada debido a tiempo y presupuesto para realizarlas

pudiéndose haber realizado 1 calicata a cada 20mts haciendo un total de 10 calicatas, sin embargo, no existieron diferencias significativas en los resultados obtenidos en las calicatas realizadas teniendo como resultados Dm de 54.42 y 40.08 1 y 2 a una profundidad de 1.2m teniendo que establecer un promedio para los cálculos realizados.

4.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Se precisa realizar un comparativo con trabajos similares para entender mejor los resultados obtenidos, a continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos en trabajos anteriores y la comparación con este proyecto

Tabla 30. *Comparación de resultados con los antecedentes*

COMPARACION DE RESULTADOS						
Proyecto	Soc. General (m)	Soc. estribo (m)	Soc. pilar (m)	D50 (mm)	Caudal M3/seg	Periodo de retorno (años)
Avalos y Zegarra	0.1	1.34	1.7	50.44	440.16	500
Henríquez	x	3.63	x	27.5	583.32	50
	x	3.83	x	27.5	636.41	100
	x	4.04	x	27.5	759.68	500
Elbio	x	2.18	5.158	x	1100	500
Cotrina y Hernandez	1.88	7.93	5.89	15.61	664.37	500
Chirinos	2.84	7.42	5.48	19	360	500
GALVEZ Y GUILLEN	0.1	2.4	3.13	47.25	1235	500

(Fuente: elaboración propia)

Tabla 31. *Comparación diámetro medio - socavación general*

Proyecto	Soc. General (m)	D50 (mm)
Avalos y Zegarra	0.1	50.44
Cotrina y Hernandez	1.88	15.61
Chirinos	2.84	19
GALVEZ Y GUILLEN	0.1	47.25

Fuente (elaboración propia)

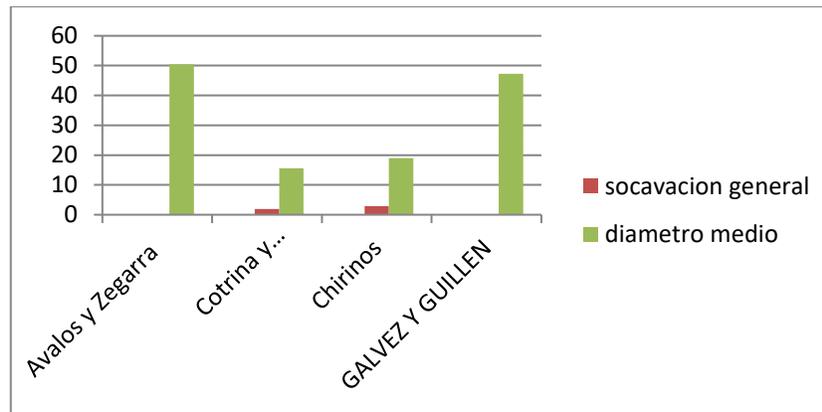


Figura 30. *Comparación diámetro medio - socavación general*

Fuente (elaboración propia)

- Con esta comparación se determina que ha mayor diámetro medio menor socavación general. Una socavación de 0.10m no resulta ser significativa frente a una socavación general de 1.88m y 2.84m que si se debería tener en cuenta debido a que al sumar la socavación general y local de estribos y pilares, resulta en una socavación significativa, en este caso se tienen que evaluar diversas medidas como realizar cimentaciones profundas o el uso de enrocados alrededor de las cimentaciones o en todo el lecho del rio,

generalmente se recomienda el uso de enrocados cuando la socavaciones sea mayor a 7m.

