



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Diseño hidráulico y estructural para encauzamiento del río Pollo,  
tramo puente Central - intersección río Huangamarca - Distrito  
Otuzco La Libertad**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Civil**

**AUTORES:**

Ildelfonso Rodríguez, Hilder Joel (ORCID: 0000-0003-3733-1674)

Zárate Mostacero, Pablo Roberto (ORCID: 0000-0002-7293-9012)

**ASESOR:**

Ing. Herrera Viloche, Alex Arquímedes (ORCID: 0000-0001-9560-6846)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

TRUJILLO – PERÚ

2020

## DEDICATORIA

Esta tesis dedico a mis padres, quienes con su esfuerzo, paciencia, motivación y amor me han permitido llegar a cumplir un sueño más en mi vida, gracias por inculcarme valores y principios, a mi hermano por su apoyo incondicional en todo momento, gracias por su entera confianza.

Dedico este proyecto de tesis a mis padres Pedro y Mónica, quienes fueron los pilares fundamentales a lo largo de todo este proceso universitario, brindándome su apoyo en todo momento. A mi hermana Juana quien estuvo también velando por mi bienestar y apoyándome en todo incondicional.

Hilder Joel Ildfonso Rodríguez

Pablo Roberto Zárate Mostacero

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi gratitud primeramente a Dios, de igual manera a la Universidad César Vallejo, a todos mis profesores y al asesor por ayudarme a culminar esta etapa tan importante en mi vida, finalmente expreso mi más grande agradecimiento a mi compañero de tesis por confiar en mi persona y llevar a cabo el desarrollo de esta investigación.

Doy gracias a Dios por haberme permitido llegar con bien hasta esta parte de mi vida, a mi compañero tesis que gracias a los conocimientos compartidos hicimos esto posible y también a nuestro asesor de tesis quien nos ayudó en todo momento.

Hilder Joel Ildfonso Rodríguez

Pablo Roberto Zárate Mostacero

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |      |
|---|------|
| CARÀTULA.....   | i    |
| DEDICATORIA .....   | ii   |
| AGRADECIMIENTO.....   | iii  |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS .....                                  | iv   |
| ÍNDICE DE TABLAS.....                                       | vi   |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                     | viii |
| RESUMEN.....  | ix   |
| ABSTRACT.....   | x    |
| I. INTRODUCCIÓN .....                                       | 1    |
| II. MARCO TEÓRICO .....                                     | 4    |
| III. METODOLOGÍA.....                                       | 11   |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación: .....                  | 11   |
| 3.2. Variables y operacionalización .....                   | 11   |
| 3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis ..... | 11   |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....   | 11   |
| 3.5. Procedimientos .....                                   | 11   |
| 3.6. Método de análisis de datos.....                       | 12   |
| 3.7. Aspectos éticos.....                                   | 12   |
| IV. RESULTADOS .....  | 12   |
| 4.1. Levantamiento Topográfico .....                        | 13   |
| 4.1.1 Generalidades .....                                   | 13   |
| 4.1.2 Objetivo general.....                                 | 13   |
| 4.1.3 Ubicación del área de estudio.....                    | 13   |
| 4.1.4 Área de influencia.....                               | 13   |
| 4.1.5 Descripción del levantamiento topográfico.....        | 14   |
| 4.1.5.1 Accesibilidad.....                                  | 14   |
| 4.1.6 Movimiento del personal .....                         | 14   |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| 4.1.7      | Equipos y personal utilizados.....                               | 15 |
| 4.1.8      | Software para el procesamiento de datos .....                    | 15 |
| 4.1.9      | Descripción de los trabajos en campo .....                       | 15 |
| 4.1.9.1    | Etapa preliminar .....   | 15 |
| 4.1.9.2    | Etapa de trabajo de campo.....                                   | 15 |
| 4.2.       | Estudio Hidrológico .....  | 19 |
| 4.2.1      | Generalidades .....  | 20 |
| 4.2.2.     | Descripción General De La Cuenca .....                           | 20 |
| 4.2.2.1.   | Delimitación del área.....                                       | 20 |
| 4.2.3.     | Parámetros geomorfológicos de la microcuenca .....               | 22 |
| 4.2.3.1.   | Parámetros de forma de la microcuenca .....                      | 22 |
| 4.2.3.2.   | Parámetros de relieve de la cuenca .....                         | 24 |
| 4.2.3.3.   | Altitud media.....   | 25 |
| 4.2.4.     | Análisis y tratamiento de la información hidrometeorológica..... | 27 |
| 4.2.4.1.   | Precipitaciones máximas diarias .....                            | 27 |
| 4.2.4.2.   | Periodo de Retorno.....  | 28 |
| 4.2.4.3.   | Análisis estadísticos.....                                       | 29 |
| 4.2.4.3.1. | Método de distribución normal .....                              | 29 |
| 4.2.4.3.2. | Método de distribución Pearson Tipo III .....                    | 32 |
| 4.2.4.3.3. | Distribución Log- Pearson Tipo III.....                          | 34 |
| 4.2.4.3.4. | Método de distribución Gúmbel.....                               | 37 |
| 4.2.4.4.   | Pruebas de Ajuste de los métodos estadísticos .....              | 38 |
| 4.2.4.4.1. | Distribución normal .....  | 38 |
| 4.2.4.4.2. | Distribución Log Pearson Tipo III .....                          | 41 |
| 4.2.4.4.3. | Distribución Pearson Tipo III .....                              | 43 |
| 4.2.4.4.4. | Método distribución Gúmbel.....                                  | 43 |
| 4.2.5.     | Caudal de diseño.....  | 45 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 4.2.5.1. | Método racional modificado .....                           | 45 |
| 4.3.     | Estudio de Suelos .....                                    | 48 |
| 4.3.2.   | Tramo 1: Progr. 0 + 060.00 km - Progr. 0 + 680.00 km ..... | 49 |
| 4.3.3.   | Tramo 2: Progr. 0 + 920.00 Km – Progr. 1 + 160.00 Km ..... | 50 |
| 4.3.4.   | Tramo 3: Progr. 2 + 300.00Km – Progr. 3 + 565.00 Km .....  | 51 |
| 4.4.     | Diseño Hidráulico .....                                    | 52 |
| 4.4.2.   | Tramo 1: Progr. 0 + 060.00 km - Progr. 0 + 680.00 km ..... | 52 |
| 4.4.2.1. | Ancho estable del río .....                                | 52 |
| 4.4.2.2. | Tirante máximo y altura de encauzamiento .....             | 53 |
| 4.4.2.3. | Socavación en tramos rectos .....                          | 56 |
| 4.4.2.4. | Socavación en curvas .....                                 | 57 |
| 4.4.2.5. | Fuerza Tractiva .....                                      | 57 |
| 4.4.3.   | Tramo 2: Progr. 0 + 920.00 Km – Progr. 1 + 160.00 Km ..... | 57 |
| 4.4.3.1. | Ancho estable del río .....                                | 57 |
| 4.4.3.2. | Tirante máximo y altura de encauzamiento .....             | 58 |
| 4.4.3.3. | Socavación en tramos rectos .....                          | 60 |
| 4.4.3.4. | Socavación en curvas .....                                 | 61 |
| 4.4.3.5. | Fuerza tractiva .....                                      | 61 |
| 4.4.4.   | Tramo 3: Progr. 2 + 300.00Km – Progr. 3 + 565.00 Km .....  | 62 |
| 4.4.4.1. | Ancho estable del río .....                                | 62 |
| 4.4.4.2. | Tirante máximo y altura de encauzamiento .....             | 63 |
| 4.4.4.3. | Socavación en tramos rectos .....                          | 65 |
| 4.4.4.4. | Socavación en tramos rectos .....                          | 66 |
| 4.4.4.5. | Fuerza Tractiva .....                                      | 66 |
| 4.5.     | Diseño Estructural .....                                   | 66 |
| 4.5.1.   | Tramo 1: Progr. 0 + 060.00 km - Progr. 0 + 680.00 km ..... | 67 |
| 4.5.1.1. | Consideraciones de diseño .....                            | 67 |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 4.5.1.2. | Diseño de muro de contención .....                         | 68  |
| 4.5.2.   | Tramo 2: Progr. 0 + 920.00 Km – Progr. 1 + 160.00 Km ..... | 78  |
| 4.5.2.1. | Consideraciones de diseño.....                             | 78  |
| 4.5.2.2. | Diseño de muro de contención.....                          | 78  |
| 4.5.3.   | Tramo 3: Progr. 2 + 300.00Km – Progr. 3 + 565.00 Km .....  | 87  |
| 4.5.3.1. | Consideraciones de diseño.....                             | 87  |
| 4.5.3.2. | Diseño de muro de contención .....                         | 88  |
| V.       | DISCUSIÓN.....   | 97  |
| VI.      | CONCLUSIONES.....  | 99  |
| VII.     | RECOMENDACIONES .....                                      | 100 |
|          | REFERENCIAS .....  | 101 |
|          | ANEXOS .....   | 1   |

## ÍNDICE DE TABLAS

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Tabla 1. | Accesibilidad a la Provincia de Otuzco desde Trujillo..... | 14 |
|----------|--|----|

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabla 2.  | BM establecidos para la nivelación.....  | 15 |
| Tabla 3.  | Puntos topográficos del Eje del río .....  | 16 |
| Tabla 4.  | Coordenadas de la subcuenca río Pollo.....   | 20 |
| Tabla 5.  | Cálculo de altitud media .....   | 24 |
| Tabla 6.  | Frecuencia de altitudes .....  | 26 |
| Tabla 7.  | Precipitaciones máximas diarias mensual (mm) .....   | 27 |
| Tabla 8.  | Precipitaciones máximas diarias mensual (mm) .....   | 29 |
| Tabla 9.  | Precipitaciones máximas diaria por el método normal según periodo de retorno .....         | 32 |
| Tabla 10. | Precipitación máxima diaria método Distribución Pearson Tipo III ....                      | 33 |
| Tabla 11. | Precipitaciones máximas Distribución Pearson Tipo III .....                                | 34 |
| Tabla 12. | Cálculo por el método de Distribución Log- Pearson Tipo III .....                          | 34 |
| Tabla 13. | Precipitaciones máximas diarias método Log Pearson Tipo III según periodo de retorno ..... | 37 |
| Tabla 14. | Precipitaciones máximas método Gúmbel.....   | 38 |
| Tabla 15. | Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov Distribución Normal.....                            | 40 |
| Tabla 16. | Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov Log Pearson Tipo III .....                          | 42 |
| Tabla 17. | Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov Distribución Gumbel.....                            | 44 |
| Tabla 18. | Resumen precipitaciones máximas según métodos probabilísticos..                            | 47 |
| Tabla 19. | Caudal de diseño para diferentes periodos de retorno.....                                  | 48 |
| Tabla 20. | Caudal de diseño para diferentes periodos de retorno.....                                  | 67 |
| Tabla 21. | Cálculo de pesos y momentos tramo 1.....   | 69 |
| Tabla 22. | Cálculo de los pesos y momentos producidos.....  | 72 |
| Tabla 23. | Cálculos de los pesos y momentos en curvas para el Tramo 1 .....                           | 76 |
| Tabla 24. | Consideraciones de diseño para el Tramo 2. ....  | 78 |
| Tabla 25. | Cálculo de pesos y momentos Tramo 2.....   | 79 |
| Tabla 26. | Cálculo de pesos y momentos tramos rectos. ....  | 82 |
| Tabla 27. | Cálculo de pesos y momentos en curvas.....   | 85 |



|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Tabla 28. | Consideraciones de diseño tramo 3.....   | 87 |
| Tabla 29. | Cálculo de pesos y momentos tramo recto.....   | 89 |
| Tabla 30. | Cálculo de pesos y momentos en curva.....  | 92 |
| Tabla 31. | Cálculo de pesos y momentos curvas.....  | 95 |
| Tabla 32. | Matriz de operacionalización de variables.....   | 2  |
| Tabla 33. | Vida útil de obras hidráulicas.....  | 3  |
| Tabla 34. | Valores recomendados Riesgo admisible de obras hidráulicas.....                                | 3  |
| Tabla 35. | Valor del Factor de Frecuencia K Según Cs Y Tr.....  | 4  |
| Tabla 36. | Cálculo de S distribución Pearson Tipo III.....  | 5  |
| Tabla 37. | Valor crítico de Alfa prueba Smirnov Kolmogorov.....   | 6  |
| Tabla 38. | Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana..... | 6  |
| Tabla 39. | Valores del coeficiente de rugosidad (n) Manning.....  | 7  |
| Tabla 40. | Coeficiente del Material del cauce (K).....  | 7  |
| Tabla 41. | Coeficiente de Tipo de Río (M).....  | 8  |
| Tabla 42. | Coeficiente de rugosidad para cauces naturales (KS).....                                       | 8  |
| Tabla 43. | Coeficiente de Contracción (u).....  | 8  |
| Tabla 44. | Coeficiente de Contracción ( $\beta$ ).....  | 9  |
| Tabla 45. | Valor de X según diametro de partícula.....  | 9  |
| Tabla 46. | Valor Crítico de arrastre necesario para materiales depositados en cauce del río.....          | 10 |

### ÍNDICE DE FIGURAS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1. | Mapa de Localización de la Provincia de Otuzco..... | 13 |
| Figura 2. | Localización del río Pollo.....                     | 14 |
| Figura 3. | Delimitación de la microcuenca del río Pollo.....   | 21 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 4.  | Obtención del grafico de la Curva hipsométrica .....                              | 25 |
| Figura 5.  | Ingreso de datos Distribución Normal .....  | 39 |
| Figura 6.  | Distribución Normal.....  | 39 |
| Figura 7.  | Ingreso de datos Distribución Log Pearson Tipo III .....                          | 41 |
| Figura 8.  | Distribución Log Pearson Tipo III.....  | 41 |
| Figura 9.  | Ingreso de datos Distribución Gumbel .....  | 43 |
| Figura 10. | Distribución Gumbel.....  | 44 |
| Figura 11. | Ubicación de calicata C - 3 de expediente técnico. ....                           | 50 |
| Figura 12. | Delimitación de calicata C - 2 de expediente técnico. ....                        | 51 |
| Figura 13. | Delimitación de calicata C - 1 de expediente técnico. ....                        | 52 |
| Figura 14. | Diseño de muro .....  | 68 |
| Figura 15. | Levantamiento topográfico con estación total.....                                 | 16 |
| Figura 16. | Toma de puntos en el margen del río.....  | 16 |
| Figura 17. | Punto crítico del primer tramo.....   | 17 |
| Figura 18. | Pérdida de terrenos en el margen derecho del río. ....                            | 17 |
| Figura 19. | Pérdida de terreno en margen derecho del tramo 2.....                             | 18 |
| Figura 20. | Socavación producida por la fuerza del agua en el margen derecho<br>tramo 2 ..... | 18 |
| Figura 21. | Socavación de margen derecho tramo 2. ....  | 19 |
| Figura 22. | Vivienda construida en el margen derecho del río del tramo 3. ....                | 19 |
| Figura 23. | Pérdida de terreno en ambos márgenes del tercer tramo. ....                       | 20 |
| Figura 24. | Pérdida de terreno margen derecho en la ciudad de Otuzco tramo 3.<br>.....        | 20 |

## RESUMEN

En el presente proyecto de investigación “Diseño hidráulico y estructural para encauzamiento del río Pollo, tramo puente Central - intersección río Huangamarca”, mediante el levantamiento topográfico se obtuvo la longitud del cauce del tramo en estudio siendo este de 4.3 km con una pendiente de 9% y ancho promedio de 8 m dentro del cual se identificó tres tramos críticos propenso a erosión, socavación y pérdidas de terreno obteniendo en el primer tramo 620 m de longitud y una pendiente de 6.4%, 240 m de longitud y 5.2% de pendiente para el segundo tramo, y finalmente 1265 m y una pendiente de 2.8% para el último tramo. Dicho cauce pertenece a la microcuenca del río Pollo en donde se producen grandes precipitaciones generando caudales máximos de diseño, los cuales han sido obtenidos mediante métodos estadísticos por cada tramo crítico, siendo estos de 42.31 m<sup>3</sup>/s para el primer tramo, 42.77 m<sup>3</sup>/s para el segundo y 51.73 m<sup>3</sup>/s para el tercer tramo con un periodo de retorno de 140 años. Estos caudales generan daños a los márgenes del cauce, por lo cual se propuso el diseño de muros de contención de concreto ciclópeo para el primer y segundo tramo con una altura de 2.30 m en tramos rectos y 2.5 m en curvas, para el tercer tramo una altura de 2.9 m en tramos y rectos y 3.00 m en curvas, así mismo para evitar la socavación de las aguas de las quebradas que alimentan al río se propuso el diseño de muros de mampostería en la intersección con una longitud de muro de 2.50 m.

**Palabras clave:** Caudales, diseño, estructura, muros.

## ABSTRACT

In the present research project "hydraulic and structural design for the filling of the Pollo river, central branch - intersection of the Huangamarca river", by means of topographic survey I obtained the length of the road in this section of 4.3 km with a slope of 9 % and an 8m long anchor within which three critical sections prone to erosion, decomposition and lost ground are identified in the first section 620m long and a 6.4% slope, 240m long and 5.2 % of slope to the second section, and finally 1265 m with 2.8% slope for the last section. It is part of the Pollo River microcontamination, where large precipitations occur that generate maximum flows, which have been obtained using statistical methods for each critical section, being 42.31 m<sup>3</sup> / s for the first section, 42.77 m<sup>3</sup> / s for the second and 51.73 m<sup>3</sup> / s for the third section with a return period of 140 years. These flows generate erosion, salvage and lost ground, for which I propose the design of cyclopean concrete retaining walls for the primer and the second section with a height of 2.30 m in straight sections and 2.5 m in curves, to have a single section. Height 2.9m long and straight and 3.00m in curves, to avoid rupture in the broken waters that feed the river the design of the masonry walls at the intersection with a wall length of 2.50m.

**Keywords:** Flows, design, structure, wall

## I. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Otuzco es una provincia que pertenece al departamento de La Libertad. Por su ubicación geográfica en la sierra Liberteña, hace de esta ciudad un lugar donde todos los años se presentan intensas lluvias, debido a que el río Pollo está ubicado dentro de la microcuenca Pollo, motivo por el cual, la ciudad soporta intensas lluvias que se dan en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril, en consecuencia, el río Pollo aumenta su caudal de una manera considerable, generando erosión, inundaciones, pérdida de cultivos, afectación en las cimentaciones de las viviendas construidas en ambos márgenes del río, desprendimiento de piedras, entre otros problemas económicos, sociales y de salud.

Desde el tramo evaluado se determinó que aguas arriba, el río es alimentado por quebradas y riachuelos, y al seguir su cauce, aumenta el caudal y la velocidad del agua. Así mismo, se aprecia en algunos tramos pequeños muros construidos artesanalmente con material propio del río, pero éstas no son estructuras resistentes, debido a que no han sido construidas en base a estudios técnicos, y se puede apreciar que, el agua está erosionando la uña de la cimentación. Con estas construcciones, los pobladores buscan evitar que sus terrenos sean erosionados, porque el suelo es utilizado para cultivos de verduras, legumbres, granos y otros, los cuales al momento de cosecha tiene un valor económico muy importante para ellos, debido a que la mayor parte de pobladores del caserío de Trigopampa se dedican a la actividad agrícola.

Como se puede deducir, el suelo es un elemento muy importante para las actividades productivas agrícolas, es allí que nace la necesidad de solucionar esta problemática cuando el río aumente su caudal, en tiempo de máximas avenidas, para ello, es importante construir una estructura que proteja los márgenes del río ya que, durante las temporadas de invierno, se producen deslizamientos de taludes y rocas, entre otros.

Por otra parte, el control de desborde del río, así como la protección de sus riberas no se han tomado ciertas consideraciones por parte de las autoridades, es por eso que en el año 2017 varias viviendas fueron arrasadas y destruidas

por el aumento del caudal en el cauce del río Pollo, llevándose también parte de la calle Arequipa pasando el puente del mismo nombre aguas abajo, estos tipos de sucesos ocasionan numerosas pérdidas económicas, y grandes riesgos como pérdida de vidas humanas.

Por tales motivos se propone el diseño hidráulico y estructural para encauzamiento del río Pollo, tramo Puente Central - intersección río Huangamarca- Distrito de Otuzco, el mismo que permitirá en épocas de invierno, donde se dan las máximas avenidas, sirvan para protección de las construcciones existentes y a su vez las áreas de cultivo.

Por lo anterior descrito la formulación problemática lo planteamos así: ¿Cuál sería el diseño hidráulico y estructural para encauzamiento del río Pollo, tramo Puente Central - intersección río Huangamarca - Distrito Otuzco La Libertad?

Este trabajo de investigación tiene las siguientes justificaciones:

#### Justificación teórica

Se justifica teóricamente ya que se hace uso de investigaciones existentes las cuales permiten validar y comparar resultados de investigaciones similares, así mismo, permitió utilizar métodos estadísticos para determinar caudales necesarios para la realización del diseño hidráulico y estructural, de esta manera permitió proponer un diseño estructural adecuado de acuerdo a la topografía del área de estudio.

#### Justificación metodológica

Se recopiló información de datos confiables como libros y tesis con estudios similares, además se realizarán los estudios establecidos siguiendo las normas vigentes para obtener un diseño óptimo.

#### Justificación social

En el presente trabajo, mediante los datos obtenidos se dará solución a los problemas de erosión, socavación, e inundaciones, mediante un encauzamiento en ambos márgenes del río. Para lo cual se plantea el diseño de un encauzamiento del río en el tramo puente Central - Intersección río Huangamarca, ya que es ahí donde presenta mayor erosión, socavación del río Pollo, perjudicando a viviendas, ocasionando desprendimiento de piedras, pérdida del talud.

Así mismo, este proyecto de investigación plantea la hipótesis de que: El diseño hidráulico y estructural para encauzamiento del río Pollo, tramo Puente Central - intersección río Huangamarca-Distrito Otuzco La Libertad, permitirá controlar el desborde del río Pollo hacia las viviendas y terrenos de cultivo en su máxima avenida.

Nuestra investigación tiene como objetivo general: Realizar el Diseño Hidráulico y Estructural para encauzamiento del río Pollo, tramo Puente central - Intersección río Huangamarca-distrito Otuzco, La Libertad; de la misma manera se plantea lograr los siguientes objetivos específicos: Realizar el levantamiento topográfico del río Pollo, realizar el estudio hidrológico según datos hidrometeorológicos, analizar las características del suelo mediante ensayo de mecánica de suelos, realizar el diseño hidráulico del río Pollo y proponer el diseño estructural en los puntos más críticos.

## II. MARCO TEÓRICO

Para tener una mayor comprensión en relación al proyecto de investigación, se tomó como referencia investigaciones ya realizadas, que ayudan a sustentar y fundamentar el contenido de lo mencionado con anterioridad:

En Chile, Linco (2015) en su tesis “Diseño de defensas fluviales río cruces en San José de la Mariquina”, tuvo como objetivo principal realizar diseños de defensas ribereñas, para ello diseñó dos tipos de defensas, el primero con enrocado de base 0.40 m y el otro diseño con base de 0.50 m con un peso de 200kg cada uno. Así mismo, para los taludes usó materiales del terraplén, determinando que no hay socavación en todo lo largo del canal, sin embargo, se recomienda usar cimentaciones de 1.5m y 0.5m de profundidad. Concluyó que la opción planteada y el diseño cumplían con sus objetivos planteados que era generar protección a estructuras afectadas, según sus antecedentes descritos y modelaciones para las crecidas durante 100 años.

En Nevada, Poudel (2017) en su tesis: “Surface hydrologic modeling and analyzing watershed hydrologic response to landcover change”, la principal razón de su investigación fue realizar un modelo simple de hidrología para modelar la escorrentía de una lluvia, y así proponer algún diseño estructural para drenajes del agua que producen las lluvias en una ciudad, por eso planteó una serie de herramientas que permitieron entender el comportamiento de estos fenómenos naturales usando el modelo de infiltración Green Ampt para calcular el caudal; así mismo realizó pruebas en dos cuencas de pequeño tamaño tomando como datos lluvias dadas en el año 2012 para simular y evaluar la cantidad de precipitación pluvial que se dio y así estimar inundaciones en escenarios diferentes de la ciudad como el estacionamiento en UNLV. Finalmente, su investigación propuso que el modelo de Green Ampt se podría utilizar para simular la escorrentía de lluvias en microcuencas, teniendo en cuenta que los caudales máximos van a depender del coeficiente de rugosidad al aplicar Manning.

Luján (2017) en su tesis “Uso de gaviones para mejorar la defensa ribereña del Río Huaycoloro, zona de Huachipa distrito de Lurigancho, Lima 2017”, tuvo como objetivo usar gaviones para mejorar la resistencia a la socavación del río en estudio,



para ello diseñó muros de contención con malla de acero y caja rectangular para que sea llenado con material del mismo río y así mejorar las defensas de la ribera y proteger a los taludes para evitar desbordes en el futuro. Por tal motivo su tesis determinó que usar gaviones contribuye a mejorar eficazmente la resistencia contra la erosión, y la socavación que produce el agua.

Así mismo, Farroñay (2017) en su tesis “Propuesta de diseño de muros mixtos de gaviones y de mampostería de piedra para la defensa ribereña del río Rímac en los kilómetros 34-35 Lurigancho – Chosica”, tuvo como propósito la construcción de 500 metros de enrocado haciendo uso de muros de contención de concreto y piedras grandes, así mismo, construir gaviones para proteger márgenes del río Rímac. El estudio se realizó con los datos de la estación Chosica, determinando que la cuenca en los meses de junio a noviembre presentó menor cantidad de recurso hídrico, según estos datos obtenidos con diferentes estudios realizados pudo definir las propiedades hidráulicas para el diseño del tirante, el cual sirvió para definir la altura que tuvo la defensa del río y el tipo de estructura, según la velocidad máxima que se registró en estudios. En base a esos datos determinó, realizar muros de contención con concreto ciclópeo en el margen derecho con 4.5 m de altura en tramos donde las pendientes son de 1.0%, así mismo planteó una descolmatación en los 0+380km a 0+520 km con 1.0 m de profundidad para el margen izquierdo muros de 4.0m de altura.

Según Alanya (2017) en su tesis “Sistema de prevención y control de erosión en la ribera del río San Fernando tramo Chayhuamayo - Shucusma, Huancayo – Junín”, buscó determinar un tipo de sistema de prevención y controlar la erosión de las riberas del río San Fernando, determinando que en épocas de máximas avenidas el caudal máximo es  $10.13 \text{ m}^3/\text{s}$  para luego determinar su caudal de diseño  $68.04 \text{ m}^3/\text{s}$  para lo cual el caudal llegó a influir considerablemente en el deterioro del río, llegando a concluir que para prevenir desborde el sistema para defensa fue el diseño estructural de muro de gaviones.

Evangelista (2017) en su tesis “Identificación de zonas inundables y propuesta de defensa ribereña del sector Salinas 89 en el río Chancay”, la finalidad de su investigación fue reconocer todas las áreas que se pueden inundar debido a la

influencia que generó el río Chancay – sector salinas 89. Realizó los estudios, teniendo en cuenta los parámetros hidrológicos, tomando datos específicamente del lugar, para que pueda aplicar el método de Gumbel y determinar su caudal de diseño de  $147.03 \text{ m}^3/\text{s}$ , con 100 años como periodo de retorno. En conclusión, su propuesta fue, la defensa ribereña debería de tener una altura de 2.30m, donde el alto del muro deberá ser mucho mayor para las máximas avenidas que posteriormente puedan llegar a darse.

Según Flores (2015) en su tesis “Propuesta y análisis de diseño de defensas ribereñas en el río Llave zona rural C.P. Santa Rosa de Huayllata - Llave”, propuso un diseño para proteger el río Llave, realizó estudios de ingeniería como: levantamiento topográfico, estudio de suelos, hidrológicos, etc., para después decidir un diseño apropiado y óptimo para el lugar de estudio. Con su información analizada, optó por seleccionar la estructura conocida como dique, haciendo un enrocado que sirva como recubrimiento por las características que tiene el río Llave, además este diseño reunió todas las condiciones necesarias comparadas con otros tipos de estructuras, así mismo estimó que para 50 años como periodo de retorno el caudal sería de  $1203 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Según Huamán y Rodríguez (2017) en la revista “Generación de caudales medios mensuales de la cuenca Grande (Mashcón) impactada por actividad minera”, usaron el modelo Scholz para estimar caudales mensuales medios, para ello usaron una data de 48 años en río Grande; considerando las precipitaciones pluviales de todo el año, determinando que el mes que más llovió fue marzo con 158.6 mm y el mes con menor precipitación de 10.6 mm fue en julio. Finalmente, el modelo de Lutz Schol usado, estimó caudales medios de 71.2 mm al mes en temporada de más lluvia y 46.9 mm al mes en época de estiaje.

Según Valdez (2018) en su tesis “Evaluación de las defensas ribereñas del río Chicama pautas para controlar su erosión en el sector punta moreno - provincia de gran Chimú”, con la finalidad de mejorar y analizar estructuras ya existentes de defensas, planteó un nuevo modelo de defensa que sea más óptimo para que controle la erosión del río, de esta manera estaría protegiendo tierra para cultivo que están en los márgenes de este, de la misma manera contribuir a que no se

deteriore la vía de comunicación que está en el margen del río, ya que esta estaba en peligro todos los años por el aumento de caudal del río Chicama, por ser el más caudaloso de la región la Libertad, motivo por el cuales la construcción existente se dañaría generando tráfico vehicular, pasajeros varados y aislamiento de pueblos que hacen uso de esta vía de comunicación ocasionando pérdidas en los diferentes actividades de los pobladores, perdida de propiedades, terrenos agrícolas, y hasta la pérdida de la vida. Es por eso que, según sus estudios realizados, concluyó con la propuesta de la construcción de un dique con enrocado de 3.00 m de altura, y una uña de 2.50m de profundidad con un acho de 3.80m, 5.0m ancho de corona.

Espinoza y Torres (2015) en sus tesis “diseño hidráulico y estructural de diques para el encauzamiento del rio Virú entre Zaraque y Tomabal, provincia de Virú – departamento de La Libertad”, tuvieron como objetivo realizar un diseño para encauzar el río Virú, para ello realizaron estudios de suelos, levantamiento topográfico para evaluar los puntos críticos, estudio hidrológico mediante métodos estadísticos para la obtención de caudales, etc. Concluyeron que su caudal de diseño fue de 382,095 m<sup>3</sup>/s, con 50 años como periodo de retorno, así mismo planteó el diseño de 3 diques con 80 m de ancho para encauzar el río.

Así como nos basamos en investigaciones de tesis ya realizadas, para comprender un poco más del tema a desarrollar, también nos apoyamos en una base teórica normativa que ayudarán a entender mejor la propuesta de esta investigación. Para este proyecto se tuvo que conocer las características del terreno mediante la topografía, para ello Según Giménez (2007), se aplica con métodos, para ello se necesita contar con la ayuda de instrumentos como: nivel, teodolito y estación total que permitan representar las formas naturales de un terreno. De esta manera se podrá proponer cualquier tipo de diseño, además determinar la localización de puntos en un determinado lugar de la tierra, y determinar sus elevaciones para elaborar planos.

Después de realizar el levantamiento topográfico, se tuvo que conocer el ciclo hidrológico de la cuenca es por eso que según Mijares (1992) un ciclo no tendrá final ni un inicio, porque siempre estará en cualquier parte de la superficie terrestre evaporándose por los rayos solares, de esta manera se evaporará para formas las nubes, y luego generar las lluvias, y este proceso se repetirá muchas veces. El

agua que escurrirá por la superficie generaría corrientes que desembocaran en el mar para nuevamente evaporarse y seguir el ciclo.

En la visita de campo al río Pollo se comprobó que los márgenes del río están erosionados es por eso que Según Cisneros José y otros (2012) sostiene que, uno de los principales elementos que causan la erosión hídrica, es la energía cinética que producen las precipitaciones y el agua que va circulando por toda la superficie, y que con una determinada velocidad va a desprender y poner en movimiento a las partículas que conforman el suelo. Por tal motivo en esta investigación primeramente se realizó un estudio hidrológico para conocer el comportamiento del río según datos meteorológicos y cálculos en base a métodos estadísticos para determinar los caudales que se generan anualmente debido a las grandes precipitaciones que se dan en la microcuenca del río Pollo, para ello se tuvo en cuenta las diferentes características geomorfológicas de la microcuenca del río Pollo para determinar el caudal del río.

Así mismo, se entiende que, en una cuenca las precipitaciones se dan dentro de un área geográfica natural que está delimitada por una división topográfica, y esta capta las lluvias para drenar las aguas de escorrentía hacia un río principal. (Vásquez, 2016), esta cuenca está conformada por microcuencas, las cuales reciben a las lluvias con fuerte intensidad y que duran poco tiempo, así mismo en estas sus características físicas tienen más importancia que el cauce del río (Villón, 2002), por ende, en esta investigación se estudió la microcuenca del río Pollo para determinar una serie de características que permitieron calcular el caudal de diseño las cuales facilitan determinar el factor de forma, según Horton (1932) está definida por:

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Dónde:

F= factor de forma

A=área de la cuenca

L= longitud del eje de la cuenca

Determinado “F” se encontró el índice de compacidad, según Gravelius (1914) se determina relacionando el perímetro de una circunferencia en relación al perímetro que tiene la cuenca, y se puede calcular de la siguiente manera:

$$k = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Dónde:

P = perímetro

A = área cuenca

Con los datos obtenido de la cuenca se calculó la curva hipsométrica según Zavoianu (1985) una curva hipsométrica es una gráfica que representa en el eje horizontal las diferentes áreas de la cuenca que están por encima de muchas alturas. Si se requiere se puede representar las áreas en porcentajes totales. Una vez obtenida la curva según (Rocha, 1998) señala que el flujo de la curva, se dan en los márgenes exteriores donde presenta mayor erosión, al contrario, sucede cuando se da en la curva interior, donde se acumula la sedimentación. Por esta razón estos fenómenos naturales propios de la dinámica pluvial se dan constantemente y solo queda contrarrestar sus efectos. En los márgenes exteriores de los ríos se debe proteger contra la erosión por lo que podría recurrirse a poner una protección con defensas continuas o un sistema de espigones.

Para lograr el diseño hidráulico según Villanueva (2017) se deberán realizar una serie de medidas para dar solución a problemas que son generados por la fuerza del agua que provocan erosión en taludes del río y de sus márgenes que lo contiene, de esta manera se va a prevenir y controlar estos daños con un buen diseño hidráulico y estructura, para ello es importante es conocer la capacidad de carga del suelo mediante un estudio de suelo, para lograr esto según Juárez y Rico (2005) en la mecánica de suelos se harán uso de las leyes de mecánica y la hidráulica para estudiar el proceder de los suelos, determinando las propiedades físicas, químicas y su capacidad portante a través de su clasificación de suelos.

Una vez obtenido los datos del diseño hidráulico se procedió a proponer un encauzamiento en el cual según Martin (2002) es cualquier intervención donde se

toma el tramo de un río o tramo de cauce cuyo objetivo de proteger contra inundaciones que se dan en las máximas avenidas pluviales. Asimismo, se interviene con obras de aprovechamiento de los ríos y otras estructuras que puedan interactuar con la misma.

Dentro de los diferentes tipos de diseños estructurales para encauzamiento tenemos los muros de contención con gaviones: estos muros presentan características extremadamente simples, sin embargo, su estructura final tendrá unas características técnicas importantes por lo que se puede considerar los gaviones como estructuras de contención.

Los tipos de muros con gaviones según sus características son los siguientes:

- Tipo caja: estos forman bloques rectangulares con un área en la base de un metro cuadrado y alturas que varía entre 0.5 a 1m. su separación interna se hace mediante espacios a cada metro, por lo que es más fácil el montaje de los elementos. La malla se conforma por acero.
- Tipo saco: el tejido se construye de malla y alambre grueso, sus dimensiones varían entre 2 a 5m de largo y su diámetro alrededor de 0.65m. Este gavión es de diseño rápido, lo cual facilita su montaje haciendo uso de maquinaria.
- Tipo colchón: se utiliza para cubrir estructuras y proteger contra la erosión de taludes en los ríos. Este tipo de gaviones tienen espesores de 0.17 a 0.3m, 2m de ancho y 3 a 6m de largo CIDELSA (2017).

Muros de contención por gravedad: se construye con concreto ciclópeo siendo muy económico para su construcción ya que usa un 0.3 % de piedra grande.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación:

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014) esta investigación fue de tipo cuantitativa.

**Diseño de investigación:** Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), el diseño a utilizar para este proyecto es no-experimental transversal de tipo descriptivo (simple), así mismo el esquema a seguir es el siguiente:

M ——— O

Dónde:

M: Lugar donde se va a realizar el proyecto de investigación.

O: Información recolectada del lugar a estudiar.

#### 3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente: Anexo 3.1

#### 3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

- **Población:** pobladores aledaños que viven a lo largo del río Pollo en el tramo puente Central – intersección con río Huangamarca.
- **Muestra:** tramo Puente Central (km 00+000.00) - intersección río Huangamarca (km 04+300.00) - distrito Otuzco.
- **Muestreo:** No probabilístico según la problemática ubicada en la zona de estudio.

#### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

##### a) Técnicas

- Observación de la zona en estudio.

##### b) Instrumentos de recolección de datos

- Ficha de observación (Anexo 5.2)

#### 3.5. Procedimientos

- Se realizó el estudio topográfico.
- Obtención de datos hidrometeorológicos proporcionados por el SENAMHI.
- Trabajo en gabinete y procesamiento de datos del estudio hidrológico para obtención de caudales de diseño.
- Identificación de tramos críticos y propuesta de diseño estructural para encauzamiento.

### **3.6. Método de análisis de datos**

Para esta investigación se usó softwares computacionales tales como:

- ArcGIS: para delimitar la microcuenca mediante las cartas nacionales.
- Civil 3d: procesamiento de datos topográficos para obtener el perfil longitudinal y secciones transversales de los tramos críticos.
- Excel: realizar los cálculos para obtener los caudales de diseño mediante los métodos probabilísticos.
- AutoCAD: diseño de los diferentes planos que serán requeridos para la investigación.
- Word: se utilizará para la redacción y presentación de todos los datos obtenidos.

### **3.7. Aspectos éticos**

En esta propuesta, precisamos total autenticidad y veracidad en relación al procesamiento de datos, cálculos y resultados que se han obtenido para esta investigación, ya que se basó en normas técnicas.

- Norma E-0.50 suelos y cimentaciones - RNE
- Manual de hidrología, hidráulica y drenaje – MTC
- Norma E-0.60 concreto armado –RNE

## **IV. RESULTADOS**



## 4.1. Levantamiento Topográfico

### 4.1.1 Generalidades

Sé realizó con la finalidad de conocer las características de la superficie del terreno y así poder contar con el plano topográfico adecuado que facilite las proyecciones y planteamiento de los diseños de los componentes del proyecto “Diseño hidráulico y estructural para encauzamiento del río Pollo, tramo puente Central - intersección río Huangamarca, Distrito Otuzco, La Libertad”.

### 4.1.2 Objetivo general

Realizar el levantamiento topográfico teniendo en cuenta las características ya sean de forma artificial o natural encontrados en el campo necesario para el proyecto “Diseño hidráulico y estructural para encauzamiento del río Pollo, tramo puente Central - intersección río Huangamarca, Distrito Otuzco, La Libertad”.

### 4.1.3 Ubicación del área de estudio

Departamento : La libertad  
Provincia : Otuzco  
Distrito : Otuzco

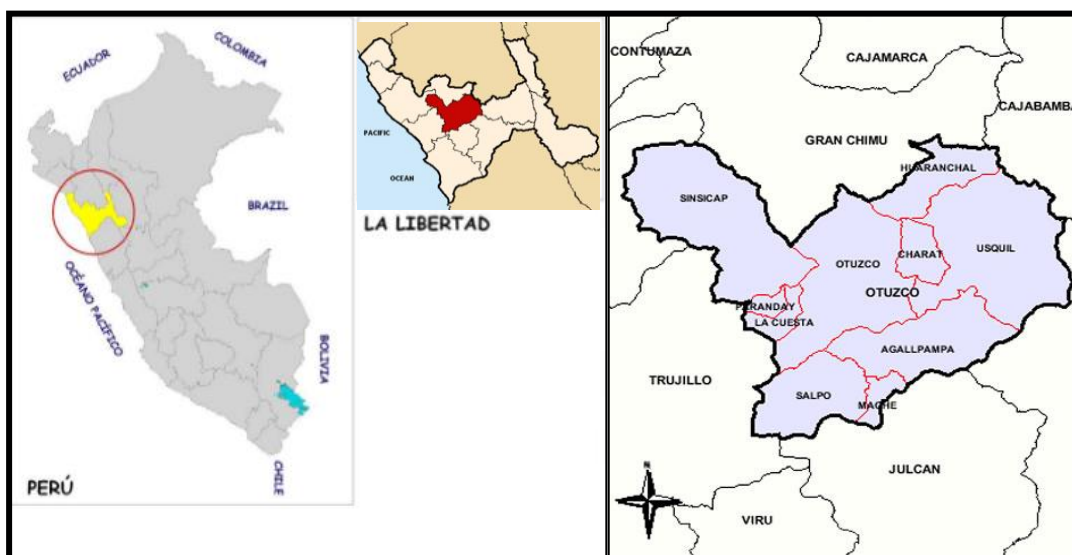


Figura 1. Mapa de Localización de la Provincia de Otuzco

Fuente: elaboración propia de los autores.

### 4.1.4 Área de influencia

Está definida por el área geográfica del distrito de Otuzco, Provincia de Otuzco, departamento La Libertad.

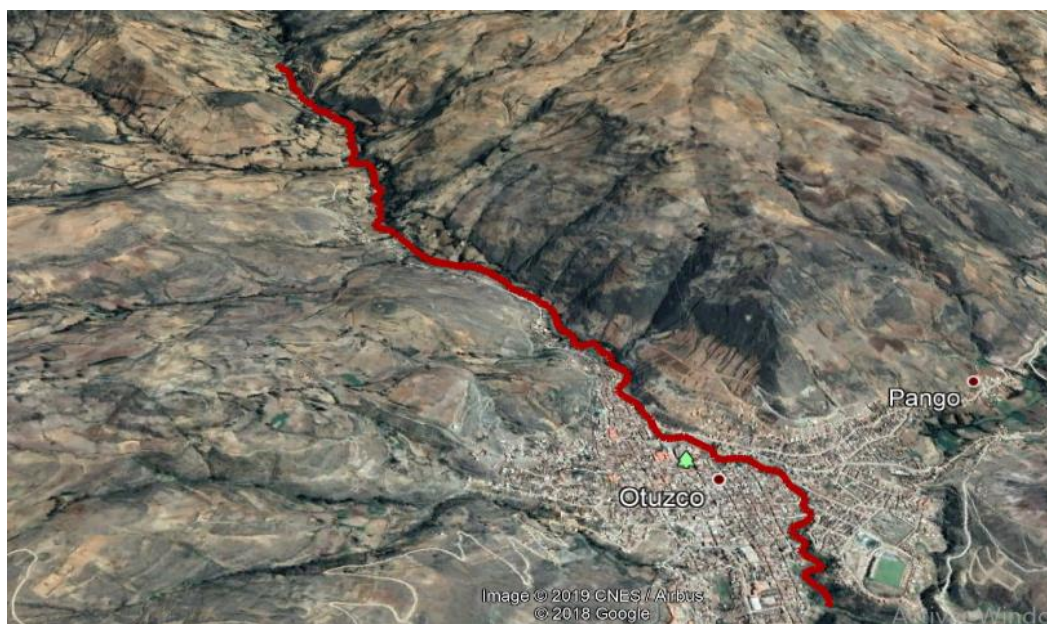


Figura 2. Localización del río Pollo

Fuente: elaboración propia de los autores.

**Zona:** entre el tramo Puente Trigopampa - intersección del río Otuzco y río Huangamarca – Provincia de Otuzco

**Coordenadas UTM:**

- **Punto Inicial:** N: 9127912.109 E:766913.919
- **Punto Final:** N: 9125059.532 E:768817.931

**4.1.5 Descripción del levantamiento topográfico.**

**4.5.1.1 Accesibilidad**

Tabla 1. Accesibilidad a la Provincia de Otuzco desde Trujillo.

| Desde      | Hasta      | Carret. | Distancia (km) | tiempo (min) | tipo de via | estado |
|------------|------------|---------|----------------|--------------|-------------|--------|
| Trujillo   | Dv. Otuzco | PE10A   | 74             | 90           | Asfaltado   | Bueno  |
| Dv. Otuzco | Otuzco     | 114     | 4.5            | 15           | Asfaltado   | Bueno  |

Fuente: elaboración propia de los autores.

**4.1.6 Movimiento del personal**

Fue necesario el traslado desde la ciudad de Trujillo hacia el distrito de Otuzco para la realización del estudio topográfico, lo cual implicó 4 días calendarios terminar el trabajo.

#### **4.1.7 Equipos y personal utilizados**

- Estación total marca modelo Geomax.
- 02 prismas
- 03 radios Motorola
- 01 computadora portátil marca Lenovo
- 01 técnico en topografía
- Operador de equipo (técnico)
- 02 ayudantes
- 01 personal auxiliar

#### **4.1.8 Software para el procesamiento de datos**

- Software Excel
- AutoCAD civil 3D 2020: procesamiento de los datos topográficos
- AutoCAD 2020: elaboración de los planos.
- Google earth: ubicación delimitación de subcuenca

#### **4.1.9 Descripción de los trabajos en campo**

##### **4.1.9.1 Etapa preliminar**

- Búsqueda de datos existentes.
- Visita y reconocimiento del área que abarca el proyecto.

##### **4.1.9.2 Etapa de trabajo de campo**

- Toma punto inicial de coordenadas y altura para ubicar la estación E-01 para configurar y poder empezar el levantamiento topográfico.
- Ubicación de BMS cada 500 metros
- Descarga de los puntos topográficos

Tabla 2. BM establecidos para la nivelación

| PUNTO | NORTE       | ESTE       | COTA     | DESCRIPCIÓN |
|-------|-------------|------------|----------|-------------|
| 1     | 9127912.016 | 766909.826 | 2785.000 | BM1         |
| 2     | 9127751.582 | 767034.567 | 2765.950 | BM2         |
| 3     | 9127586.761 | 767081.565 | 2754.550 | BM3         |
| 4     | 9127481.881 | 767106.381 | 2739.960 | BM4         |
| 5     | 9127270.910 | 767169.266 | 2721.987 | BM5         |
| 6     | 9127114.483 | 767270.651 | 2712.316 | BM6         |
| 7     | 9126954.238 | 767600.919 | 2697.132 | BM7         |
| 8     | 9126725.873 | 767869.286 | 2683.845 | BM8         |
| 9     | 9126414.381 | 768025.726 | 2668.966 | BM9         |
| 10    | 9126066.331 | 768258.388 | 2645.756 | BM10        |
| 11    | 9125702.669 | 768682.949 | 2625.751 | BM11        |
| 12    | 9125335.149 | 768783.786 | 2609.250 | BM12        |

Fuente: elaboración propia de los autores.

Tabla 3. Puntos topográficos del Eje del río

| PUNTO | NORTE       | ESTE       | COTA     | DESCRIPCIÓN |
|-------|-------------|------------|----------|-------------|
| 1     | 9127912.109 | 766913.919 | 2785.000 | EJE         |
| 2     | 9127906.548 | 766909.872 | 2784.000 | EJE         |
| 3     | 9127900.013 | 766907.356 | 2782.520 | EJE         |
| 4     | 9127887.138 | 766902.636 | 2780.920 | EJE         |
| 5     | 9127865.228 | 766891.706 | 2779.720 | EJE         |
| 6     | 9127848.337 | 766906.071 | 2777.660 | EJE         |
| 7     | 9127841.348 | 766937.675 | 2776.060 | EJE         |
| 8     | 9127845.612 | 766952.432 | 2774.460 | EJE         |
| 9     | 9127854.442 | 766966.512 | 2772.800 | EJE         |
| 10    | 9127853.340 | 766990.670 | 2771.300 | EJE         |
| 11    | 9127840.687 | 767006.706 | 2769.640 | EJE         |
| 12    | 9127820.964 | 767016.319 | 2768.040 | EJE         |
| 13    | 9127790.120 | 767026.946 | 2766.440 | EJE         |
| 14    | 9127765.530 | 767031.497 | 2764.840 | EJE         |
| 15    | 9127733.249 | 767045.121 | 2763.240 | EJE         |
| 16    | 9127719.913 | 767054.659 | 2761.580 | EJE         |
| 17    | 9127705.909 | 767060.843 | 2759.920 | EJE         |
| 18    | 9127680.999 | 767060.284 | 2758.260 | EJE         |
| 19    | 9127656.762 | 767058.834 | 2758.260 | EJE         |
| 20    | 9127629.735 | 767063.605 | 2756.660 | EJE         |
| 21    | 9127611.903 | 767067.820 | 2755.060 | EJE         |
| 22    | 9127592.860 | 767078.072 | 2753.460 | EJE         |
| 23    | 9127575.464 | 767093.077 | 2751.860 | EJE         |
| 24    | 9127560.428 | 767095.303 | 2750.260 | EJE         |
| 25    | 9127540.668 | 767085.372 | 2748.660 | EJE         |
| 26    | 9127524.547 | 767061.604 | 2747.060 | EJE         |

|    |             |            |          |     |
|----|-------------|------------|----------|-----|
| 27 | 9127506.737 | 767059.140 | 2745.400 | EJE |
| 28 | 9127494.974 | 767074.569 | 2743.740 | EJE |
| 29 | 9127490.687 | 767096.162 | 2742.140 | EJE |
| 30 | 9127479.672 | 767121.685 | 2740.540 | EJE |
| 31 | 9127467.098 | 767113.863 | 2738.880 | EJE |
| 32 | 9127456.446 | 767106.876 | 2738.280 | EJE |
| 33 | 9127420.026 | 767096.050 | 2735.620 | EJE |
| 34 | 9127400.812 | 767094.871 | 2734.020 | EJE |
| 35 | 9127386.415 | 767112.289 | 2732.480 | EJE |
| 36 | 9127371.357 | 767125.738 | 2730.820 | EJE |
| 37 | 9127344.499 | 767122.215 | 2729.220 | EJE |
| 38 | 9127325.022 | 767109.881 | 2727.620 | EJE |
| 39 | 9127296.983 | 767086.620 | 2725.960 | EJE |
| 40 | 9127277.109 | 767094.995 | 2724.300 | EJE |
| 41 | 9127261.804 | 767123.748 | 2722.640 | EJE |
| 42 | 9127264.532 | 767152.627 | 2720.980 | EJE |
| 43 | 9127248.090 | 767176.476 | 2719.320 | EJE |
| 44 | 9127232.783 | 767193.486 | 2717.660 | EJE |
| 45 | 9127214.531 | 767214.513 | 2716.000 | EJE |
| 46 | 9127197.929 | 767229.064 | 2714.340 | EJE |
| 47 | 9127175.247 | 767251.306 | 2712.680 | EJE |
| 48 | 9127160.530 | 767266.601 | 2711.020 | EJE |
| 49 | 9127110.625 | 767291.772 | 2709.360 | EJE |
| 50 | 9127080.686 | 767316.078 | 2707.700 | EJE |
| 51 | 9127054.596 | 767336.945 | 2706.040 | EJE |
| 52 | 9127014.904 | 767347.043 | 2704.380 | EJE |
| 53 | 9126986.953 | 767376.784 | 2702.720 | EJE |
| 54 | 9126982.873 | 767455.842 | 2701.060 | EJE |
| 55 | 9126974.666 | 767500.690 | 2699.400 | EJE |
| 56 | 9126971.596 | 767553.162 | 2697.740 | EJE |
| 57 | 9126932.551 | 767629.258 | 2696.080 | EJE |
| 58 | 9126913.759 | 767680.780 | 2694.420 | EJE |
| 59 | 9126887.843 | 767710.546 | 2692.760 | EJE |
| 60 | 9126854.908 | 767722.551 | 2691.100 | EJE |
| 61 | 9126824.880 | 767727.647 | 2689.440 | EJE |
| 62 | 9126813.977 | 767756.794 | 2687.780 | EJE |
| 63 | 9126801.377 | 767784.256 | 2686.120 | EJE |
| 64 | 9126802.462 | 767815.889 | 2684.460 | EJE |
| 65 | 9126752.058 | 767855.173 | 2682.800 | EJE |
| 66 | 9126712.969 | 767883.092 | 2681.140 | EJE |
| 67 | 9126699.777 | 767902.601 | 2679.480 | EJE |
| 68 | 9126670.067 | 767909.427 | 2677.820 | EJE |
| 69 | 9126621.684 | 767922.428 | 2676.160 | EJE |
| 70 | 9126573.661 | 767937.057 | 2674.500 | EJE |

|     |             |            |          |     |
|-----|-------------|------------|----------|-----|
| 71  | 9126540.020 | 767943.417 | 2672.840 | EJE |
| 72  | 9126512.874 | 767950.840 | 2671.180 | EJE |
| 73  | 9126503.736 | 767986.394 | 2669.520 | EJE |
| 74  | 9126445.204 | 768007.104 | 2667.860 | EJE |
| 75  | 9126409.189 | 768038.911 | 2666.200 | EJE |
| 76  | 9126424.601 | 768067.453 | 2664.540 | EJE |
| 77  | 9126418.099 | 768106.873 | 2662.880 | EJE |
| 78  | 9126386.166 | 768115.520 | 2661.220 | EJE |
| 79  | 9126364.522 | 768143.730 | 2659.560 | EJE |
| 80  | 9126328.868 | 768150.016 | 2657.900 | EJE |
| 81  | 9126284.784 | 768156.102 | 2656.240 | EJE |
| 82  | 9126251.408 | 768193.811 | 2654.580 | EJE |
| 83  | 9126195.231 | 768203.586 | 2652.920 | EJE |
| 84  | 9126163.102 | 768194.408 | 2651.260 | EJE |
| 85  | 9126137.472 | 768181.029 | 2649.600 | EJE |
| 86  | 9126086.239 | 768207.373 | 2647.940 | EJE |
| 87  | 9126069.373 | 768240.906 | 2646.280 | EJE |
| 88  | 9126030.917 | 768271.900 | 2644.620 | EJE |
| 89  | 9125981.117 | 768290.502 | 2642.960 | EJE |
| 90  | 9125926.331 | 768305.310 | 2641.300 | EJE |
| 91  | 9125899.300 | 768314.414 | 2639.640 | EJE |
| 92  | 9125880.539 | 768321.729 | 2639.640 | EJE |
| 93  | 9125864.221 | 768374.908 | 2637.980 | EJE |
| 94  | 9125854.712 | 768429.335 | 2636.320 | EJE |
| 95  | 9125823.694 | 768456.533 | 2634.660 | EJE |
| 96  | 9125817.196 | 768489.527 | 2633.000 | EJE |
| 97  | 9125787.900 | 768508.905 | 2631.330 | EJE |
| 98  | 9125755.437 | 768567.078 | 2629.670 | EJE |
| 99  | 9125756.041 | 768598.148 | 2628.010 | EJE |
| 100 | 9125745.822 | 768643.931 | 2626.350 | EJE |
| 101 | 9125716.365 | 768669.243 | 2624.690 | EJE |
| 102 | 9125697.898 | 768713.670 | 2623.030 | EJE |
| 103 | 9125667.658 | 768759.332 | 2621.370 | EJE |
| 104 | 9125598.729 | 768785.889 | 2619.710 | EJE |
| 105 | 9125570.533 | 768813.030 | 2618.050 | EJE |
| 106 | 9125530.288 | 768802.967 | 2616.390 | EJE |
| 107 | 9125492.861 | 768814.920 | 2614.730 | EJE |
| 108 | 9125443.384 | 768796.758 | 2613.770 | EJE |
| 109 | 9125424.242 | 768764.153 | 2612.410 | EJE |
| 110 | 9125392.801 | 768748.648 | 2611.750 | EJE |
| 111 | 9125370.089 | 768739.442 | 2609.090 | EJE |
| 112 | 9125349.073 | 768771.898 | 2608.430 | EJE |
| 113 | 9125308.319 | 768762.150 | 2607.770 | EJE |
| 114 | 9125271.812 | 768787.482 | 2606.870 | EJE |

|     |             |            |          |      |
|-----|-------------|------------|----------|------|
| 115 | 9125257.532 | 768806.005 | 2605.570 | EEJE |
| 116 | 9125238.630 | 768818.300 | 2604.220 | EJE  |
| 117 | 9125223.950 | 768784.230 | 2603.470 | EJE  |
| 118 | 9125186.851 | 768763.150 | 2602.456 | EJE  |
| 119 | 9125150.046 | 768796.244 | 2601.356 | EJE  |
| 120 | 9125107.126 | 768820.504 | 2600.346 | EJE  |
| 121 | 9125059.532 | 768817.931 | 2599.452 | EJE  |

Fuente: elaboración propia de los autores.