Tabla 32. Comparación diámetro medio - socavación en estribos

Proyecto	Soc. estribo (m)	D50 (mm)
Avalos y Zegarra	1.34	50.44
Henríquez	3.63	27.5
	3.83	27.5
	4.04	27.5
Cotrina y Hernandez	7.93	15.61
Chirinos	7.42	19
GALVEZ Y GUILLEN	2.4	47.25

Fuente (elaboración propia)

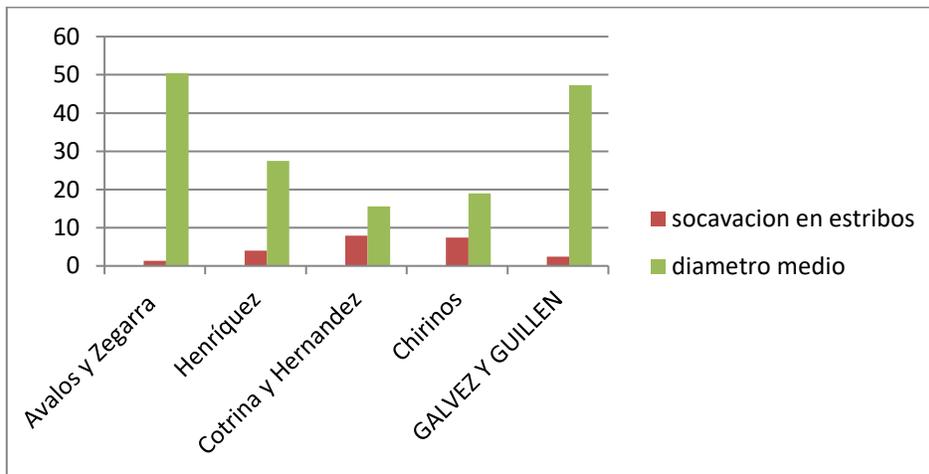


Figura 31. Comparación diámetro medio - socavación en estribos

Fuente (elaboración propia)

- De igual forma que en la socavación general, en estos resultados se sostiene que los ríos con partículas de mayor diámetro resultan ser resistentes a la socavación, en este caso las socavaciones de estribos de 1.34m y 2.4m no resultan ser significativas debido a que las cimentaciones de los estribos se

diseñan con una profundidad de socavación mucho mayor obedeciendo a la relación $Z=1.5B$, usualmente las base B tiene una dimensión mayor a 2 metros es así que la socavación mínima de diseño en los estribos es de 3.5m; en el caso de las socavaciones mayores a 3 hasta 7 se debe a que el diámetro promedio de las partículas del rio oscilaron entre 15 – 19mm; en el caso de 7.93m y 7.42m se tendría que evaluar la posibilidad de realizar enrocados.

Tabla 33. Comparación diámetro medio - socavación en pilares

Proyecto	Soc. pilar (m)	D50 (mm)
Avalos y Zegarra	1.7	50.44
Cotrina y Hernandez	5.89	15.61
Chirinos	5.48	19
GALVEZ Y GUILLEN	3.13	47.25

Fuente (elaboración propia)

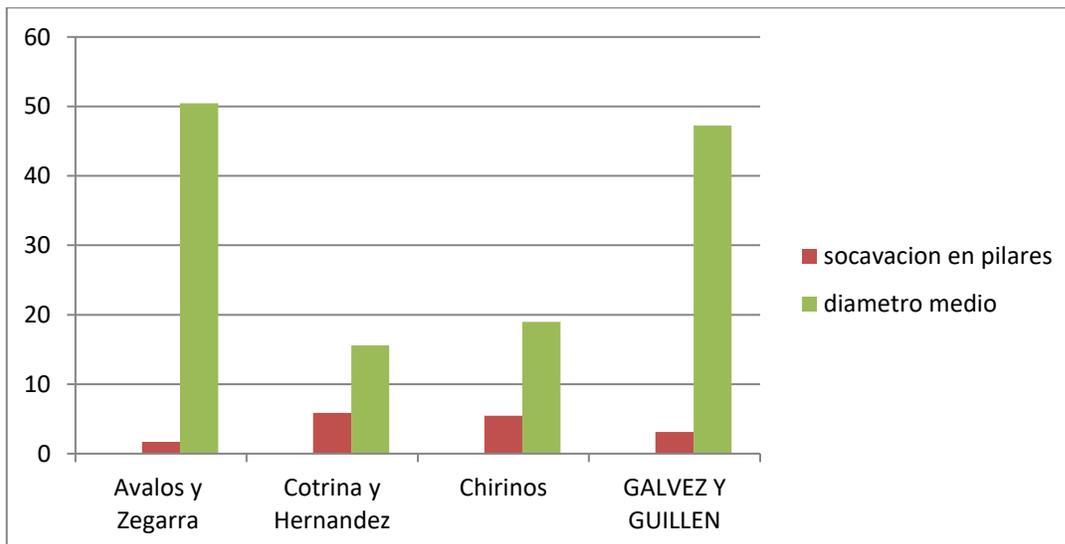


Figura 32. Comparación diámetro medio - socavación en pilares

Fuente (elaboración propia)

- Siguiendo la secuencia comparativa se verifica la importancia positiva de las partículas grandes del río para resistir a la socavación; en estos resultados se aprecia resultados de 1.7m y 3.13m los cuales no resultan ser significativos, mientras que en los resultados de socavación de 5.89m y 5.48m resultan ser moderadamente significativos y se tiene que evaluar la posibilidad de diseñar con mayor profundidad de socavación.

Tabla 34. *Comparación Caudal - socavación en pilares*

Proyecto	Soc. estribo (m)	Caudal M3/seg
Avalos y Zegarra	1.34	440.16
Henríquez	3.63	583.32
	3.83	636.41
	4.04	759.68
Elbio	2.18	1100
Cotrina y Hernandez	7.93	664.37
Chirinos	7.42	360
GALVEZ Y GUILLEN	2.4	1235

Fuente (elaboración propia)

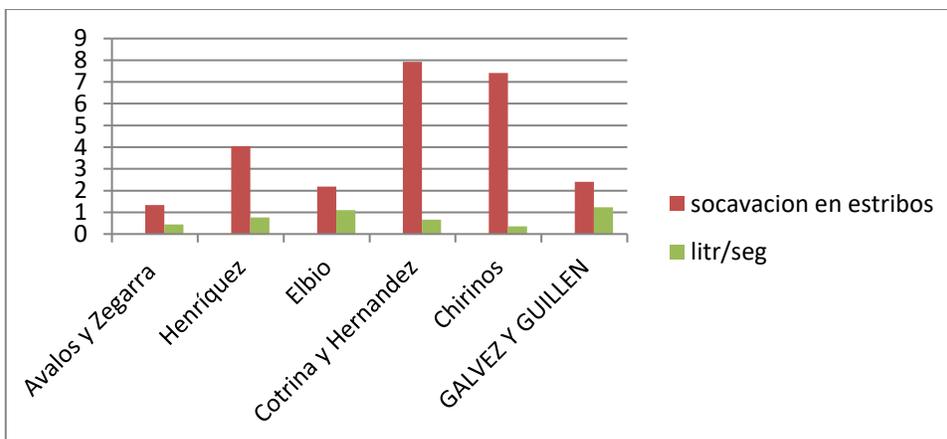


Figura 33. *Comparación Caudal - socavación en pilares*

Fuente (elaboración propia)

- Con respecto al análisis comparativo caudal-socavación apreciamos que en la socavación general no se puede afirmar que a mayor caudal se genera mayor socavación, esto se debe a que los efectos de socavación influenciados por el caudal están ligados a dos factores principales que son la base de la sección y la pendiente de la sección, la base de la sección debido a que una sección grande puede albergar caudales grandes sin ejercer la resistencia necesaria para socavar y la pendiente por que a mayo pendiente mayor velocidad por lo tanto mayor socavación.