## 4.2. Estudio Hidrológico

#### 4.2.1 Generalidades

Para determinar las características principales de la microcuenca, primero se delimitó la microcuenca haciendo uso del software Google Earth y Global Mapper, empleando las cartas nacionales de la zona 17 disponibles en la página de GEO GPS PERÚ. Posteriormente se pasó al programa Civil 3D para generar curvas de nivel, y también se usó AutoCad para determinar el área de la microcuenca en estudio.

#### 4.2.2. Descripción General De La Cuenca

##### 4.2.2.1. Delimitación del área

###### A. Ubicación hidrográfica

La Microcuenca del río Pollo está ubicada en la Provincia Otuzco, Distrito de Otuzco, siendo su cauce principal el río que lleva el mismo nombre de la microcuenca.

###### B. Ubicación política

El área de estudio se ubica en el distrito de Otuzco, Provincia de Otuzco, Departamento La Libertad.

###### C. Ubicación geográfica

La ubicación geográfica según la aplicación Google Earth son las siguientes:

Tabla 4. Coordenadas de la subcuenca río Pollo

| PUNTO   | NORTE       | ESTE       | COTA     |
|---------|-------------|------------|----------|
| INICIAL | 9134778.381 | 766817.420 | 3772.380 |
| FINAL   | 9125059.532 | 768817.931 | 2599.452 |

Fuente: elaboración propia de los autores.



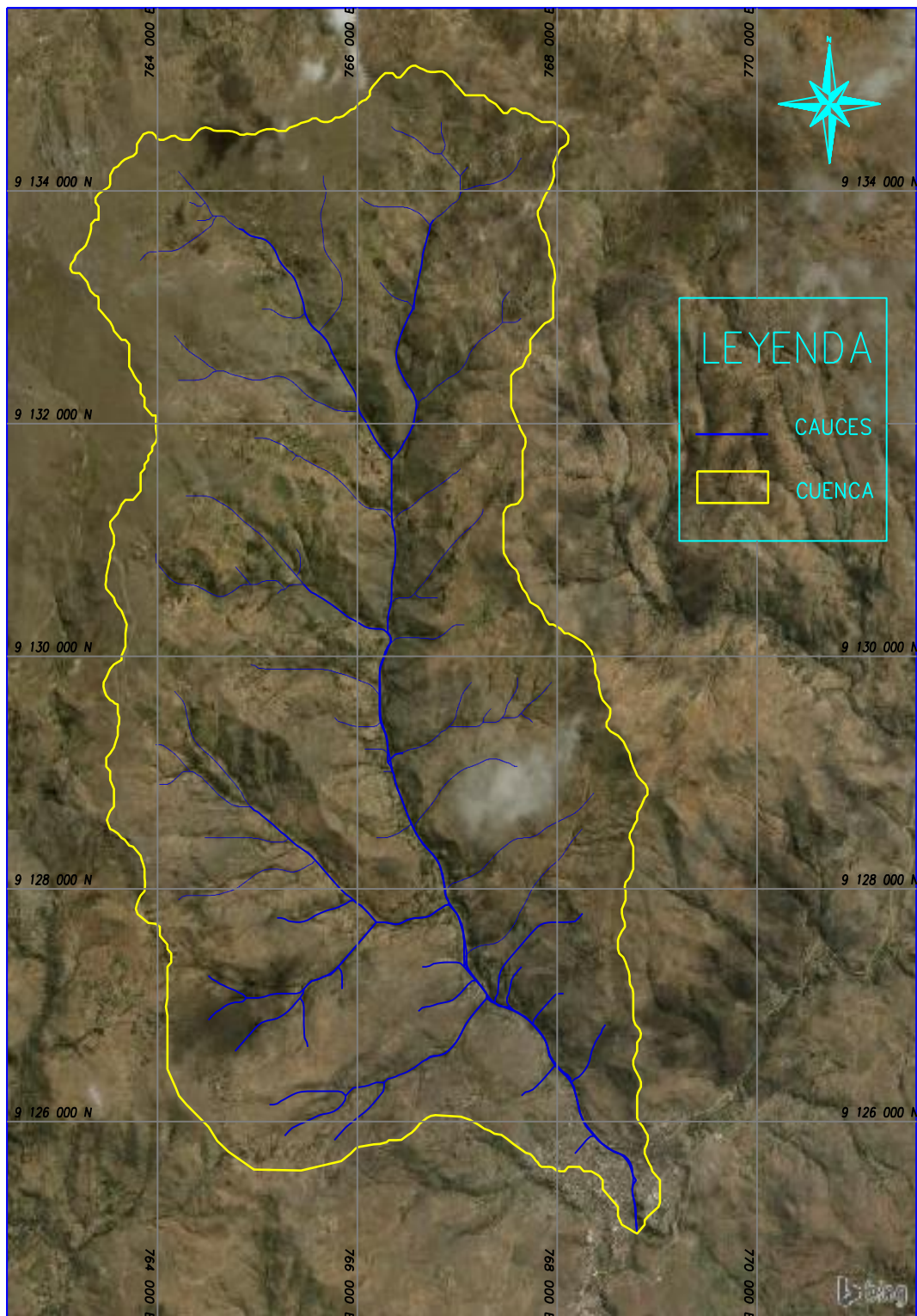


Figura 3. Delimitación de la microcuenca del río Pollo

Fuente: elaboración propia de los autores.

### 4.2.3. Parámetros geomorfológicos de la microcuenca

#### 4.2.3.1. Parámetros de forma de la microcuenca

##### A. Área

Superficie donde se dan los escurrimientos fluviales, en este proyecto tiene la siguiente área.

$$A = 40.30 \text{ km}^2$$

##### B. Perímetro

Con la ayuda del programa Autocad se determinó el perímetro de la microcuenca definido por la longitud de la línea que divide la delimitación de la microcuenca calculando un perímetro P.

$$P = 31.40 \text{ km}$$

##### C. Longitud mayor

Para determinar la longitud mayor se determinó por el recorrido que realiza el cauce desde la parte más alta hasta la parte más baja, donde terminará en una desembocadura obteniendo así la siguiente longitud.

$$L = 12.17 \text{ km}$$

##### D. Ancho promedio

Este definido mediante la siguiente fórmula.

$$Ap = \frac{A}{L}$$

Dónde:

*Ap*: Ancho promedio de la cuenca (km)

*A*: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

*L*: Longitud mayor del cauce (km)

$$Ap = \frac{40.30}{12.17}$$

$$Ap = 3.31 \text{ km}$$

### E. Coeficiente de compacidad

Está definida por la siguiente ecuación:

$$kc = 0.28 * \left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right)$$

Dónde:

$Kc$  : coeficiente de compacidad (Kc)

$A$ : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$P$ : perímetro de la cuenca (km)

$$kc = 0.28 * \left(\frac{31.40}{\sqrt{40.30}}\right)$$

$$kc = 1.38$$

### F. Factor de forma

$$Ff = \frac{Ap}{L}$$

Dónde:

$Ff$ : Factor de forma, adimensional

$Ap$ : Ancho promedio de la cuenca (km)

$A$ : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$L$ : Longitud del curso más largo (km)

$$Ff = \frac{3.31}{12.17}$$

$$Ff = 0.272$$

### G. Densidad de drenaje

$$Dd = \frac{Li}{A}$$

Dónde:

Dd: Densidad de Drenaje (km/km<sup>2</sup>)

Li: Longitud total de los cursos de agua (km)

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

$$Dd = \frac{12.17}{40.30}$$

$$Dd = 0.302$$

### 4.2.3.2. Parámetros de relieve de la cuenca

Tabla 5. Cálculo de altitud media

| Altitud | Áreas Parciales | Áreas Acumuladas | Áreas que quedan sobre las altitudes | % del total | % del total que queda sobre la altitud |
|---------|-----------------|------------------|--------------------------------------|-------------|--|
| 2500    | 0               | 0                | 40.3                                 | 0           | 100                                    |
| 2600    | 0.02            | 0.02             | 40.25                                | 0.05        | 99.95                                  |
| 2700    | 0.74            | 0.76             | 39.51                                | 1.84        | 98.11                                  |
| 2800    | 1.46            | 2.22             | 38.05                                | 3.63        | 94.49                                  |
| 2900    | 2.8             | 5.02             | 35.25                                | 6.95        | 87.53                                  |
| 3000    | 3.34            | 8.36             | 31.91                                | 8.29        | 79.24                                  |
| 3100    | 4.7             | 13.06            | 27.21                                | 11.67       | 67.57                                  |
| 3200    | 3.8             | 16.86            | 23.41                                | 9.44        | 58.13                                  |
| 3300    | 4.52            | 21.38            | 18.89                                | 11.22       | 46.91                                  |
| 3400    | 2.49            | 23.87            | 16.4                                 | 6.18        | 40.73                                  |
| 3500    | 3.97            | 27.84            | 12.43                                | 9.86        | 30.87                                  |
| 3600    | 2.63            | 30.47            | 9.8                                  | 6.53        | 24.34                                  |

|             |      |       |      |      |       |
|-------------|------|-------|------|------|-------|
| <b>3700</b> | 3.63 | 34.1  | 6.17 | 9.01 | 15.32 |
| <b>3800</b> | 2.51 | 36.61 | 3.66 | 6.23 | 9.09  |
| <b>3900</b> | 2.41 | 39.02 | 1.25 | 5.98 | 3.10  |
| <b>4000</b> | 0.75 | 39.77 | 0.5  | 1.86 | 1.24  |
| <b>4100</b> | 0.5  | 40.3  | 0    | 1.24 | 0.00  |
|             | 40.3 |       |      | 100  |       |

Fuente: elaboración propia de los autores.

Con los cálculos de la Tabla 5 se procedió a generar la curva hipsométrica.

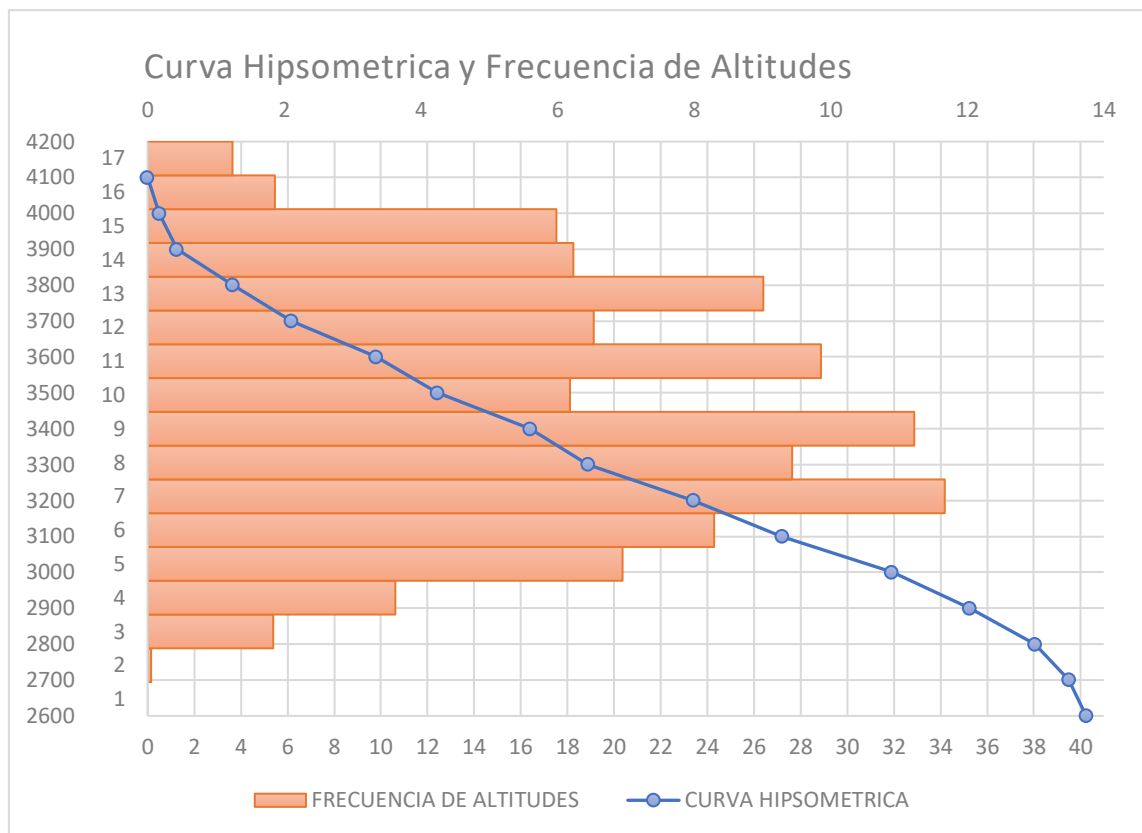


Figura 4. Obtención del gráfico de la Curva hipsométrica

Fuente: elaboración propia de los autores.

#### 4.2.3.3. Altitud media

Con los datos de la Tabla 5 se calculó un  $H_m = 3258.5$ , la cual se obtuvo ingresando con el área del 50% en el eje x, luego se trazó una perpendicular interceptando la curva hipsométrica. Seguidamente se trazó una horizontal hasta el eje Y.

Tabla 6. Frecuencia de altitudes

| <b>Altitud de Frecuencia Media (Em)</b> |                      |                |
|---|----------------------|----------------|
| <b>Áreas (A)</b>                        | <b>Altitud ( E )</b> | <b>AxE</b>     |
| <b>0.02</b>                             | 2550                 | 51.00          |
| <b>0.74</b>                             | 2650                 | 1961.00        |
| <b>1.46</b>                             | 2750                 | 4015.00        |
| <b>2.8</b>                              | 2850                 | 7980.00        |
| <b>3.34</b>                             | 2950                 | 9853.00        |
| <b>4.7</b>                              | 3050                 | 14335.00       |
| <b>3.8</b>                              | 3150                 | 11970.00       |
| <b>4.52</b>                             | 3250                 | 14690.00       |
| <b>2.49</b>                             | 3350                 | 8341.50        |
| <b>3.97</b>                             | 3450                 | 13696.50       |
| <b>2.63</b>                             | 3550                 | 9336.50        |
| <b>3.63</b>                             | 3650                 | 13249.50       |
| <b>2.51</b>                             | 3750                 | 9412.50        |
| <b>2.41</b>                             | 3850                 | 9278.50        |
| <b>0.75</b>                             | 3950                 | 2962.50        |
| <b>0.5</b>                              | 4050                 | 2025.00        |
| <b>40.3</b>                             |                      | 133157.50      |
|   | <b>Em</b>            | <b>3306.62</b> |

Fuente: elaboración propia de los autores.

## 4.2.4. Análisis y tratamiento de la información hidrometeorológica

### 4.2.4.1. Precipitaciones máximas diarias

Tabla 7. Precipitaciones máximas diarias mensual (mm)

| Precipitaciones máximas diarias mensual (mm) |       |       |       |                     |       |       |      |                          |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Departamento: La Libertad                    |       |       |       | Provincia: OTUZCO   |       |       |      | Tipo: CO – Meteorológica |       |       |       |       |       |
| Código: 108001                               |       |       |       | Latitud: 8°0'19.24" |       |       |      | Longitud: 78°36'25.57"   |       |       |       |       |       |
| Distrito: Salpo                              |       |       |       | Altitud: 3418 msnm. |       |       |      |                          |       |       |       |       |       |
| Año  | Ene   | Feb   | Mar   | Abr                 | May   | Jun   | Jul  | Ago                      | Set   | Oct   | Nov   | Dic   | Max   |
| 1990   | 12.30 | 12.50 | 14.00 | 12.60               | 9.20  | 6.40  | 0.00 | 0.00                     | 2.10  | 15.40 | 1.20  | 15.10 | 15.40 |
| 1991   | 15.20 | 17.10 | 18.20 | 15.00               | 9.40  | 0.50  | 0.00 | 0.00                     | 1.90  | 17.10 | 11.40 | 8.00  | 18.20 |
| 1992   | 14.50 | 9.00  | 17.20 | 16.40               | 10.10 | 4.10  | 6.10 | 1.30                     | 8.50  | 10.30 | 2.40  | 4.10  | 17.20 |
| 1993   | 13.60 | 20.10 | 18.40 | 10.10               | 10.60 | 1.20  | 2.00 | 1.00                     | 10.40 | 16.10 | 8.60  | 16.20 | 20.10 |
| 1994   | 16.10 | 13.40 | 25.20 | 20.00               | 13.10 | 6.20  | 3.50 | 0.00                     | 8.60  | 1.10  | 9.10  | 15.10 | 25.20 |
| 1995   | 17.60 | 9.20  | 6.40  | 8.10                | 8.10  | 4.00  | 1.20 | 1.40                     | 3.20  | 12.10 | 3.20  | 15.40 | 17.60 |
| 1996   | 16.30 | 28.00 | 13.20 | 7.00                | 12.00 | 3.20  | 0.10 | 4.00                     | 4.40  | 12.60 | 18.40 | 3.10  | 28.00 |
| 1997   | 10.20 | 24.10 | 9.20  | 12.10               | 4.00  | 12.10 | 2.10 | 0.00                     | 0.00  | 2.40  | 18.40 | 16.50 | 24.10 |
| 1998   | 9.40  | 35.00 | 30.10 | 25.00               | 13.80 | 0.00  | 2.40 | 1.60                     | 1.30  | 13.00 | 16.00 | 14.80 | 35.00 |
| 1999   | 11.20 | 14.00 | 16.40 | 7.00                | 9.30  | 4.10  | 0.00 | 3.20                     | 8.30  | 10.00 | 6.10  | 17.40 | 17.40 |
| 2000   | 12.70 | 18.30 | 20.00 | 20.60               | 13.60 | 11.50 | 3.60 | 10.80                    | 8.50  | 18.00 | 11.20 | 24.00 | 24.00 |
| 2001   | 18.70 | 12.80 | 29.20 | 21.60               | 10.00 | 6.50  | 4.00 | 0.30                     | 6.00  | 5.70  | 8.40  | 12.80 | 29.20 |
| 2002   | 7.50  | 28.40 | 19.70 | 9.80                | 3.80  | 12.00 | 0.30 | 0.00                     | 1.80  | 15.20 | 14.90 | 11.00 | 28.40 |
| 2003   | 12.60 | 29.30 | 25.20 | 23.00               | 4.20  | 10.00 | 5.80 | 0.00                     | 2.20  | 5.00  | 8.00  | 10.50 | 29.30 |
| 2004   | 8.00  | 16.90 | 10.40 | 10.20               | 3.40  | 0.20  | 2.00 | 0.00                     | 6.70  | 20.80 | 7.20  | 16.00 | 20.80 |
| 2005   | 16.30 | 10.00 | 10.20 | 12.40               | 1.00  | 0.60  | 0.00 | 9.80                     | 6.50  | 16.00 | 11.20 | 9.00  | 16.30 |
| 2006   | 13.60 | 30.60 | 33.00 | 20.50               | 8.40  | 5.50  | 0.00 | 8.60                     | 7.00  | 4.20  | 19.00 | 5.40  | 33.00 |
| 2007   | 12.90 | 10.40 | 20.40 | 12.60               | 7.40  | 0.00  | 5.60 | 5.40                     | 5.50  | 11.40 | 20.30 | 6.30  | 20.40 |
| 2008   | 12.50 | 16.00 | 16.00 | 16.00               | 4.30  | 6.00  | 3.50 | 2.40                     | 10.60 | 14.20 | 43.00 | 1.30  | 43.00 |
| 2009   | 30.50 | 10.30 | 14.20 | 12.20               | 4.80  | 3.00  | 9.20 | 3.60                     | 1.40  | 12.60 | 14.50 | 10.00 | 30.50 |

|      |       |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2010 | 10.20 | 24.90 | 9.60  | 15.00 | 6.40  | 6.40  | 2.00 | 5.40  | 18.20 | 6.00  | 10.00 | 10.40 | 24.90 |
| 2011 | 16.40 | 9.40  | 6.80  | 9.80  | 3.00  | 1.60  | 2.40 | 2.00  | 3.20  | 11.20 | 7.40  | 9.80  | 16.40 |
| 2012 | 15.00 | 32.80 | 26.80 | 11.30 | 9.00  | 3.00  | 0.00 | 1.40  | 1.70  | 9.00  | 9.30  | 10.20 | 32.80 |
| 2013 | 10.70 | 21.00 | 28.50 | 12.20 | 3.90  | 3.00  | 0.00 | 0.00  | 6.30  | 18.00 | 2.50  | 12.40 | 28.50 |
| 2014 | 19.00 | 10.20 | 18.20 | 13.50 | 8.80  | 10.00 | 6.60 | 10.20 | 13.00 | 10.40 | 14.40 | 30.40 | 30.40 |
| 2015 | 13.60 | 23.90 | 23.60 | 21.40 | 9.40  | 5.80  | 4.20 | 0.00  | 4.80  | 12.50 | 10.70 | 15.20 | 23.90 |
| 2016 | 8.70  | 21.00 | 10.00 | 15.00 | 3.20  | 0.80  | 0.00 | 0.00  | 17.40 | 30.70 | 4.60  | 4.20  | 30.70 |
| 2017 | 8.70  | 15.00 | 47.70 | 15.10 | 12.00 | 0.20  | 0.30 | 12.40 | 4.20  | 8.50  | 9.50  | 8.60  | 47.70 |
| 2018 | 6.30  | 12.00 | 15.40 | 8.60  | 5.00  | 2.60  | 0.00 | 0.00  | 15.00 | 3.50  | 6.00  | 20.00 | 20.00 |
| 2019 | 20.00 | 22.00 | 15.00 | 8.00  | 8.00  | 3.00  | 9.50 | 0.00  | 15.00 | 12.00 | 12.00 | 14.50 | 22.00 |

Fuente: Senhami

#### 4.2.4.2. Periodo de Retorno.

Según M.T.C (2008) para el cálculo del periodo de retorno en toda obra de hidráulica, se tiene que tener en cuenta la relación que existe entre la probabilidad de que suceda un evento, la duración de vida útil de la construcción a realizar y cuanto de riesgo va a tener. Este definido por:

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

Donde:

N: vida útil años

T: periodo de retorno

Despejando T de la ecuación anterior se obtiene el periodo de retorno:

$$T = \frac{1}{1 - (1 - R)^{1/n}}$$

Dónde:

n = 40 años (ver Tabla 8)



R = 0.25 (ver Tabla 9)

$$T = \frac{1}{1 - (1 - 0.25)^{1/40}} = 140 \text{ años}$$

El periodo de retorno en esta investigación fue de **140** años

#### 4.2.4.3. Análisis estadísticos.

Según (Monsalve), para el cálculo de precipitaciones máximas diarias se realizó mediante los análisis estadísticos probabilísticos tales como, Distribución normal, Distribución Pearson Tipo III, Distribución Log- Pearson Tipo III, Gúmbel. Las precipitaciones máximas con una data de 30 años se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Precipitaciones máximas diarias mensual (mm)

| Año  | Prec. Max | Año  | Prec. Max |
|------|-----------|------|-----------|
| 1990 | 15.40     | 2005 | 16.30     |
| 1991 | 18.20     | 2006 | 33.00     |
| 1992 | 17.20     | 2007 | 20.40     |
| 1993 | 20.10     | 2008 | 43.00     |
| 1994 | 25.20     | 2009 | 30.50     |
| 1995 | 17.60     | 2010 | 24.90     |
| 1996 | 28.00     | 2011 | 16.40     |
| 1997 | 24.10     | 2012 | 32.80     |
| 1998 | 35.00     | 2013 | 28.50     |
| 1999 | 17.40     | 2014 | 30.40     |
| 2000 | 24.00     | 2015 | 23.90     |
| 2001 | 29.20     | 2016 | 30.70     |
| 2002 | 28.40     | 2017 | 47.70     |
| 2003 | 29.30     | 2018 | 20.00     |
| 2004 | 20.80     | 2019 | 22.00     |

Fuente: elaboración propia de los autores.

#### 4.2.4.3.1. Método de distribución normal

## Parámetros de distribución

$n = 30$  años

$$\text{Precipitación Media anual} = X = \frac{\sum P_i}{n}$$

$$X = \frac{770.40}{30} = 25.68 \text{ mm}$$

$$\text{Desviación Estandar} = S = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P_m)^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{1772.39}{30 - 1}} = 7.82$$

Dónde:

$$\mu = X$$

$$\sigma = S$$

$$\text{Factor de Frecuencia} = K_T = \frac{X_T - \mu}{\sigma}$$

Dónde:

$$K_T = z$$

$$\text{Probabilidad de Ocurrencia} = p = \frac{1}{T}$$

Dónde:

T: tiempo en años

$$p = \frac{1}{50} = 0.02$$

$$\text{Variable Intermedia} = w = \left( \ln \left( \frac{1}{p^2} \right) \right)^{1/2}; \quad 0 < p \leq 0.5$$

$$w = \left( \ln \left( \frac{1}{0.02^2} \right) \right)^{1/2} = 2.80$$

VALOR DE (z) CORRESPONDIENTE PARA UNA PROBABILIDAD DE (0.02)

$$z = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328 w^2}{1 + 1.432788w + 0.189269w^2 + 0.001308w^3}$$

$$z = 2.8 - \frac{2.515517 + 0.802853(2.8) + 0.010328 (2.8)^2}{1 + 1.432788(2.8) + 0.189269(2.8)^2 + 0.001308(2.8)^3}$$

$$z = 2.05$$

*Precipitaciones máximas diarias para un periodo de retorno de 50 años*

$$z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

$$X = (z * \sigma) + \mu$$

Dónde:

X: precipitación máxima

Despejando "x" obtenemos

$$P = (2.05 * 7.82) + 25.68$$

$$P = 40.02 \text{ mm}$$

Tabla 9. Precipitaciones máximas diaria por el método normal según periodo de retorno

| T   | PROB. | W     | Z      | P. MAX |
|-----|-------|-------|--------|--------|
| 2   | 0.500 | 1.177 | 0.0000 | 25.68  |
| 5   | 0.200 | 1.794 | 0.8415 | 32.26  |
| 10  | 0.100 | 2.146 | 1.2817 | 35.70  |
| 25  | 0.040 | 2.537 | 1.7511 | 39.37  |
| 50  | 0.020 | 2.797 | 2.0542 | 41.74  |
| 100 | 0.010 | 3.035 | 2.3268 | 43.87  |
| 140 | 0.007 | 3.144 | 2.4504 | 44.84  |
| 200 | 0.005 | 3.255 | 2.5762 | 45.82  |

Fuente: elaboración propia de los autores.

#### 4.2.4.3.2. Método de distribución Pearson Tipo III

Este método se desarrolla realizando los siguientes cálculos.

- Se calcula la media de las precipitaciones máximas anuales.

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

$$X_m = \frac{770.40}{30} = 25.68$$

- Calcular desviación estándar S

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{1772.39}{30 - 1}} = 7.82$$

- Calcular coeficiente de asimetría Cs

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^3}{(n - 1)(n - 2)S^3}$$

$$C_s = \frac{12405.732}{(30 - 1)(30 - 2)7.82^3} = 1$$

Tabla 10. Precipitación máxima diaria método Distribución Pearson Tipo III

| <b>DISTRIBUCIÓN PEARSON TIPO III</b> |                  |                 |                     |                 |                 |
|--------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| <b>Año</b>                           | <b>Prec. Max</b> | <b>Posición</b> | <b>Prec. Mm/día</b> | $(X_i - X_m)^2$ | $(X_i - X_m)^3$ |
| <b>1990</b>                          | 15.4             | 1               | 47.7                | 484.88          | 10677.066       |
| <b>1991</b>                          | 18.2             | 2               | 43.0                | 299.98          | 5195.695        |
| <b>1992</b>                          | 17.2             | 3               | 35.0                | 86.86           | 809.558         |
| <b>1993</b>                          | 20.1             | 4               | 33.0                | 53.58           | 392.223         |
| <b>1994</b>                          | 25.2             | 5               | 32.8                | 50.69           | 360.944         |
| <b>1995</b>                          | 17.6             | 6               | 30.7                | 25.20           | 126.506         |
| <b>1996</b>                          | 28.0             | 7               | 30.5                | 23.23           | 111.980         |
| <b>1997</b>                          | 24.1             | 8               | 30.4                | 22.28           | 105.154         |
| <b>1998</b>                          | 35.0             | 9               | 29.3                | 13.10           | 47.438          |
| <b>1999</b>                          | 17.4             | 10              | 29.2                | 12.39           | 43.614          |
| <b>2000</b>                          | 24.0             | 11              | 28.5                | 7.95            | 22.426          |
| <b>2001</b>                          | 29.2             | 12              | 28.4                | 7.40            | 20.124          |
| <b>2002</b>                          | 28.4             | 13              | 28.0                | 5.38            | 12.487          |
| <b>2003</b>                          | 29.3             | 14              | 25.2                | 0.23            | -0.111          |
| <b>2004</b>                          | 20.8             | 15              | 24.9                | 0.61            | -0.475          |
| <b>2005</b>                          | 16.3             | 16              | 24.1                | 2.50            | -3.944          |
| <b>2006</b>                          | 33.0             | 17              | 24.0                | 2.82            | -4.742          |
| <b>2007</b>                          | 20.4             | 18              | 23.9                | 3.17            | -5.640          |
| <b>2008</b>                          | 43.0             | 19              | 22.0                | 13.54           | -49.836         |
| <b>2009</b>                          | 30.5             | 20              | 20.8                | 23.81           | -116.214        |
| <b>2010</b>                          | 24.9             | 21              | 20.4                | 27.88           | -147.198        |
| <b>2011</b>                          | 16.4             | 22              | 20.1                | 31.14           | -173.741        |
| <b>2012</b>                          | 32.8             | 23              | 20.0                | 32.26           | -183.250        |
| <b>2013</b>                          | 28.5             | 24              | 18.2                | 55.95           | -418.509        |
| <b>2014</b>                          | 30.4             | 25              | 17.6                | 65.29           | -527.514        |
| <b>2015</b>                          | 23.9             | 26              | 17.4                | 68.56           | -567.664        |
| <b>2016</b>                          | 30.7             | 27              | 17.2                | 71.91           | -609.800        |

|              |      |    |      |         |           |
|--------------|------|----|------|---------|-----------|
| <b>2017</b>  | 47.7 | 28 | 16.4 | 86.12   | -799.179  |
| <b>2018</b>  | 20.0 | 29 | 16.3 | 87.98   | -825.294  |
| <b>2019</b>  | 22.0 | 30 | 15.4 | 105.68  | -1086.374 |
| <b>Total</b> |      |    |      | 1772.39 | 12405.732 |

Fuente: elaboración propia de los autores.