Tabla 35. Comparación diámetro Caudal - socavación en pilares

Proyecto	Soc. pilar (m)	Caudal M3/seg
Avalos y Zegarra	1.7	440.16
Elbio	5.158	1100
Cotrina y Hernandez	5.89	664.37
Chirinos	5.48	360
GALVEZ Y GUILLEN	3.13	1235

Fuente (elaboración propia)

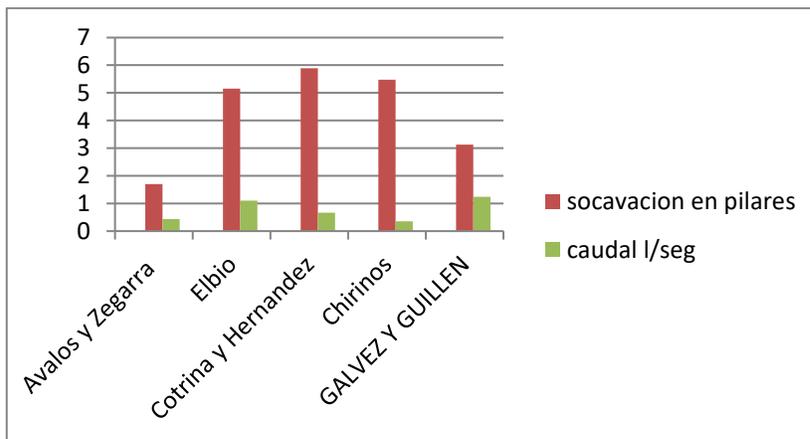


Figura 34. Comparación diámetro Caudal - socavación en pilares

Fuente (elaboración propia)

- El comportamiento de pilares resulta ser similar que el comportamiento de estribos con respecto al caudal.

4.3. IMPLICANCIAS DE LA INVESTIGACIÓN

- a) Los resultados obtenidos permiten entender el comportamiento del puente Libertad frente a fenómenos climáticos similares al fenómeno El Niño y emplear los resultados para diseñar puentes en condiciones similares, entendiendo la gran importancia de los puentes en la vida cotidiana de la población.
- b) Permite entender la importancia del diámetro de las partículas que debe tener el río.
- c) Realizar este proyecto motivará a otros investigadores a realizar trabajos similares.

4.4. CONCLUSIONES

- a) Se determinaron las características Geomorfológicas e hidráulicas de la cuenca tributaria del río Jequetepeque: área 216.85 Km², Longitud del cauce principal de 14704m, altura máxima 2474msnm, altura mínima 724 msnm, pendiente del cauce principal de S 0.12m/m y pendiente en la zona de estudio en un tramo de un km de 0.003m/m, tiempo de concentración TC de 3.46h, coeficiente de uniformidad K de 1.25, precipitación máxima diaria Pd de 28.5mm, intensidad de precipitación I de 6.80 mm/h, coeficiente de escorrentía de 0.58, caudal en condiciones normales de 43.70 m³/s.
- b) Las condiciones hidrológicas en el fenómeno del niño ocasionan máximas avenidas de 1235 m³/s, tirante de agua de 2.3m, pero, que no resultan ser significativos para afectar el funcionamiento del puente Libertad como se apreció en el análisis del Hec-Ras este no llegaría a desbordar ni en periodos de retorno de 500 años. Con respecto al efecto que genera el fenómeno del niño en

el nivel de socavación en pilares y estribos es no significativo debido a que la altura del puente es de 8 metros.

- c) Las características geotécnicas del río Jequetepeque son óptimas, posee un diámetro medio de partículas de 47.25mm, debido a esto una posible ocurrencia del fenómeno El Niño no afectaría el nivel de socavación de pilares y estribos de manera significativa.
- d) La socavación fue analizada mediante el método de LISCHTVAN-LEVEDIEV el indica una socavación general de 0.10m siendo una socavación no significativa.
- e) La socavación producida en estribos y pilares por los métodos de K. F. ARTAMONOV y NEILL dieron como resultados una socavación de 2.4m y 3.14m respectivamente.
- f) El presente estudio nos permitió determinar que el puente está construido adecuadamente para soportar las máximas avenidas del Fenómeno El Niño debido a que en la construcción del puente se respetó el ancho efectivo del Río Jequetepeque, dándole una luz adecuada al puente de 212m, es así que las agua no encuentran resistencia para socavar y discurren naturalmente hasta el mar, además, la máxima socavación alcanza los 3.14 m siendo menor a la socavación de diseño del puente que es de 6m de profundidad. En estas circunstancias, la hipótesis planteada deviene en nula. No por errores en los fundamentos teóricos de las fórmulas hidráulicas, sino por una errónea percepción del fenómeno que motivó los deslizamientos aluviales producidos por el niño costero.

4.5. RECOMENDACIONES

- a) Debido a la importancia del diámetro medio de las partículas del río, se recomienda realizar las calicatas necesarias de manera zonificada a lo largo del lecho del río para garantizar un adecuado estudio de suelos.
- b) Para realizar el modelamiento hidráulico con el HEC-RAS, es muy importante tener un levantamiento topográfico muy preciso que nos permita obtener secciones transversales reales de la zona de estudio, garantizando así un adecuado modelamiento y la obtención de parámetros hidráulicos confiables.
- c) Efectuar el estudio hidrológico de la cuenca donde se realizará el proyecto de un puente es importante para conocer el caudal de diseño en un periodo de retorno determinado, con el objetivo de garantizar un modelamiento hidráulico confiable utilizando el HEC.-RAS.
- d) Realizar investigaciones sobre partículas del suelo ya que se ha demostrado que es el elemento más importante para resistir el fenómeno de socavación.
- e) Realizar diseños de puentes respetando el ancho efectivo del río y la profundidad de socavación mayor a la generada por eventos climáticos extremos, ya que, estos eventos son imprevistos y se requieren construcciones que brinden la seguridad necesaria.

REFERENCIAS

- Avalos Castro, C. M. y Zegarra Tordoya, J. C. (2018). *Evaluación de la socavación que producirá en pilares y estribos del puente moche, la derivación del caudal de la quebrada San Idelfonso*. Obtenido de: <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14115>
- Cabrera C. y Universidad Nacional de Ingeniería. (2019). *Modelación de huaycos como herramienta para la Gestión y Prevención de Desastres*.
- Centro de Predicciones Climáticas y el Instituto Internacional de Investigación de Clima y Sociedad. (2017). *El Niño, Oscilación del Sur*, San Juan, Puerto Rico.
- Chirinos Sota, F. R. (2017). *Estudio de socavación de la subestructura de puente y análisis de estabilidad – caso puente Nicolás Dueñas de la ciudad de Lima en el 2017*. Obtenido de : http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/1411/Chirinos_SFR.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Comisión Multisectorial Encargada Del Estudio Nacional Del Fenómeno “EL NIÑO” – ENFEN (2017). *Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN EL NIÑO COSTERO 2017*. obtenido de: https://www.dhn.mil.pe/Archivos/Oceanografia/ENFEN/nota_tecnica/01-2017.pdf
- Cotrina C. y Hernandez G. (2017). *Estudio de la socavación del proyecto del puente el Inca ubicado en el rio Chorobal del distrito de Chao mediante simulación numérica unidimensional*. obtenido de: http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/4171/1/RE_ING.CIVIL_JHO

N.COTRINA_IVAN.HERNANDEZ_ESTUDIO.SOCAVACION.PROYECTO
.PUENTE.INCA_DATOS.pdf

Elbio F. M. (2016). *Socavación producida por el río Huallaga al puente colpa alta en la provincia de Huánuco, utilizando los métodos de Artamanov, Straub y maza, en el Hec-Ras.* Obtenido de:
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2627/MAS_ICIV-L_035.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Helberg, K. (1998). *Del Puente de la tragedia*, Revista Caretas N°1508, Lima – Perú.