Para hallar el valor de K (ver Tabla 22 Anexos), en función del valor de Cs y periodo de retorno (Tr).

- Calcular precipitación máxima para cada periodo de retorno

$$P = X_m + SK$$

Tabla 11. Precipitaciones máximas Distribución Pearson Tipo III

| <b>T (años)</b> | <b>PROB.</b> | <b>CS</b> | <b>K</b> | <b>Pmax(mm)</b> |
|-----------------|--------------|-----------|----------|-----------------|
| 2               | 0.5          | 1.0       | -0.164   | 24.40           |
| 5               | 0.2          | 1.0       | 0.758    | 31.61           |
| 10              | 0.1          | 1.0       | 1.340    | 36.16           |
| 25              | 0.04         | 1.0       | 2.043    | 41.65           |
| 50              | 0.02         | 1.0       | 2.542    | 45.55           |
| 100             | 0.01         | 1.0       | 3.022    | 49.31           |
| 140             | 0.007        | 1.0       | 3.209    | 50.77           |
| 200             | 0.005        | 1.0       | 3.489    | 52.96           |

Fuente: elaboración propia de los autores.

#### 4.2.4.3.3. Distribución Log- Pearson Tipo III

Para desarrollar este método se debe realizar los siguientes cálculos.

Tabla 12. Cálculo por el método de Distribución Log- Pearson Tipo III

| <b>DISTRIBUCIÓN LOG-PEARSON TIPO III</b> |                  |              |                     |           |                                   |                                   |
|--|------------------|--------------|---------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Año</b>                               | <b>Prec. Max</b> | <b>Orden</b> | <b>Prec. mm/día</b> | <b>Yi</b> | <b><math>(X_i - X_m)^2</math></b> | <b><math>(X_i - X_m)^3</math></b> |
| <b>1990</b>                              | 15.4             | 1            | 47.70               | 1.679     | 0.0825                            | 0.0237                            |
| <b>1991</b>                              | 18.2             | 2            | 43.00               | 1.633     | 0.0586                            | 0.0142                            |
| <b>1992</b>                              | 17.2             | 3            | 35.00               | 1.544     | 0.0233                            | 0.0036                            |
| <b>1993</b>                              | 20.1             | 4            | 33.00               | 1.519     | 0.0162                            | 0.0021                            |

|              |      |    |       |       |        |         |
|--------------|------|----|-------|-------|--------|---------|
| <b>1994</b>  | 25.2 | 5  | 32.80 | 1.516 | 0.0155 | 0.0019  |
| <b>1995</b>  | 17.6 | 6  | 30.70 | 1.487 | 0.0092 | 0.0009  |
| <b>1996</b>  | 28   | 7  | 30.50 | 1.484 | 0.0086 | 0.0008  |
| <b>1997</b>  | 24.1 | 8  | 30.40 | 1.483 | 0.0084 | 0.0008  |
| <b>1998</b>  | 35   | 9  | 29.30 | 1.467 | 0.0057 | 0.0004  |
| <b>1999</b>  | 17.4 | 10 | 29.20 | 1.465 | 0.0055 | 0.0004  |
| <b>2000</b>  | 24   | 11 | 28.50 | 1.455 | 0.0040 | 0.0003  |
| <b>2001</b>  | 29.2 | 12 | 28.40 | 1.453 | 0.0038 | 0.0002  |
| <b>2002</b>  | 28.4 | 13 | 28.00 | 1.447 | 0.0031 | 0.0002  |
| <b>2003</b>  | 29.3 | 14 | 25.20 | 1.401 | 0.0001 | 0.0000  |
| <b>2004</b>  | 20.8 | 15 | 24.90 | 1.396 | 0.0000 | 0.0000  |
| <b>2005</b>  | 16.3 | 16 | 24.10 | 1.382 | 0.0001 | 0.0000  |
| <b>2006</b>  | 33   | 17 | 24.00 | 1.380 | 0.0001 | 0.0000  |
| <b>2007</b>  | 20.4 | 18 | 23.90 | 1.378 | 0.0002 | 0.0000  |
| <b>2008</b>  | 43   | 19 | 22.00 | 1.342 | 0.0024 | -0.0001 |
| <b>2009</b>  | 30.5 | 20 | 20.80 | 1.318 | 0.0054 | -0.0004 |
| <b>2010</b>  | 24.9 | 21 | 20.40 | 1.310 | 0.0067 | -0.0005 |
| <b>2011</b>  | 16.4 | 22 | 20.10 | 1.303 | 0.0078 | -0.0007 |
| <b>2012</b>  | 32.8 | 23 | 20.00 | 1.301 | 0.0082 | -0.0007 |
| <b>2013</b>  | 28.5 | 24 | 18.20 | 1.260 | 0.0172 | -0.0023 |
| <b>2014</b>  | 30.4 | 25 | 17.60 | 1.246 | 0.0213 | -0.0031 |
| <b>2015</b>  | 23.9 | 26 | 17.40 | 1.241 | 0.0227 | -0.0034 |
| <b>2016</b>  | 30.7 | 27 | 17.20 | 1.236 | 0.0243 | -0.0038 |
| <b>2017</b>  | 47.7 | 28 | 16.40 | 1.215 | 0.0312 | -0.0055 |
| <b>2018</b>  | 20   | 29 | 16.30 | 1.212 | 0.0321 | -0.0058 |
| <b>2019</b>  | 22   | 30 | 15.40 | 1.188 | 0.0416 | -0.0085 |
| <b>Total</b> |      |    |       | 41.74 | 0.4656 | 0.0146  |

Fuente: elaboración propia de los autores.

Calcular el logaritmo de cada precipitación máxima anual

$$Y_i = \log x_i$$

- Calcular la media de los logaritmos

$$Y_m = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{n}, \text{ donde: } n = \text{cantidad de datos de precipitaciones}$$

$$Y_m = \frac{41.74}{30} = 1.39$$

- Calcular la desviación estándar de los logaritmos

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_m)^2}{(n - 1)}}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{0.4656}{(30 - 1)}} = 0.13$$

- Hallar el coeficiente de asimetría

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_m)^3}{(n - 1)(n - 2)S_y^3}$$

$$C_s = \frac{0.0146}{(30 - 1)(30 - 2)0.13^3} = 0.3$$

- Calcular

$$Y_T = Y_m + S_y K$$

- Calcular la precipitación máxima

$$P = \text{Antilog } Y_T$$

Valor del Factor de Frecuencia K Según  $C_s$  Y Tr. Método Log- Pearson Tipo III (ver Tabla 22 Anexo 4)



Tabla 13. Precipitaciones máximas diarias método Log Pearson Tipo III según periodo de retorno

| T (años) | PROB. | K      | YT    | Pmax(mm) |
|----------|-------|--------|-------|----------|
| 2        | 0.5   | -0.050 | 1.385 | 24.27    |
| 5        | 0.2   | 0.824  | 1.496 | 31.32    |
| 10       | 0.1   | 1.309  | 1.557 | 36.08    |
| 25       | 0.04  | 1.849  | 1.626 | 42.23    |
| 50       | 0.02  | 2.211  | 1.672 | 46.94    |
| 100      | 0.01  | 2.544  | 1.714 | 51.73    |
| 140      | 0.007 | 2.669  | 1.730 | 53.65    |
| 200      | 0.005 | 2.856  | 1.753 | 56.66    |

Fuente: elaboración propia de los autores.

#### 4.2.4.3.4. Método de distribución Gumbel

- Precipitación media anual

$$Xm = \frac{\sum Pi}{n}$$

$$Xm = \frac{770.40}{30} = 25.68mm$$

- Desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum(Pi - Pm)^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{1772.39}{30 - 1}} = 7.82$$

- Coeficiente de variación

$$Xm = \frac{S}{Xm} =$$

$$Cv = \frac{7.82}{25.68} = 0.3$$

➤ Calcular

$$Y = -\ln\left(-\ln\left(\frac{1}{1/T}\right)\right)$$

Donde:

T: periodo de retorno (años)

➤ Precipitación máxima

$$P_{\text{máx}} = Xm(1 + Cv(0.78 * Y - 0.45))$$

Tabla 14. Precipitaciones máximas método Gumbel

| T (años) | PROB. | Cv    | Y     | P.máx |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| 2        | 0.500 | 0.304 | 0.367 | 24.40 |
| 5        | 0.200 | 0.304 | 1.500 | 31.31 |
| 10       | 0.100 | 0.304 | 2.250 | 35.88 |
| 25       | 0.040 | 0.304 | 3.199 | 41.67 |
| 50       | 0.020 | 0.304 | 3.902 | 45.96 |
| 100      | 0.010 | 0.304 | 4.600 | 50.21 |
| 140      | 0.007 | 0.304 | 4.938 | 52.27 |
| 200      | 0.005 | 0.304 | 5.296 | 54.45 |

Fuente: elaboración propia de los autores.

#### 4.2.4.4. Pruebas de Ajuste de los métodos estadísticos

##### 4.2.4.4.1. Distribución normal

Para la comprobación este método se usó el programa Hidroesta mediante el Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov como se muestra en la Figura 4.

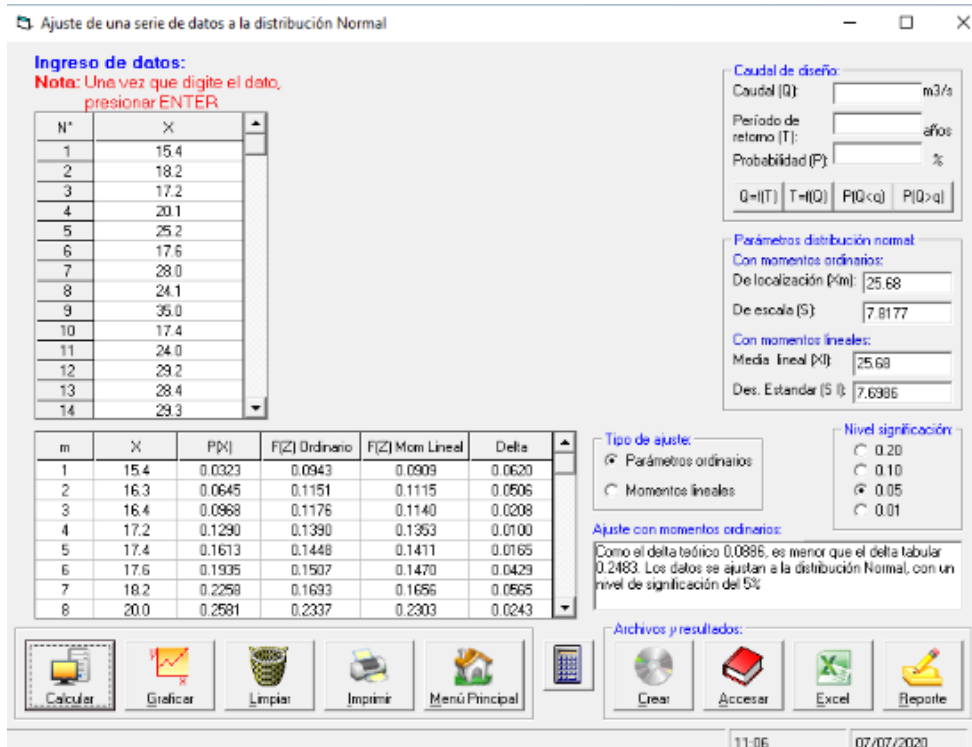


Figura 5. Ingreso de datos Distribución Normal

Fuente: Hiroesta.

Luego se generó el reporte obteniendo los resultados de la Tabla 14 y se obtuvo el grafico de la Figura 5.

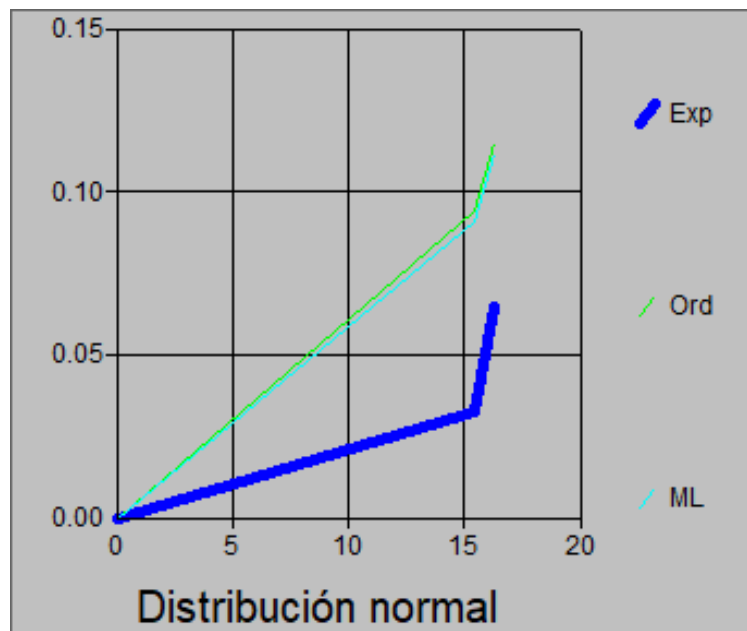


Figura 6. Distribución Normal

Fuente: Hidroesta.

Tabla 15. Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov Distribución Normal

| m  | X    | P(X)   | F(Z)<br>Ordinario | F(Z)<br>Mom. Lineal | Delta  |
|----|------|--------|-------------------|---------------------|--------|
| 1  | 15.4 | 0.0322 | 0.0943            | 0.0909              | 0.062  |
| 2  | 16.3 | 0.0645 | 0.1151            | 0.1115              | 0.0506 |
| 3  | 16.4 | 0.0968 | 0.1176            | 0.114               | 0.0208 |
| 4  | 17.2 | 0.129  | 0.139             | 0.1353              | 0.0100 |
| 5  | 17.4 | 0.1612 | 0.1448            | 0.1411              | 0.0165 |
| 6  | 17.6 | 0.1936 | 0.1507            | 0.147               | 0.0429 |
| 7  | 18.2 | 0.2257 | 0.1693            | 0.1656              | 0.0565 |
| 8  | 20.0 | 0.2581 | 0.2337            | 0.2303              | 0.0243 |
| 9  | 20.1 | 0.2903 | 0.2377            | 0.2343              | 0.0526 |
| 10 | 20.4 | 0.3226 | 0.2497            | 0.2464              | 0.0729 |
| 11 | 20.8 | 0.3548 | 0.2662            | 0.2631              | 0.0886 |
| 12 | 22.0 | 0.3871 | 0.3189            | 0.3163              | 0.0682 |
| 13 | 23.9 | 0.4194 | 0.4099            | 0.4086              | 0.0094 |
| 14 | 24.0 | 0.4516 | 0.4149            | 0.4136              | 0.0367 |
| 15 | 24.1 | 0.4839 | 0.4199            | 0.4187              | 0.064  |
| 16 | 24.9 | 0.5161 | 0.4603            | 0.4596              | 0.0559 |
| 17 | 25.2 | 0.5484 | 0.4755            | 0.4751              | 0.0729 |
| 18 | 28.0 | 0.5806 | 0.6167            | 0.6184              | 0.0360 |
| 19 | 28.4 | 0.6129 | 0.6361            | 0.6381              | 0.0231 |
| 20 | 28.5 | 0.6452 | 0.6408            | 0.6429              | 0.0043 |
| 21 | 29.2 | 0.6774 | 0.6737            | 0.6762              | 0.0037 |
| 22 | 29.3 | 0.7097 | 0.6783            | 0.6809              | 0.0313 |
| 23 | 30.4 | 0.7419 | 0.727             | 0.7301              | 0.0149 |
| 24 | 30.5 | 0.7742 | 0.7312            | 0.7344              | 0.043  |
| 25 | 30.7 | 0.8065 | 0.7396            | 0.7428              | 0.0668 |
| 26 | 32.8 | 0.8387 | 0.8188            | 0.8225              | 0.0199 |
| 27 | 33   | 0.871  | 0.8254            | 0.8292              | 0.0455 |
| 28 | 35   | 0.9032 | 0.8834            | 0.887               | 0.0198 |
| 29 | 43   | 0.9355 | 0.9866            | 0.9878              | 0.0512 |
| 30 | 47.7 | 0.9677 | 0.9976            | 0.9979              | 0.0298 |

Fuente: Hidroesta

Siendo el  $\Delta$  teórico  $0.0886 < \Delta$  tabular  $0.2483$ . la distribución Log-Pearson tipo 3, se ajusta con un 5% de significancia.

#### 4.2.4.4.2. Distribución Log Pearson Tipo III

Para la comprobación este método se usó el programa Hidroesta mediante el Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov como se muestra en la Figura 6.

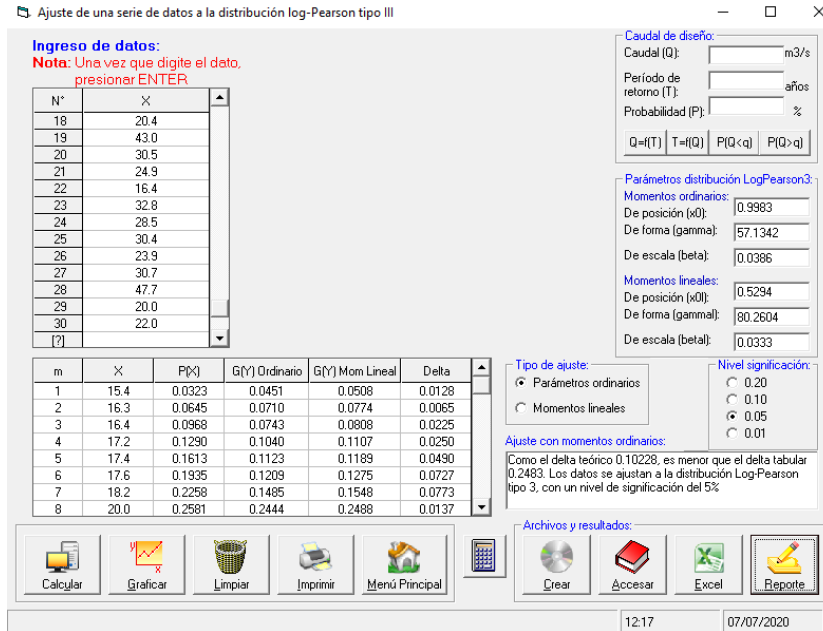


Figura 7. Ingreso de datos Distribución Log Pearson Tipo III

Fuente: Hidroesta.

Luego se generó el reporte obteniendo los resultados de la Tabla 15 y se obtuvo el grafico de la Figura 7.

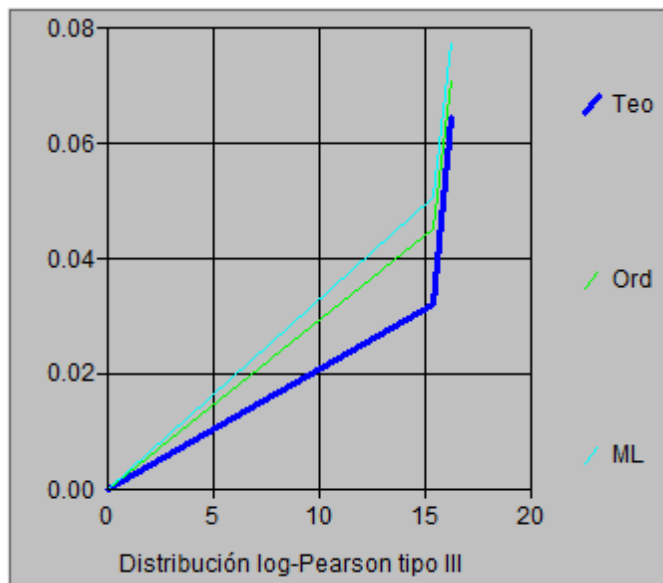


Figura 8. Distribución Log Pearson Tipo III

Fuente: Hidroesta.

Tabla 16. Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov Log Pearson Tipo III

| m  | X    | P(X)   | G(Y)<br>Ordinario | G(Y)<br>Mom<br>Lineal | Delta  |
|----|------|--------|-------------------|-----------------------|--------|
| 1  | 15.4 | 0.0323 | 0.0451            | 0.0508                | 0.0128 |
| 2  | 16.3 | 0.0645 | 0.071             | 0.0774                | 0.0065 |
| 3  | 16.4 | 0.0968 | 0.0743            | 0.0808                | 0.0225 |
| 4  | 17.2 | 0.129  | 0.104             | 0.1107                | 0.025  |
| 5  | 17.4 | 0.1613 | 0.1123            | 0.1189                | 0.049  |
| 6  | 17.6 | 0.1935 | 0.1209            | 0.1275                | 0.0727 |
| 7  | 18.2 | 0.2258 | 0.1485            | 0.1548                | 0.0773 |
| 8  | 20   | 0.2581 | 0.2444            | 0.2488                | 0.0137 |
| 9  | 20.1 | 0.2903 | 0.2502            | 0.2544                | 0.0402 |
| 10 | 20.4 | 0.3226 | 0.2676            | 0.2714                | 0.0549 |
| 11 | 20.8 | 0.3548 | 0.2913            | 0.2945                | 0.0635 |
| 12 | 22   | 0.3871 | 0.3636            | 0.3648                | 0.0235 |
| 13 | 23.9 | 0.4194 | 0.4766            | 0.4748                | 0.0573 |
| 14 | 24   | 0.4516 | 0.4824            | 0.4804                | 0.0307 |
| 15 | 24.1 | 0.4839 | 0.4881            | 0.486                 | 0.0042 |
| 16 | 24.9 | 0.5161 | 0.5327            | 0.5297                | 0.0166 |
| 17 | 25.2 | 0.5484 | 0.5489            | 0.5455                | 0.0005 |
| 18 | 28   | 0.5806 | 0.6829            | 0.6775                | 0.1023 |
| 19 | 28.4 | 0.6129 | 0.6994            | 0.6938                | 0.0865 |
| 20 | 28.5 | 0.6452 | 0.7034            | 0.6978                | 0.0582 |
| 21 | 29.2 | 0.6774 | 0.7302            | 0.7245                | 0.0528 |
| 22 | 29.3 | 0.7097 | 0.7339            | 0.7281                | 0.0242 |
| 23 | 30.4 | 0.7419 | 0.7716            | 0.7658                | 0.0297 |
| 24 | 30.5 | 0.7742 | 0.7748            | 0.769                 | 0.0006 |
| 25 | 30.7 | 0.8065 | 0.781             | 0.7753                | 0.0254 |
| 26 | 32.8 | 0.8387 | 0.8381            | 0.8327                | 0.0006 |
| 27 | 33   | 0.871  | 0.8427            | 0.8374                | 0.0282 |
| 28 | 35   | 0.9032 | 0.883             | 0.8783                | 0.0203 |
| 29 | 43   | 0.9355 | 0.9651            | 0.9631                | 0.0296 |
| 30 | 47.7 | 0.9677 | 0.9828            | 0.9818                | 0.0151 |

Fuente: Hidroesta

Siendo el  $\Delta$  teórico  $0.10228 < \Delta$  tabular  $0.2483$ . la distribución Log-Pearson tipo 3, se ajusta con un 5% de significancia.

#### 4.2.4.4.3. Distribución Pearson Tipo III

Según Linsley (1977) la prueba de Smirnov kolmogorv con ecuación siguiente:

$$F(x_m) = 1 - \frac{m}{n + 1}$$

$$S = \text{máx} |f(x_m) - P(x_m)|$$

Así mismo se debe de cumplir que  $S < \alpha$

$S = 0.1004$  (ver Tabla 23 Anexo 4)

$n = 30$  (número de datos)

$\alpha = 0.24$  (ver Tabla 24 Anexo 4)

Por lo tanto, se verifica que  $0.1004 < 0.24$ , los datos se ajustan al método de distribución Pearson Tipo III.

#### 4.2.4.4.4. Método distribución Gúmbel

Para la comprobación este método se usó el programa Hidroesta mediante el Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov como se muestra en la Figura 8.

**Ingreso de datos:**  
**Nota:** Una vez que digite el dato, presionar ENTER

| N°  | X    |
|-----|------|
| 18  | 20.4 |
| 19  | 43.0 |
| 20  | 30.5 |
| 21  | 24.9 |
| 22  | 16.4 |
| 23  | 32.8 |
| 24  | 28.5 |
| 25  | 30.4 |
| 26  | 23.9 |
| 27  | 30.7 |
| 28  | 47.7 |
| 29  | 20.0 |
| 30  | 22.0 |
| [?] |      |

| m | X    | P(X)   | G(Y) Ordinario | G(Y) Mom Lineal | Delta  |
|---|------|--------|----------------|-----------------|--------|
| 1 | 15.4 | 0.0323 | 0.0494         | 0.0565          | 0.0172 |
| 2 | 16.3 | 0.0645 | 0.0746         | 0.0829          | 0.0101 |
| 3 | 16.4 | 0.0968 | 0.0778         | 0.0863          | 0.0189 |
| 4 | 17.2 | 0.1290 | 0.1065         | 0.1156          | 0.0225 |
| 5 | 17.4 | 0.1613 | 0.1145         | 0.1237          | 0.0468 |
| 6 | 17.6 | 0.1935 | 0.1227         | 0.1321          | 0.0708 |
| 7 | 18.2 | 0.2258 | 0.1493         | 0.1589          | 0.0765 |
| 8 | 20.0 | 0.2581 | 0.2426         | 0.2513          | 0.0155 |

**Parámetros distribución Gumbel:**  
 Con momentos ordinarios:  
 De posición (μ): 22.1266  
 De escala (alfa): 6.1099  
 Con momentos lineales:  
 De posición (μl): 22.0285  
 De escala (alfal): 6.2799

**Nivel significación:**  
 0.20  
 0.10  
 0.05  
 0.01

**Ajuste con momentos ordinarios:**  
 Como el delta teórico 0.1016, es menor que el delta tabular 0.2483. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

**Archivos y resultados:**  
 Crear, Accesar, Excel, Reporte

Figura 9. Ingreso de datos Distribución Gumbel

Fuente: Hidroesta.

Luego se generó el reporte obteniendo los resultados de la Tabla 15 y se obtuvo el gráfico de la Figura 9.

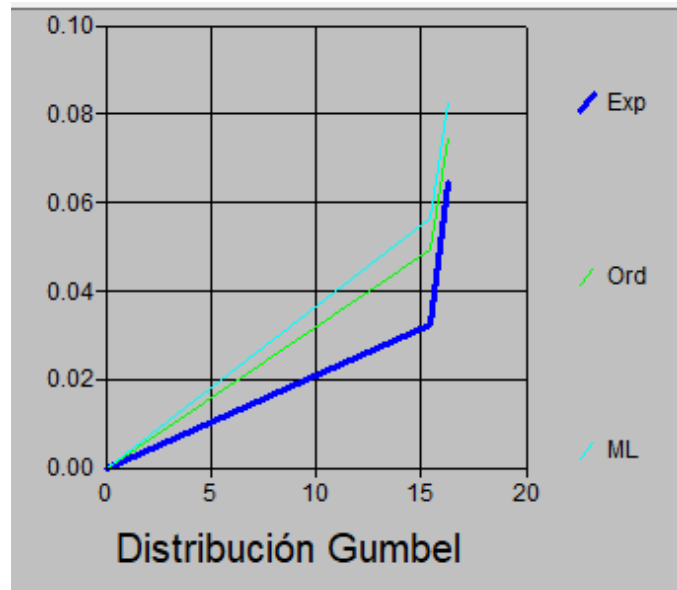


Figura 10. Distribución Gumbel

Fuente: Hidroesta.

Tabla 17. Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov Distribución Gumbel

| m  | X    | P(X)   | G(Y)<br>Ordinario | G(Y) Mom<br>Lineal | Delta  |
|----|------|--------|-------------------|--------------------|--------|
| 1  | 15.4 | 0.0323 | 0.0494            | 0.0565             | 0.0172 |
| 2  | 16.3 | 0.0645 | 0.0746            | 0.0829             | 0.0101 |
| 3  | 16.4 | 0.0968 | 0.0778            | 0.0863             | 0.0189 |
| 4  | 17.2 | 0.129  | 0.1065            | 0.1156             | 0.0225 |
| 5  | 17.4 | 0.1613 | 0.1145            | 0.1237             | 0.0468 |
| 6  | 17.6 | 0.1935 | 0.1227            | 0.1321             | 0.0708 |
| 7  | 18.2 | 0.2258 | 0.1493            | 0.1589             | 0.0765 |
| 8  | 20   | 0.2581 | 0.2426            | 0.2513             | 0.0155 |
| 9  | 20   | 0.2903 | 0.2426            | 0.2513             | 0.0477 |
| 10 | 20.1 | 0.3226 | 0.2483            | 0.2568             | 0.0743 |
| 11 | 20.4 | 0.3548 | 0.2654            | 0.2736             | 0.0894 |
| 12 | 22   | 0.3871 | 0.3603            | 0.3662             | 0.0268 |
| 13 | 23.9 | 0.4194 | 0.4733            | 0.476              | 0.0539 |
| 14 | 24   | 0.4516 | 0.4791            | 0.4816             | 0.0274 |
| 15 | 24.1 | 0.4839 | 0.4848            | 0.4872             | 0.0009 |
| 16 | 24.9 | 0.5161 | 0.5299            | 0.531              | 0.0137 |
| 17 | 25.2 | 0.5484 | 0.5462            | 0.5469             | 0.0021 |
| 18 | 28   | 0.5806 | 0.6822            | 0.6795             | 0.1016 |
| 19 | 28.4 | 0.6129 | 0.699             | 0.6959             | 0.0861 |
| 20 | 28.5 | 0.6452 | 0.703             | 0.6999             | 0.0579 |



|    |      |        |        |        |        |
|----|------|--------|--------|--------|--------|
| 21 | 29.2 | 0.6774 | 0.7304 | 0.7267 | 0.0529 |
| 22 | 29.3 | 0.7097 | 0.7341 | 0.7304 | 0.0244 |
| 23 | 30.4 | 0.7419 | 0.7725 | 0.7682 | 0.0305 |
| 24 | 30.5 | 0.7742 | 0.7757 | 0.7714 | 0.0015 |
| 25 | 30.7 | 0.8065 | 0.7821 | 0.7777 | 0.0244 |
| 26 | 32.8 | 0.8387 | 0.84   | 0.8353 | 0.0013 |
| 27 | 33   | 0.871  | 0.8448 | 0.8401 | 0.0262 |
| 28 | 35   | 0.9032 | 0.8855 | 0.881  | 0.0177 |
| 29 | 43   | 0.9355 | 0.9677 | 0.9652 | 0.0322 |
| 30 | 47.7 | 0.9677 | 0.9849 | 0.9834 | 0.0172 |

Fuente: Hidroesta

Siendo el  $\Delta$  teórico  $0.1016 < \Delta$  tabular  $0.2483$ . la distribución Gumbel, se ajusta con un 5% de significancia.

#### 4.2.5. Caudal de diseño

##### 4.2.5.1. Método racional modificado

$$Q = 0.278CIAK$$

Dónde:

**Q:** caudal máximo de diseño (m<sup>3</sup>/s)

**C:** coeficiente de escorrentía

**I:** Intensidad de precipitación máxima (mm/h)

**A:** área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

**K:** coeficiente de uniformidad

##### A. Tiempo de concentración (T<sub>c</sub>)

$$T_c = 0.3 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Dónde:

L: longitud del cauce (km)

S: pendiente promedio del cauce

$$T_c = 0.3 \left( \frac{12.17}{0.096^{0.25}} \right)^{0.76}$$

$$T_c = 3.13 \text{ horas}$$

### B. Coeficiente de uniformidad (K)

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

Dónde:

Tc: tiempo de concentración (h)

$$K = 1 + \frac{3.13^{1.25}}{3.13^{1.25} + 14}$$

$$K = 1.23$$

### C. Factor reductor (K<sub>A</sub>)

$$K_A = 1 - \left( \log_{10} \frac{A}{15} \right)$$

Dónde:

A: área de la microcuenca (km<sup>2</sup>)

$$K_A = 1 - \left( \log_{10} \frac{40.30}{15} \right)$$

$$K_A = 0.571$$

### D. Precipitación máxima diaria corregida (P)

$$P = K_A P_d$$

Dónde:

Pd: prec. máxima diaria (mm)

### E. Intensidad de precipitación máxima (I)

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

Dónde:

P: prec. máxima corregida(mm)

Tc: tiempo de concentración (h)

#### F. Coeficiente de escorrentía (C)

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

Dónde:

Pd: prec. máxima diaria (mm)

Po: umbral de escorrentía

$$P_o = \frac{5000}{CN} - 50$$

Dónde:

CN: número de curvas = 88 (ver Tabla 20 Anexo 4)

#### G. Precipitación máxima de diseño

En la Tabla 18, se resume las máximas precipitaciones por día con los diferentes métodos aplicados.

Tabla 18. Resumen precipitaciones máximas según métodos probabilísticos.

|          | PRECIPITACIONES MÁXIMAS SEGÚN CADA MÉTODO PROBABILÍSTICO (mm) |                  |                       |        |       |
|----------|---|------------------|-----------------------|--------|-------|
| T (años) | NORMAL  | PEARSON TIPO III | LONG-PEARSON TIPO III | GUMBEL | PROM. |
| 2        | 25.68   | 24.40            | 24.27                 | 24.40  | 24.69 |
| 5        | 32.26   | 31.61            | 31.32                 | 31.31  | 31.62 |
| 10       | 35.70   | 36.16            | 36.08                 | 35.88  | 35.95 |
| 25       | 39.37   | 41.65            | 42.23                 | 41.67  | 41.23 |
| 50       | 41.74   | 45.55            | 46.94                 | 45.96  | 45.05 |
| 100      | 43.87   | 49.31            | 51.73                 | 50.21  | 48.78 |
| 140      | 44.84   | 50.77            | 53.65                 | 52.27  | 50.38 |
| 200      | 45.82   | 52.96            | 56.66                 | 54.45  | 52.47 |

Fuente: elaboración propia de los autores.

#### H. Caudales de diseño máximo según periodos de retorno.

Para la obtención del caudal de diseño en esta investigación se usó el método racional modificado, obteniendo caudales para diferentes periodos de retorno.

Tabla 19. Caudal de diseño para diferentes periodos de retorno.

| T   | P. MAX | P. CORREG. | I    | C     | K     | Q            |
|-----|--------|------------|------|-------|-------|--------------|
| 2   | 24.69  | 14.10      | 3.11 | 0.326 | 1.229 | 13.95        |
| 5   | 31.62  | 18.06      | 3.98 | 0.411 | 1.229 | 22.52        |
| 10  | 35.95  | 20.53      | 4.53 | 0.456 | 1.229 | 28.41        |
| 25  | 41.23  | 23.55      | 5.19 | 0.504 | 1.229 | 36.02        |
| 50  | 45.05  | 25.73      | 5.67 | 0.535 | 1.229 | 41.78        |
| 100 | 48.78  | 27.86      | 6.14 | 0.563 | 1.229 | 47.57        |
| 140 | 50.38  | 28.77      | 6.34 | 0.574 | 1.229 | <b>50.10</b> |
| 200 | 52.47  | 29.97      | 6.61 | 0.588 | 1.229 | 53.44        |

Fuente: elaboración propia de los autores.

Para esta investigación se optó trabajar con un caudal de **50.10 m<sup>3</sup>/s.** con 140 años como periodo de retorno.

#### 4.3. Estudio de Suelos

Para esta investigación se tomó como referencias los datos obtenidos del estudio de mecánica de suelos del expediente técnico “Mejoramiento y rehabilitación del camino vecinal: Otuzco Carnachique, de la ciudad de Otuzco y centro poblado de Carnachique - distrito de Otuzco - provincia de Otuzco – región la libertad” (ver Anexo 5), debido a que se realizaron calicatas para determinar características del suelo para el diseño y construcción de obras de arte tales como cunetas, alcantarillas y muros de contención.

La vía está ubicada paralela a nuestro tramo del río en estudio, así mismo en el expediente técnico las calicatas tienen una denominación específica para identificarlas según su ubicación, tal es el caso de la calita 1 que tiene la denominación C-1 y ha sido considerada para los cálculos en el tercer tramo de esta investigación, la calicata 2 se le denomina en el expediente técnico como C-2 y se ha considerado para el segundo tramos, la calicata 3 esta denominada como C-3 y se considerado en el tercer tramo, dichas calicatas se realizaron en los márgenes de las quebradas que vierten al río Pollo.

Así mismo en la identificación de los tramos críticos se tomó en cuenta las características del terreno y secciones transversales que se obtuvo del levantamiento topográfico, donde se pudo comprobar que hay tramos en donde no requiere ninguna estructura debido a que posee encauzamiento natural por roca fija. A continuación, se detalla la ubicación de las calicatas y las características del suelo por tramo de estudio.

#### **4.3.2. Tramo 1: Progr. 0 + 060.00 km - Progr. 0 + 680.00 km**

##### **Calicata C-3**

Presenta un primer estrato hasta 0.15 m. de profundidad, constituido por material de relleno conformado por suelo orgánico, arcilla y grava de color gris. Se encuentra con bajo grado de compacidad y bajo contenido de humedad. De 0.15 m. a 1.50 m. de profundidad encontramos un segundo estrato conformado por limo inorgánico de baja comprensibilidad, de color amarillo, mezclado con 23.80% de

arena gruesa a fina y 15.54% de fragmentos rocosos de tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ ". (Clasificación AASHTO: A-5). Se encuentra con bajo grado de compacidad y alto contenido de humedad con peso específico 1.765 Tn/m<sup>3</sup>, ángulo de fricción interna del suelo de 32°, sus factores de capacidad de carga  $N_c = 44$ ,  $N_q = 28$ ,  $N_y = 25$ . La cohesión del suelo es  $C = 0.05 \text{ kg/cm}^2$ .



Figura 11. Ubicación de calicata C - 3 de expediente técnico.

Fuente: Expediente técnico.

#### 4.3.3. Tramo 2: Progr. 0 + 920.00 Km – Progr. 1 + 160.00 Km

##### Calicata C-2

Presenta un primer estrato hasta 0.60 m. de profundidad, constituido por material de relleno conformado por suelo orgánico, arcilla y grava de color gris. Se encuentra con bajo grado de compacidad y bajo contenido de humedad. De 0.60 m. a 1.50 m. de profundidad encontramos un segundo estrato conformado por limo inorgánico de baja compresibilidad, de color amarillo, mezclado con 23.80% de arena gruesa a fina y 15.54% de fragmentos rocosos de tamaño máximo de  $\frac{1}{2}$ ". (Clasificación AASHTO: A-6). Se encuentra con bajo

grado de compacidad y alto contenido de humedad con peso específico 1.85 Tn/m<sup>3</sup>, ángulo de fricción interna del suelo de 35°, sus factores de capacidad de carga  $N_c = 58$ ,  $N_q = 42$ ,  $N_y = 40$ . La cohesión del suelo es  $C = 0.05 \text{ kg/cm}^2$ .

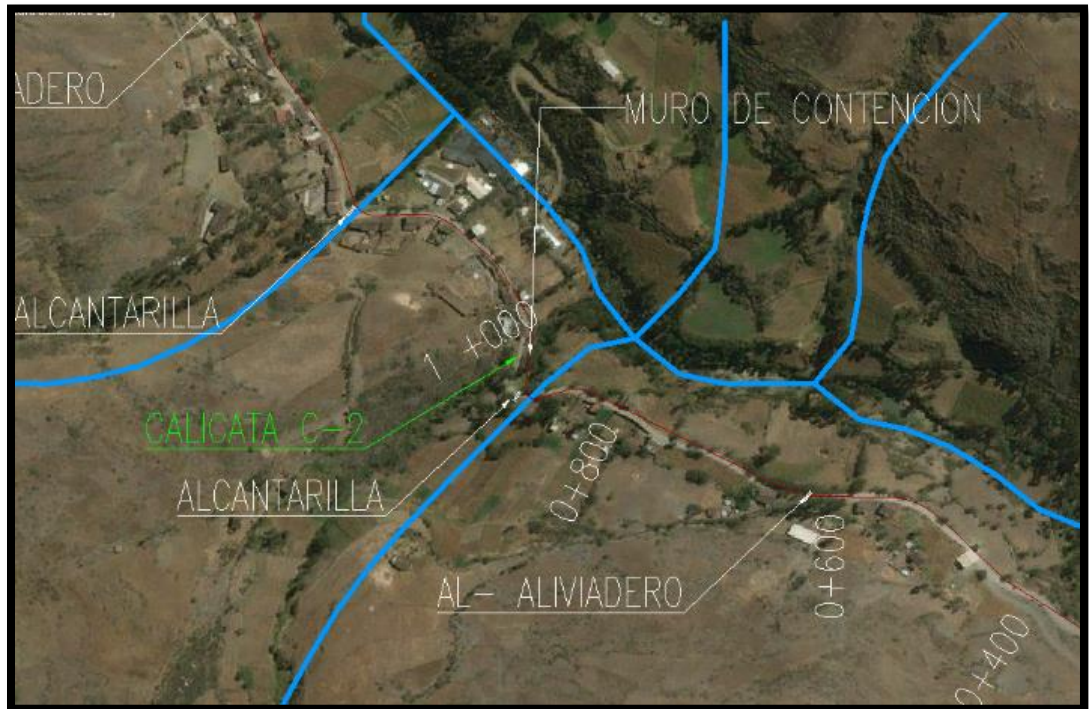


Figura 12. Delimitación de calicata C - 2 de expediente técnico.

Fuente: Expediente técnico.

#### 4.3.4. Tramo 3: Progr. 2 + 300.00Km – Progr. 3 + 565.00 Km

##### Calicata C-1

Presenta un primer estrato hasta 0.60 m. de profundidad, constituido por material de relleno conformado por suelo orgánico, arcilla y grava de color gris. Se encuentra con bajo grado de compacidad y bajo contenido de humedad. De 0.60 m. a 1.50 m. de profundidad encontramos un segundo estrato conformado por arcilla inorgánica de mediana plasticidad, de color marrón claro, mezclada con 26.78% de arena fina y gruesa y 14.01% de fragmentos rocosos de tamaño máximo de 1/2". (Clasificación MSHTO: A-6). Se encuentra con bajo grado de compacidad y alto contenido de humedad con peso específico 2.085 Tn/m<sup>3</sup>, ángulo de fricción interna del suelo de 30°,

sus factores de capacidad de carga  $N_c = 38$ ,  $N_q = 22$ ,  $N_y = 20$ . La cohesión del suelo es  $C = 0.05 \text{ kg/cm}^2$ .



Figura 13. Delimitación de calicata C - 1 de expediente técnico.

Fuente: Expediente técnico.

#### 4.4. Diseño Hidráulico

En este proyecto de investigación se identificó tres tramos críticos en el cual se necesita de proteger ambos márgenes del río, para prevenir inundaciones, derrumbes, pérdidas de taludes y terrenos de cultivo, es por eso que se realizara se realizó el diseño hidráulico en los tramos críticos con la finalidad de proponer una estructura adecuada para dar solución a esta problemática.

El cálculo de los parámetros hidráulicos de los tramos críticos según las progresivas establecidas son los siguientes.

##### 4.4.2. Tramo 1: Progr. 0 + 060.00 km - Progr. 0 + 680.00 km

###### 4.4.2.1. Ancho estable del río

###### método de Altunin Manning



$$B = A * \frac{\sqrt{Q}}{S^{0.2}}$$

$$A = \left( n * K^{5/3} \right)^{\frac{3}{3+(5*m)}}$$

Datos:

Q = 42.31 m<sup>3</sup>/s (caudal de diseño)

A = coeficiente

B = ancho

S = 0.0064 (pendiente)

n = coeficiente de rugosidad (**ver tabla 28 Anexo 4**)

k = 3 (depende de la resistencia de las orillas) (**ver tabla 27 Anexo 4**)

m = 1 (coeficiente de tipo de río) (**ver tabla 28 Anexo 4**)

$$A = \left( 0.025 * 3^{5/3} \right)^{\frac{3}{3+(5*1)}}$$

$$A = 0.5$$

$$B = 0.5 * \frac{\sqrt{42.31}}{(0.0064)^{0.2}} = 8.90 \text{ m}$$

Según la topografía del terreno, la propuesta de diseño se asumió **B = 8.2 m**

#### 4.4.2.2. Tirante máximo y altura de encauzamiento

##### A. Tirante máximo

$$t = \left( \frac{Q}{K_s * B * S^{1/2}} \right)^{3/5}$$

**Dónde:**

Q = 42.31 m<sup>3</sup>/s

B = 8 m

S = 0.0064

Ks = 44 (coeficiente de rugosidad) (**ver tabla 29 Anexo 4**)

t = tirante máximo

$$t = \left( \frac{42.31}{44 * 8.2 * (0.0064)^{1/2}} \right)^{3/5}$$

$$t = 1.33 \text{ m}$$

## B. Altura de encauzamiento

$$H = t + B_L$$

Datos:

$$Q = 42.31 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 0.025$$

$$B = 8.2 \text{ m}$$

$$Z = 1 \text{ (ver tabla)}$$

$$S = 0.0064$$

$$Y = t = 1.33 \text{ m}$$

Cálculos previos para determinar la altura de encauzamiento:

### ➤ Cálculo de la Sección húmeda

$$A = (B + Z * Y)Y$$

$$A = (8.2 + 2 * 1.33) * 1.33 = \mathbf{13.63 \text{ m}^2}$$

### ➤ Perímetro húmedo

$$P = B + 2Y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$P = 8.2 + 2 * 1.33\sqrt{1 + 1^2} = \mathbf{12.67 \text{ m}}$$

### ➤ Radio hidráulico

$$R_H = \frac{A}{P}$$

$$R_H = 1.08 \text{ m}$$

### ➤ Velocidad

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

$$V = \frac{(1.08)^{2/3} * (0.0064)^{1/2}}{0.025} = 3.36 \text{ m/s}$$

➤ **Profundidad hidráulica media**

$$Ym = \frac{A}{B}$$

$$Ym = \frac{13.63}{8.2} = 1.53m$$

➤ **Número de froude**

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * Ym}}$$

$$Fr = \frac{3.36}{\sqrt{9.81 * 1.53}} = 0.87 < 1 \text{ (flujo sub critico)}$$

➤ **Coeficiente**

$$e = \frac{V^2}{2 * g}$$

$$e = \frac{3.36^2}{2 * 9.81} = 0.58$$

➤ **Borde libre**

$$B_L = c * e$$

$$B_L = 1 * 0.58 = 0.58$$

➤ **Altura de encauzamiento**

$$\begin{aligned} H &= t + B_L \\ &= 1.33 + 0.58 = \mathbf{1.91\ m} \end{aligned}$$

Con los cálculos anteriores de determino que para el tramo 1 la altura de encauzamiento es de **1.91 m**.

**4.4.2.3. Socavación en tramos rectos**

Datos para el cálculo de socavación:

$$B = 8.2\text{ m}$$

$$Q_d = 42.31\ \text{m}^3/\text{s}$$

$$t = 1.33\ \text{m}$$

$$D_m = 12\text{ mm}$$

$$T_m = 1.53\ \text{m}$$

$$u = 0.88 \text{ (ver Tabla 30 Anexo 4)}$$

$$\beta = 1.002 \text{ (ver Tabla 31 Anexo 4)}$$

$$1/(x+1) = 0.75 \text{ (ver tabla 32 Anexo 4)}$$

$$\begin{aligned} \text{coeficiente } \alpha &= \frac{Q}{(t_m^{5/3} * B * u)} \\ \alpha &= \frac{42.31}{(1.53^{5/3} * 8.2 * 0.88)} = 2.88 \end{aligned}$$

Para suelos granulares no cohesivos se tiene:

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{(\alpha t^{5/3})}{(0.68 D_m^{0.28})^{1/(x+1)}} \\ t_s &= \frac{(2.88 * 1.33^{5/3})}{(0.68 * 12^{0.28})^{0.75}} = 1.72\ \text{m} \end{aligned}$$

$$\text{altura de socavacion } H_s = t_s - t$$

$$H_s = 1.72 - 1.33 = 0.39\ \text{m}$$

$$H = 2.3\ \text{m}$$

#### 4.4.2.4. Socavación en curvas

$$t_{max} = e * Dr$$

$$e = \frac{R}{B} = 1.42$$

$$t_{max} = 1.42 * 1.33 = 1.89 \text{ m}$$

$$Hs = 1.89 - 1.33 = 0.60 \text{ m}$$

$$H = 2.5 \text{ m}$$

#### 4.4.2.5. Fuerza Tractiva

$$T = \gamma R_H S$$

Dónde:

$$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$R_H = 1.08 \text{ (m)}$$

$$S = 0.0064$$

$$T = 1000 \times 1.08 \times 0.0064 = 6.91 \text{ kg /m}$$

Como el valor de  $T > T_c$  (4.8 – 5.00 ver tabla 33 Anexo 4), entonces el tramo en estudio requiere de una estructura que proteja los márgenes del río.

#### 4.4.3. Tramo 2: Progr. 0 + 920.00 Km – Progr. 1 + 160.00 Km

##### 4.4.3.1. Ancho estable del río

##### método de Altunin Manning

$$B = A * \frac{\sqrt{Q}}{S^{0.2}}$$

$$A = \left( n * K^{5/3} \right)^{\frac{3}{3+(5*m)}}$$

Datos:

Q = 42.77 m<sup>3</sup>/s (caudal de diseño)

A = coeficiente

B = ancho

S = 0.0052 (pendiente)

n = coeficiente de rugosidad (**ver tabla 28 Anexo 4**)

k = 3 (depende de la resistencia de las orillas) (**ver tabla 27 Anexo 4**)

m = 1 (coeficiente de tipo de rio) (**ver tabla 28 Anexo 4**)

$$A = (0.025 * 3^{5/3})^{\frac{3}{3+(5*1)}}$$

$$A = 0.50$$

$$B = 0.5 * \frac{\sqrt{42.77}}{(0.0052)^{0.2}}$$

$$B = 9.34 \text{ m}$$

Según la topografía del terreno, la propuesta de diseño se asumió **B = 8.60 m**.

#### 4.4.3.2. Tirante máximo y altura de encauzamiento

##### A. Tirante máximo

$$t = \left( \frac{Q}{K_s * B * S^{1/2}} \right)^{3/5}$$

**Dónde:**

$$Q = 42.77 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B = 8.6 \text{ m}$$

$$S = 0.0052$$

$K_s = 44$  (coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural)

(**ver tabla 29 Anexo 4**)

t = tirante máximo

$$t = \left( \frac{42.77}{44 * 8.6 * (0.0052)^{1/2}} \right)^{3/5}$$

$$t = 1.39 \text{ m}$$

##### B. Altura de encauzamiento

$$H = t + B_L$$

Datos:

$$Q = 42.77 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 0.025$$

$$B = 8.6 \text{ m}$$

$$Z = 1 \text{ (ver tabla)}$$

$$S = 0.0052$$

$$Y = t = 1.39 \text{ m}$$

Cálculos previos para determinar la altura de encauzamiento:

➤ **Cálculo de la Sección húmeda**

$$A = (B + Z * Y)Y$$

$$A = (8.6 + 2 * 1.39) * 1.39 = 14.91 \text{ m}^2$$

➤ **Perímetro húmedo**

$$P = B + 2Y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$P = 8.6 + 2 * 1.39\sqrt{1 + 1^2} = 13.27 \text{ m}$$

➤ **Radio hidráulico**

$$R_H = \frac{A}{P}$$

$$R_H = 1.12 \text{ m}$$

➤ **Velocidad**

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

$$V = \frac{(1.12)^{2/3} * (0.0052)^{1/2}}{0.025} = 3.11 \text{ m/s}$$

$$V = 3.11 \text{ m/s}$$

➤ **Profundidad hidráulica media**

$$Ym = \frac{A}{B}$$

$$Ym = \frac{14.91}{8.6} = 1.60m$$

➤ **Número de Froude**

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * Ym}}$$

$$Fr = \frac{3.11}{\sqrt{9.81 * 1.60}} = 0.78 < 1 \text{ (flujo sub critico)}$$

➤ **Coficiente**

$$e = \frac{V^2}{2 * g}$$

$$e = \frac{3.11^2}{2 * 9.81} = 0.49$$

➤ **Borde libre**

$$B_L = c * e$$

$$B_L = 1 * 0.49 = 0.49$$

➤ **Altura de encauzamiento**

$$H = t + B_L$$

$$H = 1.39 + 0.54 = \mathbf{1.88 m}$$

Con los cálculos anteriores de determino que para el tramo 2 la altura de encauzamiento es de 1.88.

**4.4.3.3. Socavación en tramos rectos**

Datos para el cálculo de socavación:

B= 8.6 m

Qd= 42.77 m<sup>3</sup>/s



$$t = 1.39 \text{ m}$$

$$D_m = 15 \text{ mm}$$

$$T_m = 1.60 \text{ m}$$

$$u = 0.88 \text{ (ver Tabla 30 Anexo 4)}$$

$$\beta = 1.002 \text{ (ver Tabla 31 Anexo 4)}$$

$$1/(x+1) = 0.75 \text{ (ver tabla 32 Anexo 4)}$$

$$D_r = t$$

$$\begin{aligned} \text{coeficiente } \alpha &= \frac{Q}{(t_m^{5/3} * B * u)} \\ \alpha &= \frac{42.77}{(1.60^{5/3} * 8.6 * 0.88)} = 2.59 \end{aligned}$$

Para suelos granulares no cohesivos se tiene:

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{(\alpha t^{5/3})}{(0.68 D_m^{0.28})^{1/(x+1)}} \\ t_s &= \frac{(2.59 * 1.39^{5/3})}{(0.68 * 15^{0.28})^{0.75}} = 1.73 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Altura de socavacion } H_s = t_s - t$$

$$H_s = 1.73 - 1.39 = 0.34 \text{ m}$$

$$H = 2.3 \text{ m}$$

#### 4.4.3.4. Socavación en curvas

$$t_{max} = e * D_r$$

$$e = R/B$$

$$t_{max} = 1.42 * 1.39 = 1.97 \text{ m}$$

$$H_s = 1.97 - 1.39 = 0.58 \text{ m}$$

$$H = 2.5 \text{ m}$$

#### 4.4.3.5. Fuerza tractiva

$$T = \gamma R_H S$$

Dónde:

$$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$R_H = 1.12 \text{ (m)}$$

$$S = 0.0052$$

$$T = 1000 \times 1.12 \times 0.0052 = 5.82 \text{ kg/m}$$

Como el valor de  $T > T_c$  (4.8 – 5.00 ver tabla 33 Anexo 4), entonces el tramo en estudio requiere de una estructura que proteja los márgenes del río.