Henríquez Soto, A. (2013). *Modelo de socavación en la base del pilar del puente mariscal Cáceres.* Obtenido de:
http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/434/TCIV_41.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Instituto Nacional De Defensa Civil – INDECI (2019). *Informe técnico N° 00020-2019-INDECI/11.0 cifras de víctimas y destrucción que dejó el Niño Costero en 2017 en el Perú.* Obtenido de: <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/02/Inf.-Tec.-020-2019-INDECI-DEE-distritos-Ayacucho-lluvias.pdf>

Ministerio De Transportes Y Comunicaciones (2019). *Manual De Hidrología, Hidráulica Y Drenaje.* Obtenido de:
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2016). *Manual de Puentes del Ministerio de Transporte y Comunicaciones*, Perú.

Muñoz Diaz. E. (2017). *Estudio de las causas del colapso de algunos puentes en Colombia*. Obtenido de: https://tycho.escuelaing.edu.co/contenido/encuentros-suelosyestructuras/documentos/tercer_ent/estudio_causas_colapso_algunos_puentes.pdf

Pérez Morales, G. B., Rodríguez, J. A. y Molina Aguilar J. P. (2009). *Ingeniería de Ríos*, Universidad Michoacana, Méjico.

Richardson E. y Lagasse P., *Stream Stability and Scour at Highway Bridges*. Compendium of Papers ASCE Water Resources Engineering Conferences 1991 to 1998. Virginia: ASCE, 1999.

Rocha A. (2008). *Erosión en pilares y estribos de puentes*.

Rocha Felices, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica fluvial*. Lima Perú: Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Rocha Felices, A. (2010). *Introducción a la hidráulica de obras viales* (3^{ra} edición). Lima, Peru: Fondo editorial del Instituto de la Construcción y Gerencia, capítulo 10 pág. 237 a pág. 264.

Rodriguez Diaz, H.A. (2010). *Hidraulica Fluvial. Fundamentos y aplicaciones*. Colombia editorial Escuela Colobiana de Ingeniería.

SANHAMI (2015). *Precipitación Anual según departamentos del 2001 al 2015*.

Smith D. W. (1976). *Bridge failures*. Volume 60 Issue 3, AGOSTO 1976, pp. 367-382 PARTE 1. Obtenido de: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/iicep.1976.3389>

Vásquez A. (2016). *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas*.

ANEXOS

Anexo 1. Señalización del puente Libertad



Anexo 2. Toma lateral del puente Libertad.



Anexo 3. Vista interna.



Anexo 4. Presencia de enrocado.



Anexo 5. Huella de nivel durante el fenómeno El Niño.



Anexo 6. Toma panorámica del puente Libertad



Anexo 7. Residuos del fenómeno El Niño.



Anexo 8. Equipo GPS Garmin Oregon 550



Anexo 9. Mallas Granulométricas para realizar el estudio de suelos.



Anexo 10. Análisis de datos del estudio granulométrico.