#### 4.4.4. Tramo 3: Progr. 2 + 300.00Km – Progr. 3 + 565.00 Km

##### 4.4.4.1. Ancho estable del río

###### método de Altunin Manning

$$B = A * \frac{\sqrt{Q}}{S^{0.2}}$$

$$A = (n * K^{5/3})^{\frac{3}{3+(5*m)}}$$

Datos:

Q = 50.95 m<sup>3</sup>/s (caudal de diseño)

A = coeficiente

B = ancho

S = 0.0028 (pendiente)

n = coeficiente de rugosidad (**ver tabla 28 Anexo 4**)

k = 3 (coeficiente que depende de la resistencia de las orillas) (**ver tabla 27 Anexo 4**)

m = 1 (coeficiente de tipo de río) (**ver tabla 28 Anexo 4**)

$$A = (0.025 * 3^{5/3})^{\frac{3}{3+(5*1)}}$$

$$A = 0.50$$

$$B = 0.50 * \frac{\sqrt{42.31}}{(0.0028)^{0.2}}$$

$$B = 11.54 \text{ m}$$

Según la topografía del terreno, la propuesta de diseño se sumió **B = 7.5 m**

#### 4.4.4.2. Tirante máximo y altura de encauzamiento

##### A. Tirante máximo

$$t = \left( \frac{Q}{K_s * B * S^{1/2}} \right)^{3/5}$$

**Dónde:**

$$Q = 50.95 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$B = 7.5 \text{ m}$$

$$S = 0.0028$$

$$K_s = 44 \text{ (coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural)}$$

**(ver tabla 29 Anexo)**

t = tirante máximo

$$t = \left( \frac{50.95}{44 * 7.5 * (0.0028)^{1/2}} \right)^{3/5}$$

$$t = 2.02 \text{ m}$$

##### B. Altura de encauzamiento

$$H = t + B_L$$

Datos:

$$Q = 50.95 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = 0.025$$

$$B = 7.5 \text{ m}$$

$$Z = 1 \text{ (ver tabla)}$$

$$S = 0.0028$$

$$Y = t = 2.02 \text{ m}$$

Cálculos previos para determinar la altura de encauzamiento:

##### ➤ Cálculo de la Sección húmeda

$$A = (B + Z * Y)Y$$

$$A = (7.5 + 2 * 2.02) * 2.02 = 27.36 \text{ m}^2$$

➤ **Perímetro húmedo**

$$P = B + 2Y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$P = 7.5 + 2 * 2.02\sqrt{1 + 1^2} = 17.25 \text{ m}$$

➤ **Radio hidráulico**

$$R_H = \frac{A}{P}$$

$$R_H = 1.59 \text{ m}$$

➤ **Velocidad**

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n}$$

$$V = \frac{(1.59)^{2/3} * (0.0028)^{1/2}}{0.025} = 2.98 \text{ m/s}$$

➤ **Profundidad hidráulica media**

$$Y_m = \frac{A}{B}$$

$$Y_m = \frac{27.36}{7.5} = 2.37 \text{ m}$$

➤ **Número de froude**

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g * Y_m}}$$

$$Fr = \frac{2.98}{\sqrt{9.81 * 1.44}} = 0.59 < 1 \text{ (flujo sub critico)}$$

➤ **Coficiente**

$$e = \frac{V^2}{2 * g}$$

$$e = \frac{2.98^2}{2 * 9.81} 0.42$$

➤ **Borde libre**

$$B_L = c * e$$

$$B_L = 1 * 0.42 = 0.42$$

➤ **Altura de encauzamiento**

$$H = t + B_L$$

$$H = 2.02 + 0.42 = 2.44 \text{ m}$$

Con los cálculos anteriores de determino que para el tramo 1 la altura de encauzamiento es de 2.44 m.

**4.4.4.3. Socavación en tramos rectos**

Datos para el cálculo de socavación:

Donde:

$$B = 7.5 \text{ m}$$

$$Q_d = 51.73 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = 2.04 \text{ m}$$

$$D_m = 16 \text{ mm}$$

$$T_m = 2.39 \text{ m}$$

$$u = 0.88 \text{ (ver Tabla 30 Anexo 4)}$$

$$\beta = 1.002 \text{ (ver Tabla 31 Anexo 4)}$$

$$1/(x+1) = 0.76 \text{ (ver tabla 32 Anexo 4)}$$

$$D_r = t$$

$$\text{coeficiente } \alpha = \frac{Q}{(t_m^{5/3} * B * u)}$$

$$\alpha = \frac{51.73}{(2.39^{5/3} * 7.5 * 0.88)} = 1.83$$

Para suelos granulares no cohesivos se tiene:

$$t_s = \frac{(\propto t^{5/3})}{(0.68 D m^{0.28})^{1/(x+1)}}$$

$$t_s = \frac{(1.83 * 2.04^{5/3})}{(0.68 * 16^{0.28})^{0.76}} = 2.46 \text{ m}$$

altura de socavacion  $H_s = t_s - t$

$$H_s = 2.46 - 2.04 = 0.42 \text{ m}$$

$$H = 2.9 \text{ m}$$

#### 4.4.4.4. Socavación en tramos rectos

$$t_{max} = e * Dr$$

$$e = R/B$$

$$t_{max} = 1.26 * 2.03 = 2.66 \text{ m}$$

$$H_s = 2.66 - 2.03 = 0.53 \text{ m}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

#### 4.4.4.5. Fuerza Tractiva

$$T = \gamma R_H S$$

Dónde:

$$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$R_H = 1.59 \text{ (m)}$$

$$S = 0.0028$$

$$T = 1000 \times 1.12 \times 0.0028 = 3.136 \text{ kg /m}$$

Como el valor de  $T > T_c$  (1 – 1.20 ver tabla 33 Anexo 4), entonces el tramo en estudio requiere de una estructura que proteja los márgenes del río.

### 4.5. Diseño Estructural

De acuerdo a la topografía del terreno se pudo constatar que el río está constituido por tramos rectos y tramos curvos, así mismo en algunos tramos no se cuenta con fuerza de empuje del terreno y que las alturas de márgenes son mínimas, en los cuales se considerara la fuerza de empuje que generara el agua, y en otros tramos se considera el empuje del terreno debido a que

el margen está a la misma altura que el dimensionamiento del muro propuesto.

En este presente trabajo se propone la construcción de muros de gravedad con concreto ciclópeo los cuales están compuestos como máximo por 30% de piedra del volumen total y que el tamaño máximo de piedras no debe de ser mayor a 25 cm según la norma E-60 del R.N.E. así mismo se deberá usar el material propio de la zona debido ya que el cauce presenta en su gran mayoría piedras de tamaños requeridos en la norma.

Según Barros (2007) se deberá de realizar los siguientes cálculos, de acuerdo a los tramos críticos identificados.

#### 4.5.1. Tramo 1: Progr. 0 + 060.00 km - Progr. 0 + 680.00 km

##### 4.5.1.1. Consideraciones de diseño

Tabla 20. Caudal de diseño para diferentes periodos de retorno.

| CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA MUROS DE CONCRETO CICLÓPEO |                   |                   |                   |       |          |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------|----------|
| ÍTEM  | PROGRESIVA (KM)   | MARGEN DERECHO    | MARGEN IZQUIERDO  | TRAMO | LONGITUD |
| 1   | 0 + 060 - 0 + 100 | Empuje de agua    | Empuje de terreno | Recto | 40       |
| 2   | 0 + 100 - 0 + 120 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 20       |
| 3   | 0 + 120 - 0 + 150 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Recto | 30       |
| 4   | 0 + 150 - 0 + 170 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 20       |
| 5   | 0 + 170 - 0 + 270 | Empuje de agua    | Empuje de agua    | Recto | 100      |
| 6   | 0 + 270 - 0 + 290 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 20       |
| 7   | 0 + 290 - 0 + 370 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Recto | 80       |
| 8   | 0 + 370 - 0 + 390 | Empuje de agua    | Empuje de terreno | Curva | 20       |
| 9   | 0 + 390 - 0 + 410 | Empuje de agua    | Empuje de terreno | Recto | 20       |
| 10  | 0 + 410 - 0 + 430 | Empuje de agua    | Empuje de terreno | Curva | 20       |
| 11  | 0 + 430 - 0 + 460 | Empuje de agua    | Empuje de terreno | Curva | 30       |
| 12  | 0 + 460 - 0 + 500 | Empuje de agua    | Empuje de terreno | Recto | 40       |
| 13  | 0 + 500 - 0 + 540 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 40       |
| 14  | 0 + 540 - 0 + 580 | Empuje de agua    | Empuje de terreno | Recto | 40       |
| 15  | 0 + 580 - 0 + 610 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 30       |
| 16  | 0 + 610 - 0 + 680 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Recto | 70       |

Fuente: elaboración propia de los autores.

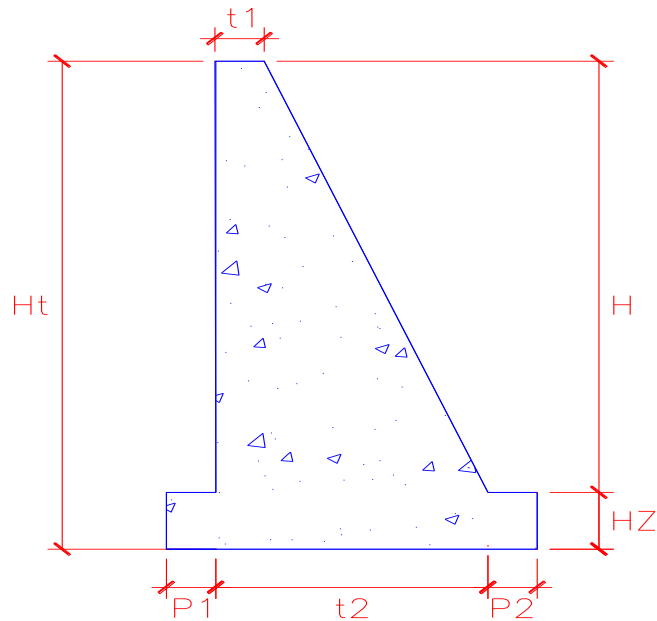


Figura 14. Diseño de muro

Fuente: elaboración propia de los autores.

#### 4.5.1.2. Diseño de muro de contención

##### a) tramos rectos (considerar solo empuje de tierras)

Donde:

$$H = 2.3 \text{ m}$$

$$\gamma_s = 1.765 \text{ tn/m}^3$$

$$\theta = 32^\circ$$

$$q_a = 38.16 \text{ tn/m}^2$$

$$\gamma_c = 2.3 \text{ tn/m}^3$$

##### ➤ Cálculos de las dimensiones del muro

Ancho superior de pantalla  $t_1 = 0.08H$  donde  $t_1 \geq 0.3 \text{ m}$

$$t_1 = 0.08(2.3) = 0.18 \text{ m} \cong 0.2 \text{ m}$$

Altura de zapata  $h_z = 0.12H$  a  $0.16H$



$$h_z = 0.12(2.3) = 0.28 \text{ m} \cong 0.3 \text{ m}$$

*Pie y talon del muro*  $p_1 = p_2 = \frac{h_z}{2}$

$$p_1 = p_2 = \frac{0.3}{2} = 0.15 \text{ m} \cong 0.25 \text{ m}$$

*Ancho de la zapata*  $B = 0.5H \text{ a } 0.75H$

$$B = 0.5(2.3) = 1.3 \text{ m}$$

*Ancho inferior de la pantalla*  $t_2 = B - p_1 = p_2$

$$t_2 = 1.3 - 0.25 - 0.25 = 0.8 \text{ m}$$

➤ **Verificación por Estabilidad**

Cálculo de los pesos y momentos producidos.

Tabla 21. Cálculo de pesos y momentos tramo 1.

| Wi    | B(m) | H(m) | Pe(tn/m3) | peso(tn) | brazo(m) | mon(tn*m) |
|-------|------|------|-----------|----------|----------|-----------|
| W1    | 1.30 | 0.30 | 2.3       | 0.897    | 0.65     | 0.583     |
| W2    | 0.2  | 2.3  | 2.3       | 1.058    | 0.35     | 0.370     |
| W3    | 0.6  | 2.3  | 2.3       | 1.587    | 0.75     | 1.190     |
| W4    | 0.6  | 2.3  | 1.765     | 1.218    | 0.75     | 0.914     |
| W5    | 0.25 | 2.3  | 1.765     | 1.015    | 1.175    | 1.192     |
| TOTAL |      |      |           | 5.775    |          | 4.249     |

Fuente: elaboración propia de los autores.

- Presiones laterales

$$K_a = \tan \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)^2$$

$$K_a = \tan \left( 45 - \frac{32}{2} \right)^2 = 0.31$$

- Presión del suelo

$$P1 = K_a * \gamma_s(H + h_z)$$

$$P1 = 0.31 * 1.765(2.3 + 0.3) = 1.41 \text{ tn/m}^2$$

- Empuje activo

$$E_a = P1 * \left(\frac{H + h_z}{2}\right)$$

$$E_a = 1.41 * \left(\frac{2.3 + 0.3}{2}\right) = 1.83 \text{ tn/m}^3$$

- Punto de aplicación del empuje activo

$$y = \left(\frac{H}{3}\right)$$

$$y = \left(\frac{2.3}{3}\right) = 0.77m$$

- Factor seguridad al deslizamiento

$$FSD = \left(\frac{f * \sum W_{resistentes}}{\sum Factuantes}\right) \geq 1.5$$

$$f = \tan(\phi)$$

$$f = \tan(32) = 0.62$$

$$FSD = \left(\frac{0.62 * 5.77}{1.83}\right) = 1.97 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Factor de seguridad por volteo

$$FSV = \left( \frac{\sum M_{resistentes}}{\sum M_{actuantes}} \right) \geq 1.5$$

$$FSV = \left( \frac{4.25}{1.83 * 0.77} \right) = 3.02 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Excentricidad de la estructura

$$X_0 = \left( \frac{\sum M_{rest.} - \sum M_{act.}}{\sum W_{rest.}} \right)$$

$$X_0 = \left( \frac{4.25 - (1.83 * 0.77)}{5.77} \right) = 0.49 \text{ m}$$

$$e = \left( \frac{B}{2} - X_0 \right) < \frac{B}{6}$$

$$e = \left( \frac{1.3}{2} - 0.49 \right) < \frac{1.3}{6}$$

$$e = 0.16 < 0.22 ; \text{ si cumple}$$

$$q_1 = \frac{W}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_1 = \frac{5.77}{1.3} \left( 1 + \frac{6 * 0.16}{1.3} \right) = 7.67 \frac{tn}{m^2} < \frac{38.16tn}{m^2} \quad \text{si cumple}$$

$$q_2 = \frac{W}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_2 = \frac{5.77}{1.3} \left( 1 - \frac{6 * 0.16}{1.3} \right) = 1.21 \frac{tn}{m^2} < \frac{38.16tn}{m^2} \quad \text{si cumple}$$

**b.) tramos rectos (considerar empuje de tierra hasta h = 1.40m)**

Donde:

$$H = 2.3 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1 \text{ tn/m}^3$$

$$\theta = 32^\circ$$

$$q_a = 38.16 \text{ tn/m}^2$$

$$\gamma_c = 2.3 \text{ tn/m}^3$$

➤ **Cálculos de las dimensiones del muro**

- *Ancho superior de pantalla*

$$t_1 = 0.08H \text{ donde } t_1 \geq 0.3 \text{ m}$$

$$t_1 = 0.08(2.3) = 0.18 \text{ m} \cong 0.2 \text{ m}$$

- *Altura de zapata*

$$h_z = 0.12H \text{ a } 0.16H$$

$$h_z = 0.12(2.3) = 0.28 \text{ m} \cong 0.3 \text{ m}$$

- *Pie y talon del muro*  $p_1 = p_2 = \frac{h_z}{2}$

$$p_1 = p_2 = \frac{0.3}{2} = 0.15 \text{ m} \cong 0.25 \text{ m}$$

- *Ancho de la zapata*  $B = 0.5H \text{ a } 0.75H$

$$B = 0.5(2.3) = 1.3 \text{ m}$$

- *Ancho inferior de la pantalla*

$$t_2 = B - p_1 = p_2$$

$$t_2 = 1.30 - 0.25 - 0.25 = 0.80 \text{ m}$$

➤ **Verificación por Estabilidad**

Tabla 22. Cálculo de los pesos y momentos producidos

| Wi    | B(m) | H(m) | Pe(tn/m3) | peso(tn) | brazo(m) | mon(tn*m) |
|-------|------|------|-----------|----------|----------|-----------|
| W1    | 1.30 | 0.30 | 2.3       | 0.90     | 0.65     | 0.58      |
| W2    | 0.2  | 2.3  | 2.3       | 1.06     | 0.55     | 0.58      |
| W3    | 0.6  | 2.3  | 2.3       | 1.59     | 0.95     | 1.51      |
| W4    | 0.25 | 2.3  | 1.0       | 0.29     | 1.18     | 0.34      |
| W5    | 0.10 | 1.39 | 2.3       | 0.32     | 0.300    | 0.10      |
| W6    | 0.25 | 1.39 | 2.3       | 0.80     | 0.125    | 0.10      |
| TOTAL |      |      |           | 4.95     |          | 3.21      |

Fuente: Elaboración propia de los autores.

- Fuerza del agua

$$F_H = \frac{1}{2} * \gamma_s * H^2$$

$$F_H = \frac{1}{2} * 1 * 2.3^2 = 1.82 \text{ tn/m}^2$$

- Punto de aplicación del empuje activo

$$y = \left( \frac{H}{3} \right)$$

$$y = \left( \frac{2.3}{3} \right) = 0.77 \text{ m}$$

- Factor seguridad al deslizamiento

$$FSD = \left( \frac{f * \sum W_{resistentes}}{\sum Factuantes} \right) \geq 1.5$$

$$f = \tan(\phi)$$

$$f = \tan(32) = 0.62$$

$$FSD = \left( \frac{0.62 * 4.95}{1.82} \right) = 1.70 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Factor de seguridad por volteo

$$FSV = \left( \frac{\sum M_{resistentes}}{\sum M_{actuantes}} \right) \geq 1.5$$

$$FSV = \left( \frac{3.21}{1.82 * 0.77} \right) = 2.30 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Excentricidad de la estructura

$$X_0 = \left( \frac{\sum M_{rest.} - \sum M_{act.}}{\sum W_{rest.}} \right)$$

$$X_0 = \left( \frac{3.21 - (1.82 * 0.77)}{4.95} \right) = 0.37 \text{ m}$$

$$e = \left( \frac{B}{2} - X_0 \right) < \frac{B}{6}$$

$$e = \left( \frac{1.3}{2} - 0.37 \right) < \frac{1.3}{6}$$

$$e = 0.20 < 0.22 ; \text{ si cumple}$$

$$q_1 = \frac{W}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_2 = \frac{4.95}{1.3} \left( 1 + \frac{6 * 0.20}{1.3} \right) = 7.39 \frac{tn}{m^2} < 38.16 \text{ tn}/m^2$$

$$q_2 = \frac{W}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_2 = \frac{4.95}{1.3} \left( 1 - \frac{6 * 0.20}{1.3} \right) = 0.23 \frac{tn}{m^2} < 38.16 \text{ tn}/m^2$$

### c) Tramo en curvas (considerar solo empuje de terreno)

**DATOS:**

$$H = 2.5 \text{ m}$$

$$\gamma_s = 1.765 \text{ tn}/m^3$$

$$\theta = 32^\circ$$

$$q_a = 38.16 \text{ tn/m}^2$$

$$\gamma_c = 2.3 \text{ tn/m}^3$$

➤ **Cálculo de las dimensiones del muro en curvas**

- *Ancho superior de pantalla*

$$t_1 = 0.08H \text{ donde } t_1 \geq 0.3 \text{ m}$$

$$t_1 = 0.08(2.5) = 0.2 \text{ m} \cong 0.2 \text{ m}$$

- *Altura de zapata*

$$h_z = 0.12H \text{ a } 0.16H$$

$$h_z = 0.12(2.5) = 0.3 \text{ m} \cong 0.3 \text{ m}$$

- *Pie y talon del muro*

$$p_1 = p_2 = \frac{h_z}{2}$$

$$p_1 = p_2 = \frac{0.3}{2} = 0.15 \text{ m} \cong 0.25 \text{ m}$$

- *Ancho de la zapata*

$$B = 0.5H \text{ a } 0.75H$$

$$B = 0.5(2.5) = 1.30 \text{ m}$$

- *Ancho inferior de la pantalla*  $t_2 = B - p_1 = p_2$

$$t_2 = 1.3 - 0.25 - 0.25 = 0.8 \text{ m}$$

➤ **Verificación por estabilidad**

| Wi | B(m) | H(m) | Pe(tn/m3) | peso(tn) | brazo(m) | mon(tn*m) |
|----|------|------|-----------|----------|----------|-----------|
| W1 | 1.30 | 0.30 | 2.3       | 0.90     | 0.65     | 0.58      |

|       |      |     |      |      |      |      |
|-------|------|-----|------|------|------|------|
| W2    | 0.2  | 2.5 | 2.3  | 1.15 | 0.35 | 0.40 |
| W3    | 0.6  | 2.5 | 2.3  | 1.73 | 0.75 | 1.29 |
| W4    | 0.6  | 2.5 | 1.77 | 1.32 | 0.75 | 0.99 |
| W5    | 0.25 | 2.5 | 1.77 | 1.10 | 1.18 | 1.30 |
| TOTAL |      |     |      | 6.20 |      | 4.57 |

Tabla 23. Cálculos de los pesos y momentos en curvas para el Tramo 1

Fuente: elaboración propia de los autores.

- Presiones laterales

$$K_a = \tan \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)^2$$

$$K_a = \tan \left( 45 - \frac{32}{2} \right)^2 = 0.31$$

- Presión del suelo

$$P1 = K_a * \gamma_s (H + h_z)$$

$$P1 = 0.31 * 1.765 (2.5 + 0.3) = 1.52 \text{ tn/m}^2$$

- Empuje activo

$$E_a = P1 * \left( \frac{H + h_z}{2} \right)$$

$$E_a = 1.5 * \left( \frac{2.5 + 0.3}{2} \right) = 2.13 \text{ tn/m}^3$$

- Punto de aplicación del empuje activo

$$y = \left( \frac{H}{3} \right)$$

$$y = \left( \frac{2.5}{3} \right) = 0.83 \text{ m}$$

- Factor seguridad al deslizamiento



$$FSD = \left( \frac{f * \sum W_{resistentes}}{\sum Factuantes} \right) \geq 1.5$$

$$f = \tan(\phi)$$

$$f = \tan(32) = 0.62$$

$$FSD = \left( \frac{0.62 * 6.20}{2.13} \right) = 1.82 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Factor de seguridad por volteo

$$FSV = \left( \frac{\sum M_{resistentes}}{\sum M_{actuantes}} \right) \geq 1.5$$

$$FSV = \left( \frac{4.57}{2.13 * 0.83} \right) = 2.58 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Excentricidad de la estructura

$$X_0 = \left( \frac{\sum M_{rest.} - \sum M_{act.}}{\sum W_{rest.}} \right)$$

$$X_0 = \left( \frac{4.57 - (2.13 * 0.83)}{6.20} \right) = 0.45 \text{ m}$$

$$e = \left( \frac{B}{2} - X_0 \right) < \frac{B}{6}$$

$$e = \left( \frac{1.3}{2} - 0.45 \right) < \frac{1.3}{6}$$

$$e = 0.19 < 0.22 ; \text{ si cumple}$$

$$q_1 = \frac{W}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_1 = \frac{6.20}{1.3} \left( 1 + \frac{6 * 0.19}{1.3} \right) = 9.14 \frac{tn}{m^2} < \frac{38.16tn}{m^2} \quad \text{si cumple}$$

$$q_2 = \frac{W}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_2 = \frac{6.20}{1.3} \left( 1 - \frac{6 * 0.19}{1.3} \right) = 0.39 \frac{tn}{m^2} < \frac{38.16tn}{m^2} \quad \text{si cumple}$$

#### 4.5.2. Tramo 2: Progr. 0 + 920.00 Km – Progr. 1 + 160.00 Km

##### 4.5.2.1. Consideraciones de diseño

Tabla 24. Consideraciones de diseño para el Tramo 2.

| CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA MUROS DE CONCRETO CICLÓPEO |                   |                   |                   |       |          |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------|----------|
| ÍTEM  | PROGRESIVA (KM)   | MARGEN DERECHO    | MARGEN IZQUIERDO  | TRAMO | LONGITUD |
| 1   | 0 + 920 - 1 + 040 | Empuje de agua    | Empuje de terreno | Recto | 140      |
| 2   | 1 + 040 - 1 + 070 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 30       |
| 3   | 1 + 070 + 1 + 080 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Recto | 10       |
| 4   | 1 + 080 - 1 + 100 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 20       |
| 5   | 1 + 100 - 1 + 120 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Recto | 20       |
| 6   | 1 + 120 - 1 + 160 | Empuje de agua    | Empuje de terreno | Recto | 40       |

Fuente: elaboración propia de los autores.

##### 4.5.2.2. Diseño de muro de contención

###### a) tramos rectos (considerar empuje solo empuje de tierras)

Dónde:

$$\gamma_s = 1.85 \text{ tn/m}^3$$

$$\theta = 35^\circ$$

$$q_a = 35.74 \text{ tn/m}^2$$

$$\gamma_c = 2.3 \text{ tn/m}^3$$

###### ➤ Cálculos de las dimensiones del muro

- Ancho superior de pantalla

$$t_1 = 0.08H \quad \text{donde } t_1 \geq 0.3 \text{ m}$$

$$t_1 = 0.08(2.3) = 0.18 \text{ m} \cong 0.2 \text{ m}$$

- *Altura de zapata*  $h_z = 0.12H$  a  $0.16H$   
 $h_z = 0.12(2.3) = 0.28 \text{ m} \cong 0.3 \text{ m}$
- *Pie y talon del muro*  $p_1 = p_2 = \frac{h_z}{2}$   
 $p_1 = p_2 = \frac{0.3}{2} = 0.15 \text{ m} \cong 0.25 \text{ m}$
- *Ancho de la zapata*  $B = 0.5H$  a  $0.75H$   
 $B = 0.5(2.3) = 1.3 \text{ m}$
- *Ancho inferior de la pantalla*  $t_2 = B - p_1 = p_2$   
 $t_2 = 1.3 - 0.25 - 0.25 = 0.80 \text{ m}$

➤ **Verificación por Estabilidad**

Tabla 25. Cálculo de pesos y momentos Tramo 2.

| Wi    | B(m) | H(m) | Pe(tn/m3) | peso(tn) | brazo(m) | mon(tn*m) |
|-------|------|------|-----------|----------|----------|-----------|
| W1    | 1.30 | 0.30 | 2.3       | 0.897    | 0.650    | 0.583     |
| W2    | 0.2  | 2.3  | 2.3       | 1.058    | 0.350    | 0.370     |
| W3    | 0.6  | 2.3  | 2.3       | 1.587    | 0.750    | 1.190     |
| W4    | 0.6  | 2.3  | 1.85      | 1.277    | 0.750    | 0.957     |
| W5    | 0.25 | 2.3  | 1.85      | 1.064    | 1.175    | 1.250     |
| TOTAL |      |      |           | 5.882    |          | 4.351     |

Fuente: elaboración propia de los autores.

- Presiones laterales

$$K_a = \tan \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)^2$$

$$K_a = \tan \left( 45 - \frac{35}{2} \right)^2 = 0.27$$

- Presión del suelo

$$P1 = K_a * \gamma_s(H + h_z)$$

$$P1 = 0.27 * 1.85(2.3 + 0.3) = 1.3 \text{ tn/m}^2$$

- Empuje activo

$$E_a = P1 * \left(\frac{H + h_z}{2}\right) E_a = 1.3 * \left(\frac{2.3 + 0.3}{2}\right) = 1.69 \text{ tn/m}^3$$

- Punto de aplicación del empuje activo

$$y = \left(\frac{H}{3}\right)$$

$$y = \left(\frac{2.3}{3}\right) = 0.77 \text{ m}$$

- Factor seguridad al deslizamiento

$$FSD = \left(\frac{f * \sum W_{resistentes}}{\sum Factuantes}\right) \geq 1.5$$

$$f = \tan(\phi)$$

$$f = \tan(35) = 0.7$$

$$FSD = \left(\frac{0.70 * 5.88}{1.69}\right) = 2.43 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Factor de seguridad por volteo

$$FSV = \left(\frac{\sum M_{resistentes}}{\sum M_{actuantes}}\right) \geq 1.5$$

$$FSV = \left(\frac{4.35}{1.69 * 0.77}\right) = 3.35 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Excentricidad de la estructura

$$X_0 = \left(\frac{\sum M_{rest.} - \sum M_{act.}}{\sum W_{rest.}}\right)$$

$$X_0 = \left(\frac{4.35 - (1.69 * 0.77)}{5.88}\right) = 0.52 \text{ m}$$

$$e = \left( \frac{B}{2} - X_0 \right) < \frac{B}{6}$$

$$e = \left( \frac{1.3}{2} - 0.52 \right) < \frac{1.3}{6}$$

$$e = 0.13 < 0.22 ; \text{ si cumple}$$

$$q_1 = \frac{W}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_1 = \frac{5.88}{1.3} \left( 1 + \frac{6 * 0.13}{1.3} \right) = 7.26 \frac{tn}{m^2} < \frac{35.74tn}{m^2} \quad \text{si cumple}$$

$$q_2 = \frac{W}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_2 = \frac{5.88}{1.3} \left( 1 - \frac{6 * 0.13}{1.3} \right) = 1.88 \frac{tn}{m^2} < \frac{35.74tn}{m^2} \quad \text{si cumple}$$

**b) tramos rectos (considerar empuje de tierra a H=1.40m)**

$$H = 2.3 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1 \text{ tn/m}^3$$

$$\theta = 35^\circ$$

$$q_a = 35.74 \text{ tn/m}^2$$

$$\gamma_c = 2.3 \text{ tn/m}^3$$

➤ **Cálculos de las dimensiones del muro**

*Ancho superior de pantalla*

$$t_1 = 0.08H \quad \text{donde } t_1 \geq 0.3 \text{ m}$$

$$t_1 = 0.08(2.3) = 0.18 \text{ m} \cong 0.2 \text{ m}$$

- *Altura de zapata*

$$h_z = 0.12H \text{ a } 0.16H$$

$$h_z = 0.12(2.3) = 0.28 \text{ m} \cong 0.3 \text{ m}$$

- *Pie y talon del muro*

$$p_1 = p_2 = \frac{h_z}{2}$$

$$p_1 = p_2 = \frac{0.3}{2} = 0.15 \text{ m} \cong 0.25 \text{ m}$$

- *Ancho de la zapata*

$$B = 0.5H \text{ a } 0.75H$$

$$B = 0.5(2.3) = 1.3 \text{ m} \cong 1.3 \text{ m}$$

- *Ancho inferior de la pantalla*

$$t_2 = B - p_1 = p_2$$

$$t_2 = 1.3 - 0.25 - 0.25 = 0.80 \text{ m}$$

### ➤ Verificación por Estabilidad

Tabla 26. Cálculo de pesos y momentos tramos rectos.

| Wi    | B(m) | H(m) | Pe(tn/m3) | peso(tn) | brazo(m) | mon(tn*m) |
|-------|------|------|-----------|----------|----------|-----------|
| W1    | 1.30 | 0.30 | 2.3       | 0.90     | 0.65     | 0.58      |
| W2    | 0.2  | 2.3  | 2.3       | 1.06     | 0.55     | 0.58      |
| W3    | 0.6  | 2.3  | 2.3       | 1.59     | 0.95     | 1.51      |
| W4    | 0.25 | 2.3  | 1         | 0.29     | 1.18     | 0.34      |
| W5    | 0.25 | 1.39 | 2.3       | 0.80     | 0.15     | 0.12      |
| W6    | 0.1  | 1.39 | 2.3       | 0.32     | 0.05     | 0.02      |
| TOTAL |      |      |           | 4.95     |          | 3.15      |

Fuente: elaboración propia de los autores.

- Fuerza del agua

$$F_H = \frac{1}{2} * \gamma_s * H^2$$

$$F_H = \frac{1}{2} * 1 * 1.88^2 = 1.77 \text{ tn/m}^2$$

- Punto de aplicación del empuje activo

$$y = \left( \frac{H}{3} \right)$$

$$y = \left(\frac{2.3}{3}\right) = 0.77m$$

- Factor seguridad al deslizamiento

$$FSD = \left(\frac{f * \sum W_{resistentes}}{\sum Factuantes}\right) \geq 1.5$$

$$f = \tan(\phi)$$

$$f = \tan(35) = 0.7$$

$$FSD = \left(\frac{0.70 * 4.95}{1.77}\right) = 1.96 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Factor de seguridad por volteo

$$FSV = \left(\frac{\sum M_{resistentes}}{\sum M_{actuantes}}\right) \geq 1.5$$

$$FSV = \left(\frac{3.15}{1.77 * 0.77}\right) = 2.32 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Excentricidad de la estructura

$$X_0 = \left(\frac{\sum M_{rest.} - \sum M_{act.}}{\sum W_{rest.}}\right)$$

$$X_0 = \left(\frac{3.15 - (1.77 * 0.77)}{4.95}\right) = 0.36 m$$

$$e = \left(\frac{B}{2} - X_0\right) < \frac{B}{6}$$

$$e = \left(\frac{1.3}{2} - 0.36\right) < \frac{1.3}{6}$$

$$e = 0.20 < 0.22 ; \text{ si cumple}$$

$$q_1 = \frac{W}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right)$$

$$q_2 = \frac{4.95}{1.3} \left(1 + \frac{6 * 0.20}{1.3}\right) = 7.47 \frac{tn}{m^2} < 35.74 \frac{tn}{m^2}$$

$$q_2 = \frac{W}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right)$$

$$q_2 = \frac{4.95}{1.3} \left( 1 - \frac{6 * 0.20}{1.3} \right) = 0.14 \frac{tn}{m^2} < 35.74 \frac{tn}{m^2}$$

**c) en curvas (considerar solo empuje de tierra)**

**Datos:**

$$H = 2.5 \text{ m}$$

$$\gamma_s = 1.85 \text{ tn/m}^3$$

$$\theta = 35^\circ$$

$$q_a = 35.74 \text{ tn/m}^2$$

$$\gamma_c = 2.3 \text{ tn/m}^3$$

➤ **Cálculos de las dimensiones del muro**

- *ancho superior de pantalla*

$$t_1 = 0.08H \text{ donde } t_1 \geq 0.3 \text{ m}$$

$$t_1 = 0.08(2.5) = 0.2 \text{ m} \cong 0.2 \text{ m}$$

- *altura de zapata*

$$h_z = 0.12H \text{ a } 0.16H$$

$$h_z = 0.12(2.5) = 0.3 \text{ m} \cong 0.3 \text{ m}$$

- *pie y talon del muro*

$$p_1 = p_2 = \frac{h_z}{2}$$

$$p_1 = p_2 = \frac{0.3}{2} = 0.15 \text{ m} \cong 0.25 \text{ m}$$

- *ancho de la zapata*

$$B = 0.5H \text{ a } 0.75H$$

$$B = 0.5(2.5) = 1.4 \text{ m} \cong 1.3 \text{ m}$$

- *ancho inferior de la pantalla*

$$t_2 = B - p_1 = p_2$$



$$t_2 = 1.3 - 0.25 - 0.25 = 0.80 \text{ m}$$

➤ **Verificación por Estabilidad**

Tabla 27. Cálculo de pesos y momentos en curvas

| Wi    | B(m) | H(m) | Pe(tn/m3) | peso(tn) | brazo(m) | mon(tn*m) |
|-------|------|------|-----------|----------|----------|-----------|
| W1    | 1.30 | 0.30 | 2.3       | 0.897    | 0.650    | 0.583     |
| W2    | 0.2  | 2.5  | 2.3       | 1.150    | 0.350    | 0.403     |
| W3    | 0.6  | 2.5  | 2.3       | 1.725    | 0.750    | 1.294     |
| W4    | 0.6  | 2.5  | 1.85      | 1.388    | 0.750    | 1.041     |
| W5    | 0.25 | 2.5  | 1.85      | 1.156    | 1.175    | 1.359     |
| TOTAL |      |      |           | 6.316    |          | 4.679     |

Fuente: elaboración propia de los autores.

- Presiones laterales

$$K_a = \tan \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)^2$$

$$K_a = \tan \left( 45 - \frac{35}{2} \right)^2 = 0.27$$

- Presión del suelo

$$P1 = K_a * \gamma_s (H + h_z)$$

$$P1 = 0.27 * 1.85(2.5 + 0.3) = 1.40 \text{ tn/m}^2$$

- Empuje activo

$$E_a = P1 * \left( \frac{H + h_z}{2} \right)$$

$$E_a = 1.4 * \left( \frac{2.5 + 0.3}{2} \right) = 1.97 \text{ tn/m}^3$$

- Punto de aplicación del empuje activo

$$y = \left(\frac{H}{3}\right)$$

$$y = \left(\frac{2.5}{3}\right) = 0.83 \text{ m}$$

- Factor seguridad al deslizamiento

$$FSD = \left(\frac{f * \sum W_{resistentes}}{\sum Factuantes}\right) \geq 1.5$$

$$f = \tan(\emptyset)$$

$$f = \tan(35) = 0.7$$

$$FSD = \left(\frac{0.7 * 6.31}{1.97}\right) = 2.25 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Factor de seguridad por volteo

$$FSV = \left(\frac{\sum M_{resistentes}}{\sum M_{actuantes}}\right) \geq 1.5$$

$$FSV = \left(\frac{4.68}{1.97 * 0.83}\right) = 2.86 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Excentricidad de la estructura

$$X_0 = \left(\frac{\sum M_{rest.} - \sum M_{act.}}{\sum W_{rest.}}\right)$$

$$X_0 = \left(\frac{4.68 - (1.97 * 0.83)}{6.32}\right) = 0.48 \text{ m}$$

$$e = \left(\frac{B}{2} - X_0\right) < \frac{B}{6}$$

$$e = \left(\frac{1.3}{2} - 0.48\right) < \frac{1.3}{6}$$

$$e = 0.17 < 0.22 ; \text{ si cumple}$$

$$q_1 = \frac{W}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_1 = \frac{6.32}{1.3} \left( 1 + \frac{6 * 0.17}{1.3} \right) = 8.64 \frac{tn}{m^2} < \frac{35.74 tn}{m^2} \quad \text{si cumple}$$

$$q_2 = \frac{W}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_2 = \frac{6.32}{1.3} \left( 1 - \frac{6 * 0.17}{1.3} \right) = 1.08 \frac{tn}{m^2} < \frac{35.74 tn}{m^2} \quad \text{si cumple}$$

### 4.5.3. Tramo 3: Progr. 2 + 300.00Km – Progr. 3 + 565.00 Km

#### 4.5.3.1. Consideraciones de diseño

Tabla 28. Consideraciones de diseño tramo 3.

| CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA MUROS DE CONCRETO CICLÓPEO |                   |                   |                   |       |          |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------|----------|
| ÍTEM  | PROGRESIVA (KM)   | MARGEN DERECHO    | MARGEN IZQUIERDO  | TRAMO | LONGITUD |
| 1   | 2 + 300 - 2 + 360 | Empuje de agua    | Empuje de terreno | Recto | 60       |
| 2   | 2 + 360 - 2 + 380 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 20       |
| 3   | 2 + 380 - 2 + 420 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Recto | 40       |
| 4   | 2 + 420 - 2 + 440 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 20       |
| 5   | 2 + 440 - 2 + 460 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Recto | 20       |
| 6   | 2 + 460 - 2 + 480 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 20       |
| 7   | 2 + 480 - 2 + 540 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Recto | 60       |
| 8   | 2 + 540 - 2 + 560 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 20       |
| 9   | 2 + 560 - 2 + 620 | Empuje de agua    | Empuje de terreno | Recto | 80       |
| 10  | 2 + 620 - 2 + 640 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 20       |
| 11  | 2 + 640 - 2 + 720 | Empuje de agua    | Empuje de terreno | Recto | 80       |
| 12  | 2 + 720 - 2 + 760 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 40       |
| 13  | 2 + 760 - 2 + 820 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Recto | 60       |
| 14  | 2 + 820 - 2 + 840 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 20       |
| 15  | 2 + 840 - 2 + 940 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Recto | 100      |
| 16  | 2 + 940 - 3 + 020 | Empuje de agua    | Empuje de terreno | Recto | 80       |
| 17  | 3 + 020 + 3 + 060 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 40       |
| 18  | 3 + 060 - 3 + 100 | Muro existente    | Empuje de terreno | Recto | 40       |
| 19  | 3 + 100 - 3 + 140 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 40       |
| 20  | 3 + 140 - 3 + 200 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 60       |
| 21  | 3 + 200 - 3 + 220 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Recto | 20       |
| 22  | 3 + 220 - 3 + 240 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 20       |
| 23  | 3 + 240 - 3 + 265 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Recto | 25       |
| 24  | 3 + 265 - 3 + 285 | Puente            | Puente            | Recto | 20       |
| 25  | 3 + 285 - 3 + 310 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 25       |

|    |                   |                   |                   |       |    |
|----|-------------------|-------------------|-------------------|-------|----|
| 26 | 3 + 310 - 3 + 380 | Empuje de agua    | Empuje de agua    | Recto | 70 |
| 27 | 3 + 380 - 3 + 420 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 40 |
| 28 | 3 + 420 - 3 + 440 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Recto | 20 |
| 29 | 3 + 440 - 3 + 460 | Muro existente    | Empuje de terreno | Curva | 20 |
| 30 | 3 + 460 - 3 + 520 | Muro existente    | Empuje de terreno | Recto | 60 |
| 31 | 3 + 520 - 3 + 565 | Empuje de terreno | Empuje de terreno | Curva | 25 |

Fuente: Elaboración propia de los autores

#### 4.5.3.2. Diseño de muro de contención

##### a) tramos rectos (considerar solo empuje de tierras)

Datos:

$$H = 2.9 \text{ m}$$

$$\gamma_s = 2.085 \text{ tn/m}^3$$

$$\theta = 30^\circ$$

$$q_a = 22.75 \text{ tn/m}^2$$

$$\gamma_C = 2.3 \text{ tn/m}^3$$

##### ➤ Cálculos de las dimensiones del muro

- *Ancho superior de pantalla*

$$t_1 = 0.08H \text{ donde } t_1 \geq 0.3 \text{ m}$$

$$t_1 = 0.08(2.9) = 0.23 \text{ m} \cong 0.30 \text{ m}$$

- *Altura de zapata*

$$h_z = 0.12H \text{ a } 0.16H$$

$$h_z = 0.12(2.9) = 0.35 \text{ m} \cong 0.35 \text{ m}$$

- *Pie y talon del muro*

$$p_1 = p_2 = \frac{h_z}{2}$$

$$p_1 = p_2 = \frac{0.35}{2} = 0.17 \text{ m} \cong 0.25 \text{ m}$$

- *Ancho de la zapata*

$$B = 0.5H \text{ a } 0.75H$$

$$B = 0.5(2.9) = 1.62 \text{ m} \cong 1.60 \text{ m}$$

- Ancho inferior de la pantalla

$$t_2 = B - p_1 = p_2$$

$$t_2 = 1.60 - 0.25 - 0.25 = 1.10 \text{ m}$$

➤ **Verificación por Estabilidad**

Tabla 29. Cálculo de pesos y momentos tramo recto

| Wi    | B(m) | H(m) | Pe(tn/m3) | peso(tn) | brazo(m) | mon(tn*m) |
|-------|------|------|-----------|----------|----------|-----------|
| W1    | 1.60 | 0.35 | 2.3       | 1.288    | 0.800    | 1.030     |
| W2    | 0.3  | 2.9  | 2.3       | 2.001    | 0.400    | 0.800     |
| W3    | 0.8  | 2.9  | 2.3       | 2.668    | 0.950    | 2.535     |
| W4    | 0.8  | 2.9  | 2.085     | 2.419    | 0.950    | 2.298     |
| W5    | 0.25 | 2.9  | 2.085     | 1.512    | 1.475    | 2.230     |
| TOTAL |      |      |           | 9.887    |          | 8.893     |

Fuente: Elaboración propia de los autores

- Presiones laterales

$$K_a = \tan \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)^2$$

$$K_a = \tan \left( 45 - \frac{30}{2} \right)^2 = 0.33$$

- Presión del suelo

$$P1 = K_a * \gamma_s (H + h_z)$$

$$P1 = 0.33 * 2.085 (2.9 + 0.35)$$

$$P1 = 2.26 \text{ tn/m}^2$$

- Empuje activo

$$E_a = P1 * \left( \frac{H + h_z}{2} \right) E_a =$$

$$2.26 * \left( \frac{2.9 + 0.35}{2} \right) = 3.67 \text{ tn/m}^3$$

- Punto de aplicación del empuje activo

$$y = \left(\frac{H}{3}\right)$$

$$y = \left(\frac{2.9}{3}\right) = 0.97m$$

- Factor seguridad al deslizamiento

$$FSD = \left(\frac{f * \sum W_{resistentes}}{\sum Factuantes}\right) \geq 1.5$$

$$f = \tan(\phi)$$

$$f = \tan(30) = 0.58$$

$$FSD = \left(\frac{0.58 * 9.89}{3.67}\right) = 1.56 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Factor de seguridad por volteo

$$FSV = \left(\frac{\sum M_{resistentes}}{\sum M_{actuantes}}\right) \geq 1.5$$

$$FSV = \left(\frac{8.89}{3.67 * 0.97}\right) = 2.51 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Excentricidad de la estructura

$$X_0 = \left(\frac{\sum M_{rest.} - \sum M_{act.}}{\sum W_{rest.}}\right)$$

$$X_0 = \left(\frac{8.89 - (3.67 * 0.97)}{9.89}\right) = 0.54 m$$

$$e = \left(\frac{B}{2} - X_0\right) < \frac{B}{6}$$

$$e = \left(\frac{1.60}{2} - 0.54\right) < \frac{1.60}{6}$$

$$e = 0.25 < 0.27 ; \text{ si cumple}$$

$$q_1 = \frac{W}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right)$$

$$q_1 = \frac{9.88}{1.60} \left(1 + \frac{6 * 0.25}{1.60}\right) = 12.19 \frac{tn}{m^2} < 22.75 \frac{tn}{m^2} \quad \text{si cumple}$$

$$q_2 = \frac{W}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right)$$

$$q_2 = \frac{9.88}{1.60} \left(1 - \frac{6 * 0.25}{1.60}\right) = 0.17 \frac{tn}{m^2} < 22.75 \frac{tn}{m^2} \quad \text{si cumple}$$

**b) tramos rectos (considerar empuje de tierra a H = 1.40m de agua)**

Datos:

$$H = 2.9 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1 \text{ tn/m}^3$$

$$\theta = 30^\circ$$

$$q_a = 22.75 \text{ tn/m}^2$$

$$\gamma_c = 2.3 \text{ tn/m}^3$$

➤ **Cálculos de las dimensiones del muro**

- *ancho superior de pantalla*

$$t_1 = 0.08H \quad \text{donde } t_1 \geq 0.3 \text{ m}$$

$$t_1 = 0.08(2.3) = 0.18 \text{ m} \cong 0.30 \text{ m}$$

- *Altura de zapata*

$$h_z = 0.12H \quad \text{a } 0.16H$$

$$h_z = 0.12(2.9) = 0.23 \text{ m} \cong 0.35 \text{ m}$$

- *Pie y talon del muro*

$$p_1 = p_2 = \frac{h_z}{2}$$

$$p_1 = p_2 = \frac{0.3}{2} = 0.15 \text{ m} \cong 0.25 \text{ m}$$

- *Ancho de la zapata*

$$B = 0.5H \text{ a } 0.75H$$

$$B = 0.5(2.9) = 1.62 \text{ m} \cong 1.60 \text{ m}$$

- *Ancho inferior de la pantalla*

$$t_2 = B - p_1 = p_2$$

$$t_2 = 1.6 - 0.25 - 0.25 = 1.1 \text{ m}$$

### ➤ Verificación por Estabilidad

Tabla 30. Cálculo de pesos y momentos en curva.

| Wi    | B(m) | H(m) | Pe(tn/m3) | peso(tn) | brazo(m) | mon(tn*m) |
|-------|------|------|-----------|----------|----------|-----------|
| W1    | 1.60 | 0.35 | 2.3       | 1.29     | 0.8      | 1.03      |
| W2    | 0.3  | 2.9  | 2.3       | 2.00     | 0.65     | 1.30      |
| W3    | 0.8  | 2.9  | 2.3       | 2.67     | 1.2      | 3.20      |
| W4    | 0.25 | 2.9  | 1         | 0.36     | 1.475    | 0.53      |
| W5    | 0.15 | 1.39 | 2.3       | 0.48     | 0.33     | 0.16      |
| W6    | 0.25 | 1.39 | 2.3       | 0.80     | 0.125    | 0.10      |
| TOTAL |      |      |           | 6.32     |          | 6.32      |

Fuente: elaboración propia de los autores.

- Fuerza del agua

$$F_H = \frac{1}{2} * \gamma_s * H^2$$

$$F_H = \frac{1}{2} * 1 * 2.04^2 = 2.07 \text{ tn/m}^2$$

- Punto de aplicación del empuje activo

$$y = \left(\frac{H}{3}\right)$$

$$y = \left(\frac{2.9}{3}\right) = 0.97 \text{ m}$$

- Factor seguridad al deslizamiento

$$FSD = \left(\frac{f * \sum W_{resistentes}}{\sum Factuantes}\right) \geq 1.5$$



$$f = \tan(\phi)$$

$$f = \tan(30) = 0.58$$

$$FSD = \left( \frac{0.58 * 6.32}{2.07} \right) = 1.8 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Factor de seguridad por volteo

$$FSV = \left( \frac{\sum M_{resistentes}}{\sum M_{actuantes}} \right) \geq 1.5$$

$$FSV = \left( \frac{6.32}{2.07 * 0.58} \right) = 3.16 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Excentricidad de la estructura

$$X_0 = \left( \frac{\sum M_{rest.} - \sum M_{act.}}{\sum W_{rest.}} \right)$$

$$X_0 = \left( \frac{6.32 - (2.07 * 0.58)}{6.32} \right) = 0.68 \text{ m}$$

$$e = \left( \frac{B}{2} - X_0 \right) < \frac{B}{6}$$

$$e = \left( \frac{1.6}{2} - 0.58 \right) < \frac{1.6}{6}$$

$$e = 0.12 < 0.27 ; \text{ si cumple}$$

$$q_1 = \frac{W}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_2 = \frac{6.32}{1.6} \left( 1 + \frac{6 * 0.12}{1.6} \right) = 5.68 \frac{tn}{m^2} < 22.75 \text{ tn/m}^2$$

$$q_2 = \frac{W}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_2 = \frac{6.32}{1.6} \left( 1 - \frac{6 * 0.12}{1.6} \right) = 2.22 \frac{tn}{m^2} < 22.75 \text{ tn/m}^2$$

**c) Tramos en curvas (considerar solo empuje de tierra)**

Datos:

$$H = 3 \text{ m}$$

$$\gamma_s = 2.085 \text{ tn/m}^3$$

$$\theta = 30^\circ$$

$$q_a = 22.75 \text{ tn/m}^2$$

$$\gamma_c = 2.3 \text{ tn/m}^3$$

➤ **Cálculos de las dimensiones del muro**

- *ancho superior de pantalla*

$$t_1 = 0.08H \text{ donde } t_1 \geq 0.3 \text{ m}$$

$$t_1 = 0.08(3) = 0.24 \text{ m} \cong 0.30 \text{ m}$$

- *altura de zapata*

$$h_z = 0.12H \text{ a } 0.16H$$

$$h_z = 0.12(3) = 0.36 \text{ m} \cong 0.35 \text{ m}$$

- *pie y talon del muro*

$$p_1 = p_2 = \frac{h_z}{2}$$

$$p_1 = p_2 = \frac{0.3}{2} = 0.175 \text{ m} \cong 0.25 \text{ m}$$

- *ancho de la zapata*

$$B = 0.5H \text{ a } 0.75H$$

$$B = 0.5(3) = 1.63 \text{ m} \cong 1.6 \text{ m}$$

- *ancho inferior de la pantalla*

$$t_2 = B - p_1 = p_2$$

$$t_2 = 1.6 - 0.25 - 0.25 = 1.1 \text{ m}$$

➤ **Verificación por Estabilidad**

Tabla 31. Cálculo de pesos y momentos curvas.

| Wi    | B(m) | H(m) | Pe(tn/m3) | peso(tn) | brazo(m) | mon(tn*m) |
|-------|------|------|-----------|----------|----------|-----------|
| W1    | 1.60 | 0.35 | 2.3       | 1.29     | 0.80     | 1.03      |
| W2    | 0.3  | 3    | 2.3       | 2.07     | 0.40     | 0.83      |
| W3    | 0.8  | 3    | 2.3       | 2.76     | 0.95     | 2.62      |
| W4    | 0.8  | 3    | 2.09      | 2.50     | 0.95     | 2.38      |
| W5    | 0.25 | 3    | 2.09      | 1.56     | 1.48     | 2.31      |
| TOTAL |      |      |           | 10.18    |          | 9.16      |

Fuente: Elaboración propia de los autores

- Presiones laterales

$$K_a = \tan \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right)^2$$

$$K_a = \tan \left( 45 - \frac{30}{2} \right)^2 = 0.33$$

- Presión del suelo

$$P1 = K_a * \gamma_s(H + h_z)$$

$$P1 = 0.33 * 2.085(3 + 0.35) =$$

$$P1 = 2.33 \text{ tn/m}^2$$

- Empuje activo

$$E_a = P1 * \left( \frac{H + h_z}{2} \right)$$

$$E_a = 2.33 * \left( \frac{3 + 0.35}{2} \right) = 3.49 \text{ tn/m}^3$$

- Punto de aplicación del empuje activo

$$y = \left( \frac{H}{3} \right)$$

$$y = \left( \frac{3}{3} \right) = 1 \text{ m}$$

- Factor seguridad al deslizamiento

$$FSD = \left( \frac{f \cdot \sum W_{resistentes}}{\sum Factuantes} \right) \geq 1.5$$

$$f = \tan(\phi)$$

$$f = \tan(30) = 0.58$$

$$FSD = \left( \frac{0.58 * 10.18}{3.49} \right) = 1.68 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Factor de seguridad por volteo

$$FSV = \left( \frac{\sum M_{resistentes}}{\sum M_{actuantes}} \right) \geq 1.5$$

$$FSV = \left( \frac{9.16}{3.49 * 1} \right) = 2.62 \geq 1.5 ; \text{ si cumple}$$

- Excentricidad de la estructura

$$X_0 = \left( \frac{\sum M_{rest.} - \sum M_{act.}}{\sum W_{rest.}} \right)$$

$$X_0 = \left( \frac{9.16 - (3.49 * 1)}{10.18} \right) = 0.56 \text{ m}$$

$$e = \left( \frac{B}{2} - X_0 \right) < \frac{B}{6}$$

$$e = \left( \frac{1.6}{2} - 0.56 \right) < \frac{1.6}{6}$$

$$e = 0.24 < 0.27 ; \text{ si cumple}$$

$$q_1 = \frac{W}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$q_1 = \frac{10.18}{1.6} \left( 1 + \frac{6 * 0.24}{1.6} \right) = 12.17 \frac{tn}{m^2} < \frac{22.75 \text{ tn}}{m^2} \quad \text{si cumple}$$

$$q_2 = \frac{W}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right)$$

$$q_2 = \frac{10.18}{1.6} \left(1 - \frac{6 * 0.24}{1.6}\right) = 0.56 \frac{tn}{m^2} < \frac{22.75 tn}{m^2} \quad \text{si cumple}$$

## V. DISCUSIÓN

En este proyecto de investigación “Diseño hidráulico y estructural para encauzamiento del río Pollo, tramo puente Central - intersección río Huangamarca”, se obtuvo la longitud del tramo de estudio siendo este de 4.3 km con una pendiente

de 9% y un ancho promedio de 8 m, perteneciente a la microcuenca del río Pollo la cual genera caudales de diseño obtenidos mediante métodos estadísticos por cada tramo crítico, siendo estos de 42.31 m<sup>3</sup>/s para el primer tramo, 42.77 m<sup>3</sup>/s para el segundo y 51.73 m<sup>3</sup>/s para el tercer tramo con un periodo de retorno de 140 años. Estos caudales generan erosión, socavación y pérdidas de terrenos para la cual se propuso el diseño de muros de contención de concreto ciclópeo para el primer y segundo tramo con una altura de 2.30 m en tramos rectos y 2.5 m en curvas, para el tercer tramo una altura de 2.9 m en tramos y rectos y 3.00 m en curvas, así mismo para evitar la socavación producidas por el agua que vierten las quebradas al río, se propuso el diseño de muros de mampostería en la intersección con una longitud de muro de 2.50 m. Estos resultados se asemejan a la propuesta de muros de contención de concreto ciclópeo y mampostería para encauzamiento del río con alturas de 4.5 m (Farroñay, 2017), además para la obtención de caudales de diseño se utiliza métodos estadísticos los cuales permiten tener datos más exactos ya que son usados para cuencas altoandinas (Espinoza y Torres, 2015). La propuesta del diseño de muros con concreto ciclópeo en su construcción es más económica frente a los gaviones y enrocados, propuestos por (Flores, 2015).