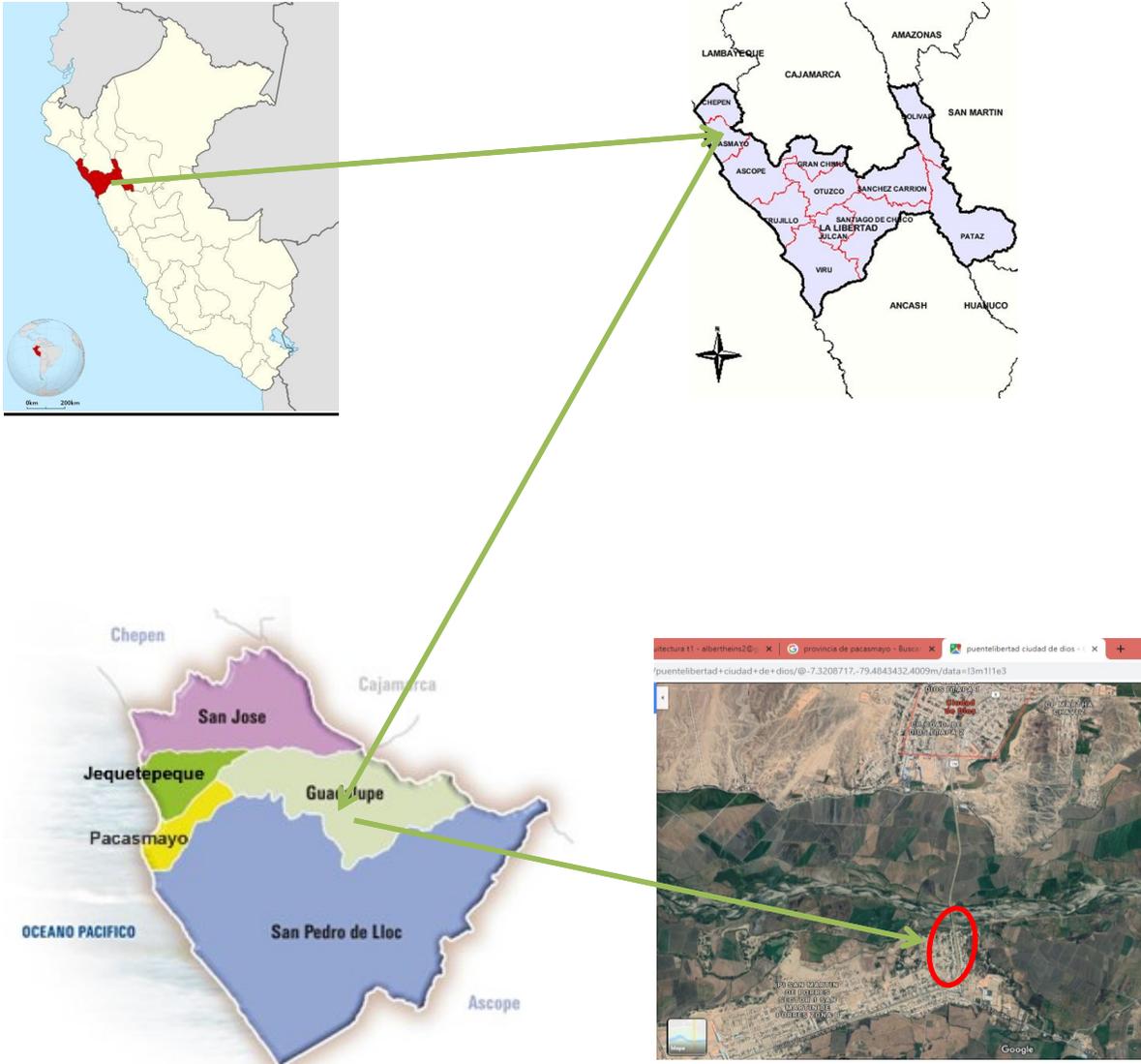
Probeta = 4198

Compección	Masa + probeta	Masa	Peso benesal	% 2	
0%	1	5832	1634	3000	91
2%	2	5830	1632	2900	60
4%		5912		2800	56
		5928		2700	52
		5994		2600	48
		6006		2500	44
		6038		2400	40
		6052		2300	36
		6078		2200	32
		6080		2100	28
		6070		2000	24
		6048		1900	20

Anexo 11. Análisis de datos del estudio granulométrico.



Anexo 12. Macrolocalización y Microlocalización del puente Libertad



Departamento	: La Libertad
Provincia	: Pacasmayo
Distrito	: Guadalupe
Centro Poblado	: Ciudad De Dios
Coordenadas UTM UPS	: WGS 84
Zona geográfica	: 17M
Coordenada Este	: 667728
Coordenada Norte	: 9190004
Altura	: 88 m.s.n.m.