## VI. CONCLUSIONES

- El realizar el levantamiento topográfico del río Pollo en el tramo Puente Central – Intersección río Huangamarca, nos permitió determinar una longitud de 4.3 km con una pendiente de 9% y un ancho promedio de 8 m.
- Se obtuvo los caudales de diseño para cada tramo crítico, 42.31 m<sup>3</sup>/s para el primer tramo, 42.77 m<sup>3</sup>/s para el segundo y 51.73 m<sup>3</sup>/s para el tercer tramo con un periodo de retorno de 140 años.
- El resultado del estudio de mecánica de suelos se tomó como referencia del expediente técnico “mejoramiento y rehabilitación del camino vecinal: Otuzco Carnachique, de la ciudad de Otuzco y centro poblado de Carnachique - distrito de Otuzco - provincia de Otuzco – región la libertad”, en el cual se determinó que el suelo está conformado por limo inorgánico de baja comprensibilidad, de color amarillo, mezclado con 23.80% de arena gruesa a fina y 15.54% de fragmentos rocosos de tamaño máximo de ½".
- Se obtuvo el dimensionamiento del muro para el primer y segundo tramo con una altura de 2.30 m en tramos rectos y 2.5 m en curvas, para el tercer tramo una altura de 2.9 m en tramos rectos y 3.00 m en curvas.
- Para concluir con esta investigación se propuso la construcción de muros de concreto ciclópeo y en la desembocadura de las quebradas en el cauce del río en el tramo Puente Central – Intersección río Huangamarca, se propone la construcción de muros con aletas de mampostería.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Debido a la topografía del terreno y la existencia de vegetación de gran altura se recomienda usar un GPS diferencial para realizar el levantamiento en menos tiempo y tener mayor facilidad de trabajo.
- Para un diseño más exacto de los muros de contención se recomienda realizar un ensayo de mecánica de suelos en los márgenes del río de acuerdo a los tramos críticos identificados.
- Para obtener más resultados en el cálculo de caudal máximo de diseño buscar métodos diferentes al usado en esta investigación con la finalidad de comparar y usar el que más se ajuste a las características de la cuenca.
- Considerar en futuras investigaciones posibles embalses y retención de sólidos aguas arriba en el tramo de estudio.



## REFERENCIAS

ALANYA, Edison. Sistema de prevención y control de erosión en la ribera del río San Fernando tramo Chayhuamayo – Shucusma. Tesis (Ingeniero Civil).

Huancayo: Universidad Peruana Los Andes, 2017. 127pp.

BARROS, José. Muros de Contención. 1.a ed. Barcelona: 2007. 208pp.

ISBN: 9788432918870

CAMPAÑA, Roberto. Introducción a los proyectos de defensas ribereñas. 1.a ed. Perú: 2010. 266pp.

CIDELSA. Muro de Contención con Gaviones - memoria de diseño. 1.a ed. Perú: 2017. 50pp.

CISENEROS, José. [et al]. EROSIÓN HIDRICA Principios y técnicas de manejo por Argentina: UniRío editora, 2012. 287pp.

ESPINOZA, Luis y TORRES, Juan. Diseño hidráulico y estructural de diques para el encauzamiento del río Virú entre Zaraqay y Tomabal, provincia de Virú – departamento de la Libertad. Tesis (Ingeniero Civil).

La Libertad: Universidad Privada Antenor Orrego, 2015. 289pp.

EVANGELISTA, Karla. Identificación de zonas inundables y propuesta de defensa ribereña del sector Salinas km 89 en el río Chancay. Tesis (Ingeniero Civil).

Lima: Universidad César Vallejo, 2017. 195pp.

FARROÑAY, Pedro. Propuesta de diseño de muros mixtos de gaviones y de mampostería de piedra para la defensa ribereña del Río Rímac en los kilómetros 34-35 Lurigancho-Chosica. Tesis (Ingeniero Civil).

Lima: Universidad de San Martín de Porres, 2017. 114pp.

FLORES, Orestes. Propuesta y análisis de diseño de defensas ribereñas en el río llave zona rural C.P. Santa Rosa de Huayllata - llave. Tesis (Ingeniero Civil).

Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2015.246pp.

GRAVELIUS, H. Grundriß der gesamten Gewässerkunde, Band I: Flußkunde Göschen, 1aed.Germany: 2014. 230pp.

HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA Pilar. Metodología de la investigación. 6ta.ed. México: McGraw-hill, 2014.625pp. ISBN: 9781456223960

HUAMÁN, José y RODRÍGUEZ, Segundo. Generación de caudales medios mensuales de la cuenca [en línea]. Febrero 2017, n.º16. [Fecha de consulta: 04 de junio de 2020]. ISBN: 1997-0447

JIMÉNEZ, Gonzalo. Topografía para Ingenieros Civiles. Armaena, Universidad del Quindío,2007, p.18.

JUÁREZ, Eulalio y RICO Alfonso. Mecánica de Suelos tomo 1 Fundamentos de la Mecánica de Suelos. 1aed.México; 2005. 489pp.

LINCO, Andrés. Diseño de defensas fluviales río cruces en san José de la Mariquina. Tesis (Ingeniero Civil).

Chile 2015: Universidad Austral de Chile, 2015.117pp.

LUJÁN, José. Uso de gaviones para mejorar la defensa ribereña del río Huaycoloro, zona de Huachipa distrito de Lurigancho, Lima 2017. Tesis (Ingeniero Civil).

Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2017.107pp.

MIJARES, Aparicio. Fundamentos de la hidrología en la superficie.1.aed.México: Limusa, 1992. 291pp.

ISBN: 9681830148

MARTIN, Juan. Ingeniería de Ríos. 2ª ed. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2002. 111pp.

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2º ed. Perú. 2018. 209pp.

MONSALVE, German. Hidrología en la Ingeniería. 1ª ed. Colombia: 1995. 359pp.

POUDEL, Roshan. Surface hydrologic modeling and analyzing watershed hydrologic response to landcover change, Nevada 2017. Tesis (Master of Science in Engineering – Civil). Las Vegas: University of Nevada, Las Vegas, Department of Civil, 2017. 154pp.

R.E Horton,. Drainage Basin Characteristics. Trans. American Geophysical Union: 1932, p.13.

ROCHA, Arturo. Introducción a la dinámica pluvial. 1ª ed. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 1998. 270pp.

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, Norma E – 50. Suelos y Cimentaciones. 2019. 55pp.

REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, Norma E – 60. Concreto Armado. 2019. 205pp.

VALDEZ, Moreno. Evaluación de las defensas ribereñas del río Chicama pautas para controlar su erosión en el Sector Punta Moreno - Provincia de Gran Chimú. Tesis (Ingeniero Agrícola).

Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2018. 185pp.

VÁSQUEZ, Abel. Manejo y gestión de cuencas hidrográficas. Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2016.

VALLEUMBROSO, Freddy. Métodos Probabilísticos Hidrología general. Perú, 2014. 709pp.

VILLON, Máximo Hidrología. 1ª ed. Perú: 2002. 216pp.

VILLANUEVA, José. Zonificación Ambiental y Usos de Suelo. San Salvador: 1998. 53pp.

ZAVOIANU, Ion. Morphometry of Drainage Basins, Volume 20. 1ra. Ed. Romania:1985, p.86.

ISBN: 9780080870113

## ANEXOS

### Anexo 1.

- Anexo 1.1: Matriz de operacionalización de variables

Tabla 32. Matriz de operacionalización de variables

| VARIABLE  | DEFINICIÓN CONCEPTUAL   | DEFINICIÓN OPERACIONAL  | DIMENSIONES         | INDICADORES   | ESCALA DE MEDICIÓN    |                    |                       |
|---|---|---|---------------------|---|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| <b>Diseño Hidráulico y Estructural para encauzamiento del río Pollo</b>   | Según Villanueva (2017). Manifiesta que el diseño hidráulico son el conjunto de medidas que van a tomar para dar solución a problemas que son generados por la fuerza del agua que provocando erosión en taludes de sus márgenes que lo contiene. | Para lograr tanto el diseño hidráulico en este proyecto se considerará: estudios de suelos, hidrológicos, topografía. | Topografía          | Curvas de nivel   | Cuantitativa de razón |                    |                       |
|   |   |   |                     | Perfil longitudinal   | Cuantitativa de razón |                    |                       |
|   |   |   |                     | Secciones transversales   | Cuantitativa de razón |                    |                       |
|   |   |   | Mecánica de suelos  | Peso específico   | Cuantitativa de razón |                    |                       |
|   |   |   |                     | Capacidad portante  | Cuantitativa de razón |                    |                       |
|   |   |   |                     | Granulometría   | Cuantitativa de razón |                    |                       |
|   |   |   | Estudio hidrológico | Precipitaciones máximas diarias anuales   | Cuantitativa de razón |                    |                       |
|   |   |   |                     | Caudales de diseño  | Cuantitativa de razón |                    |                       |
|   |   |   | Diseño hidráulico   | Para la propuesta de diseño se considerara los caudales de diseño, y la socavación. | Diseño hidráulico     | Ancho estable      | Cuantitativa de razón |
|   |   |   |                     |   |                       | Tirante hidráulico | Cuantitativa de razón |
|   | Velocidad media   | Cuantitativa de razón   |                     |   |                       |                    |                       |
|   | Socavación  | Cuantitativa de razón   |                     |   |                       |                    |                       |
|   | Diseño estructural  |   | Diseño estructural  | Dimensionamiento  | Cuantitativa de razón |                    |                       |
|   |   |   |                     | Verificación por FSD y FSV  |                       |                    |                       |
| Verificación de capacidad portante del suelo  |   |   |                     |   |                       |                    |                       |
| Los muros de contención sirven para proteger deslizamientos de tierras producidos por la erosión para el diseño se debe de tener en cuenta el empuje activo del terreno ( Barros, 2007) |   |   |                     |   |                       |                    |                       |

Fuente: elaboración propia de los autores.

## Anexo 2. Tablas usadas en el desarrollo del proyecto

Tabla 33. Vida útil de obras hidráulicas.

| Tipo de Obra                          | Vida útil |
|---------------------------------------|-----------|
| Alcantarillas de quebradas importante | <b>40</b> |
| Alcantarillas de quebradas importante | 25        |
| Alcantarillas de quebradas menores    | 15        |
| Drenaje de plataforma y Sub-drenes    | 15        |

Fuente: elaboración propia de los autores.

Tabla 34. Valores recomendados Riesgo admisible de obras hidráulicas.

| TIPO DE OBRA  | RIESGO ADMISIBLE<br>(**) (%) |
|---|------------------------------|
| Puentes   | 25                           |
| Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes              | 30                           |
| Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas | 35                           |
| Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)                       | 40                           |
| Subdrenes   | 40                           |
| Defensas Ribereñas  | <b>25</b>                    |

Fuente: elaboración propia de los autores

Tabla 35. Valor del Factor de Frecuencia K Según Cs Y Tr.

| FACTOR DE FRECUENCIA K SEGÚN CS Y TR |                                 |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Coeficiente de asimetría Cs          | Periodo de retorno en años (Tr) |       |       |       |       |       |       |
|                                      | 2                               | 5     | 10    | 25    | 50    | 100   | 200   |
|                                      | 0.50                            | 0.20  | 0.10  | 0.04  | 0.02  | 0.01  | 0.005 |
| 2.7                                  | -0.376                          | 0.479 | 1.224 | 2.272 | 3.093 | 3.932 | 4.783 |
| 2.6                                  | -0.368                          | 0.499 | 1.238 | 2.267 | 3.071 | 3.889 | 4.718 |
| 2.5                                  | -0.360                          | 0.518 | 1.250 | 2.262 | 3.048 | 3.845 | 4.652 |
| 2.4                                  | -0.351                          | 0.537 | 1.262 | 2.256 | 3.023 | 3.800 | 4.584 |
| 2.3                                  | -0.341                          | 0.555 | 1.274 | 2.248 | 2.997 | 3.753 | 4.515 |
| 2.2                                  | -0.330                          | 0.574 | 1.284 | 2.240 | 2.970 | 3.705 | 4.444 |
| 2.1                                  | -0.319                          | 0.592 | 1.294 | 2.230 | 2.942 | 3.656 | 4.372 |
| 2.0                                  | -0.307                          | 0.609 | 1.302 | 2.219 | 2.912 | 3.605 | 4.298 |
| 1.9                                  | -0.294                          | 0.627 | 1.310 | 2.207 | 2.881 | 3.553 | 4.223 |
| 1.8                                  | -0.282                          | 0.643 | 1.318 | 2.193 | 2.848 | 3.499 | 4.147 |
| 1.7                                  | -0.268                          | 0.660 | 1.324 | 2.179 | 2.815 | 3.444 | 4.069 |
| 1.6                                  | -0.254                          | 0.675 | 1.329 | 2.163 | 2.780 | 3.388 | 3.990 |
| 1.5                                  | -0.240                          | 0.690 | 1.333 | 2.146 | 2.743 | 3.330 | 3.910 |
| 1.4                                  | -0.225                          | 0.705 | 1.337 | 2.128 | 2.706 | 3.271 | 3.828 |
| 1.3                                  | -0.210                          | 0.719 | 1.339 | 2.108 | 2.666 | 3.211 | 3.745 |
| 1.2                                  | -0.195                          | 0.732 | 1.340 | 2.087 | 2.626 | 3.149 | 3.661 |
| 1.1                                  | -0.180                          | 0.745 | 1.341 | 2.066 | 2.585 | 3.087 | 3.575 |
| 1.0                                  | -0.164                          | 0.758 | 1.340 | 2.043 | 2.542 | 3.022 | 3.489 |
| 0.9                                  | -0.148                          | 0.769 | 1.339 | 2.018 | 2.498 | 2.957 | 3.401 |
| 0.8                                  | -0.132                          | 0.780 | 1.336 | 1.993 | 2.453 | 2.891 | 3.312 |
| 0.7                                  | -0.116                          | 0.790 | 1.333 | 1.967 | 2.407 | 2.824 | 3.223 |
| 0.6                                  | -0.099                          | 0.800 | 1.328 | 1.939 | 2.359 | 2.755 | 3.132 |
| 0.5                                  | -0.083                          | 0.808 | 1.323 | 1.910 | 2.311 | 2.686 | 3.041 |
| 0.4                                  | -0.066                          | 0.816 | 1.317 | 1.880 | 2.261 | 2.615 | 2.949 |
| 0.3                                  | -0.050                          | 0.824 | 1.309 | 1.849 | 2.211 | 2.544 | 2.856 |
| 0.2                                  | -0.033                          | 0.830 | 1.301 | 1.818 | 2.159 | 2.472 | 2.763 |
| 0.1                                  | -0.017                          | 0.836 | 1.292 | 1.785 | 2.107 | 2.400 | 2.670 |
| 0.0                                  | 0.000                           | 0.842 | 1.282 | 1.751 | 2.054 | 2.326 | 2.576 |
| -0.1                                 | 0.017                           | 0.846 | 1.270 | 1.716 | 2.000 | 2.252 | 2.482 |
| -0.2                                 | 0.033                           | 0.850 | 1.258 | 1.680 | 1.945 | 2.178 | 2.388 |
| -0.3                                 | 0.050                           | 0.853 | 1.245 | 1.643 | 1.890 | 2.104 | 2.294 |
| -0.4                                 | 0.066                           | 0.855 | 1.231 | 1.606 | 1.834 | 2.029 | 2.201 |
| -0.5                                 | 0.083                           | 0.856 | 1.216 | 1.567 | 1.777 | 1.955 | 2.108 |
| -0.6                                 | 0.099                           | 0.857 | 1.200 | 1.528 | 1.720 | 1.880 | 2.106 |
| -0.7                                 | 0.116                           | 0.857 | 1.183 | 1.488 | 1.663 | 1.806 | 1.926 |
| -0.8                                 | 0.132                           | 0.856 | 1.166 | 1.448 | 1.606 | 1.733 | 1.837 |

Fuente: Valleumbroso Villa Freddy

Tabla 36. Cálculo de S distribución Pearson Tipo III.

| Bmi  | Normal | Acumulado | CDF    | z       | f(x)   | Diferencia (S) |
|------|--------|-----------|--------|---------|--------|----------------|
| 15.4 | 1      | 1         | 0.0333 | -1.3150 | 0.0943 | 0.0609         |
| 16.3 | 1      | 2         | 0.0667 | 1.9571  | 0.1151 | 0.0484         |
| 16.4 | 1      | 3         | 0.1000 | 1.8420  | 0.1176 | 0.0176         |
| 17.2 | 1      | 4         | 0.1333 | 1.8164  | 0.1390 | 0.0057         |
| 17.4 | 1      | 5         | 0.1667 | 1.7141  | 0.1448 | 0.0219         |
| 17.6 | 1      | 6         | 0.2000 | 1.6117  | 0.1507 | 0.0493         |
| 18.2 | 1      | 7         | 0.2333 | 1.5606  | 0.1693 | 0.0640         |
| 20   | 1      | 8         | 0.2667 | 1.6629  | 0.2337 | 0.0329         |
| 20.1 | 1      | 9         | 0.3000 | 1.5478  | 0.2377 | 0.0623         |
| 20.4 | 1      | 10        | 0.3333 | 1.4582  | 0.2497 | 0.0836         |
| 20.8 | 1      | 11        | 0.3667 | 1.3815  | 0.2662 | 0.1004         |
| 22   | 1      | 12        | 0.4000 | 1.4071  | 0.3189 | 0.0811         |
| 23.9 | 1      | 13        | 0.4333 | 1.5222  | 0.4099 | 0.0234         |
| 24   | 1      | 14        | 0.4667 | 1.4071  | 0.4149 | 0.0517         |
| 24.1 | 1      | 15        | 0.5000 | 1.2919  | 0.4199 | 0.0801         |
| 24.9 | 1      | 16        | 0.5333 | 1.2664  | 0.4603 | 0.0731         |
| 25.2 | 1      | 17        | 0.5667 | 1.1768  | 0.4755 | 0.0911         |
| 28   | 1      | 18        | 0.6000 | 1.4071  | 0.6167 | 0.0167         |
| 28.4 | 1      | 19        | 0.6333 | 1.3303  | 0.6361 | 0.0027         |
| 28.5 | 1      | 20        | 0.6667 | 1.2152  | 0.6408 | 0.0258         |
| 29.2 | 1      | 21        | 0.7000 | 1.1768  | 0.6737 | 0.0263         |
| 29.3 | 1      | 22        | 0.7333 | 1.0617  | 0.6783 | 0.0550         |
| 30.4 | 1      | 23        | 0.7667 | 1.0745  | 0.7270 | 0.0397         |
| 30.5 | 1      | 24        | 0.8000 | 0.9594  | 0.7312 | 0.0688         |
| 30.7 | 1      | 25        | 0.8333 | 0.8570  | 0.7396 | 0.0937         |
| 32.8 | 1      | 26        | 0.8667 | 0.9977  | 0.8188 | 0.0479         |
| 33   | 1      | 27        | 0.9000 | 0.8954  | 0.8254 | 0.0746         |
| 35   | 1      | 28        | 0.9333 | 1.0233  | 0.8834 | 0.0499         |
| 43   | 1      | 29        | 0.9667 | 1.9187  | 0.9866 | 0.0200         |
| 47.7 | 1      | 30        | 1.0000 | 2.3920  | 0.9976 | 0.0024         |

Fuente: Elaboración propia de los autores.



Tabla 37. Valor crítico de Alfa prueba Smirnov Kolmogorov

| Tamaño de la muestra | $\alpha = 0.10$   | $\alpha = 0.05$   | $\alpha = 0.01$   |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 5                    | 0.51              | 0.56              | 0.67              |
| 10                   | 0.37              | 0.41              | 0.49              |
| 15                   | 0.30              | 0.34              | 0.4               |
| 20                   | 0.26              | 0.29              | 0.35              |
| 25                   | 0.24              | 0.26              | 0.32              |
| <b>30</b>            | 0.22              | <b>0.24</b>       | 0.29              |
| 40                   | 0.19              | 0.21              | 0.25              |
| N grande             | $\sqrt{n} = 1.22$ | $\sqrt{n} = 1.36$ | $\sqrt{n} = 1.63$ |

Fuente: Hidrología para Ingenieros - Linsley, Kohler Y Paulhus.

Tabla 38. Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana.

| DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA   | GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO |          |          |          |
|--|-----------------------------|----------|----------|----------|
|  | A                           | B        | C        | D        |
| Tierra cultivada1: sin tratamientos de conservación<br>con tratamiento de conservación   | 72<br>62                    | 81<br>71 | 88<br>78 | 91<br>81 |
| Pastizales: condiciones pobres<br>condiciones óptimas  | 68<br>39                    | 79<br>61 | 86<br>74 | 89<br>80 |
| Vegas de ríos: condiciones óptimas   | 30                          | 58       | 71       | 78       |
| Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,<br>cubierta buena.   | 45<br>25                    | 66<br>55 | 77<br>70 | 83<br>77 |
| Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.<br>Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más.<br>Condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75% | 39<br>49                    | 61<br>69 | 74<br>79 | 80<br>84 |
| Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)   | 89                          | 92       | 94       | 95       |
| Distritos Industriales /72% impermeables)  | 81                          | 88       | 91       | 93       |

|  |                     |    |    |    |    |
|--|---------------------|----|----|----|----|
| Residencial3:<br>Tamaño promedio del lote impermeable4 | Porcentaje promedio |    |    |    |    |
| 1/8 acre o menos                                       | 65                  | 77 | 85 | 90 | 92 |
| 1/4 acre   | 38                  | 61 | 75 | 83 | 87 |
| 1/3 acre   | 30                  | 57 | 72 | 81 | 86 |
| 1/2 acre   | 25                  | 54 | 70 | 80 | 85 |
| 1 acre   | 20                  | 51 | 68 | 79 | 84 |
| Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc.5      |                     | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Calles y carreteras:                                   |                     |    |    |    |    |
| Pavimentados con cunetas y alcantarillados5            |                     | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Grava  |                     | 76 | 85 | 89 | 91 |
| Tierra   |                     | 72 | 82 | 87 | 89 |

Fuente: manual de hidrología, hidráulica y drenaje

Tabla 39. Valores del coeficiente de rugosidad (n) Manning

| Valores rugosidad de Manning (n)                | N             |
|---|---------------|
| Cauce con fondo solido sin irregularidades      | 0.025         |
| Cauces de rio con acarreo irregular             | 0.030 - 0.029 |
| Cauces de Ríos con Vegetación                   | 0.033 - 0.029 |
| Cauces naturales con derrubio e irregularidades | 0.033         |
| Cauces de Rio con fuerte transporte de acarreo  | 0.035         |
| Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza   | 0.040 - 0.036 |
| Torrentes con derrubio grueso y acarreo móvil   | 0.045 - 0.050 |

Fuente: Introducción a los proyectos de defensas ribereñas, Roberto Campaña

Tabla 40. Coeficiente del Material del cauce (K)

| Descripción                      | K       |
|----------------------------------|---------|
| Material de cauce muy resistente | 3 a 4   |
| Material fácilmente erosionable  | 16 a 20 |

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| Material aluvial      | 8 a 12   |
| Valor practico        | 10       |
| <b>Descripción</b>    | <b>M</b> |
| Para ríos de montaña  | 0.5      |
| Para cauces arenosos  | 0.7      |
| Para cauces aluviales | 1.0      |

Fuente: Introducción a los proyectos de defensas ribereñas, Roberto Campaña

Tabla 41. Coeficiente de Tipo de Río (M)

| <b>Descripción</b>    | <b>M</b> |
|-----------------------|----------|
| Para ríos de montaña  | 0.5      |
| Para cauces arenosos  | 0.7      |
| Para cauces aluviales | 1.0      |

Fuente: Introducción a los proyectos de defensas ribereñas, Roberto Campaña

Tabla 42. Coeficiente de rugosidad para cauces naturales (KS)

|   |            |
|---|------------|
| Tipo de cauce natural                           |            |
| Cauce con fondo sólido sin irregularidades      | 40         |
| Cauces de río con acarreo irregular             | ( 33 – 35) |
| Cauces de Ríos con Vegetación                   | (30 – 35)  |
| Cauces naturales con derrubio e irregularidades | 30         |
| Cauces de Río con fuerte transporte de acarreo  | 28         |
| Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza   | (25 – 28)  |
| Torrentes con derrubio grueso y acarreo móvil   | (19 – 22)  |

Fuente: Introducción a los proyectos de defensas ribereñas, Roberto Campaña

Tabla 43. Coeficiente de Contracción (u)

| Vel. Media m/s | LONGITUD LIBRE ENTRE DOS PILAS (CLARO) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |
|----------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
|                | 10 m.                                  | 13 m. | 16 m. | 18 m. | 21 m. | 25 m. | 30 m. | 42 m. | 52 m. | 63 m. | 106 m. | 124 m. | 200 m. |
| < 1.00         | 1.00                                   | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00   | 1.00   | 1.00   |
| 1.50           | 0.96                                   | 0.97  | 0.98  | 0.98  | 0.99  | 0.99  | 0.99  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00   | 1.00   | 1.00   |
| 2.00           | 0.94                                   | 0.96  | 0.97  | 0.97  | 0.98  | 0.98  | 0.99  | 0.99  | 0.99  | 0.99  | 1.00   | 1.00   | 1.00   |
| 2.50           | 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   |
| 3.00           | 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  | 0.96  | 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  | 0.95  | 0.95  | 0.96  | 0.97  | 0.98  | 0.98  | 0.99   | 0.99   | 0.99   |
| > 4.00         | 0.85                                   | 0.89  | 0.91  | 0.92  | 0.94  | 0.94  | 0.95  | 0.96  | 0.97  | 0.98  | 0.99   | 0.99   | 0.99   |

Fuente: Introducción a los proyectos de defensas ribereñas, Roberto Campaña

Tabla 44. Coeficiente de Contracción ( $\beta$ )

| Periodo de Retorno (Años) | Probabilidad de Retorno (%) | $\beta$ |
|---------------------------|-----------------------------|---------|
| 2.00                      | 50.00                       | 0.82    |
| 5.00                      | 20.00                       | 0.86    |
| 10.00                     | 10.00                       | 0.90    |
| 20.00                     | 5.00                        | 0.94    |
| 50.00                     | 2.00                        | 0.97    |
| 100.00                    | 1.00                        | 1.00    |
| 300.00                    | 0.33                        | 1.03    |
| 500.00                    | 0.20                        | 1.05    |
| 1,000.00                  | 0.10                        | 1.07    |

Fuente: Introducción a los proyectos de defensas ribereñas, Roberto Campaña

Tabla 45. Valor de X según diámetro de partícula

| D (mm)<br>Diámetro Partícula | x    | 1/(x +1) |
|------------------------------|------|----------|
| 0.05                         | 0.43 | 0.70     |
| 0.15                         | 0.42 | 0.70     |
| 0.50                         | 0.41 | 0.71     |
| 1.00                         | 0.40 | 0.71     |
| 1.50                         | 0.39 | 0.72     |
| 2.50                         | 0.38 | 0.72     |
| 4.00                         | 0.37 | 0.73     |
| 6.00                         | 0.36 | 0.74     |
| 8.00                         | 0.35 | 0.74     |
| 10.00                        | 0.34 | 0.75     |
| 15.00                        | 0.33 | 0.75     |
| 20.00                        | 0.32 | 0.76     |
| 25.00                        | 0.31 | 0.76     |
| 40.00                        | 0.30 | 0.77     |
| 60.00                        | 0.29 | 0.78     |
| 90.00                        | 0.28 | 0.78     |

|          |      |      |
|----------|------|------|
| 140.00   | 0.27 | 0.79 |
| 190.00   | 0.26 | 0.79 |
| 250.00   | 0.25 | 0.80 |
| 310.00   | 0.24 | 0.81 |
| 370.00   | 0.23 | 0.81 |
| 450.00   | 0.22 | 0.82 |
| 570.00   | 0.21 | 0.83 |
| 750.00   | 0.20 | 0.83 |
| 1,000.00 | 0.19 | 0.84 |

Fuente: Introducción a los proyectos de defensas ribereñas, Roberto Campaña

Tabla 46. Valor Crítico de arrastre necesario para materiales depositados en cauce del río

| <b>Materiales</b>         | <b>Diámetro (mm)</b> | <b>Tc (Kg /m2)</b> |
|---------------------------|----------------------|--------------------|
| Arena ordinaria de cuarzo | 0.20 - 0.40          | 0.18 - 0.20        |
| Arena ordinaria de cuarzo | 0.40 - 1.40          | 0.25 - 0.30        |
| Arena ordinaria de cuarzo | 1.40 - 2.00          | 0.40               |
| Suelo areno limoso        | 0.80 - 1.50          | 1.00 1.20          |
| Grava rodada de cuarzo    | 0.50 - 1.50          | 1.25               |
| Grava gruesa              | 4.00 - 5.00          | 4.80 - 5.00        |
| Rocas Grandes             | 25.0 50.0            | 16.00 - 24.00      |

Fuente: Introducción a los proyectos de defensas ribereñas, Roberto Campaña

# Anexo 3.1. Estudios de suelos



**JOSE LEZAMA LEIVA**  
INGENIERO CIVIL  
CONSULTOR DE OBRAS DE INGENIERIA  
REG. C.I.P. Nº 14081 - RUC 1028678711  
REGISTRO NACIONAL DE CONSULTORES Nº 00117

Jr. Paredón Nº 542  
Tel: 305536 - Cel. 97021333 - 97000425  
RPC Clave 92881722 - 99351713  
Cajamarca

ESTUDIOS GEOTECNICOS, LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

## ANALISIS GRANULOMETRICO A.A.S.H.T.O. T 88

**PROYECTO:** MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DEL CARRO VEHICULAR OTAZO  
CAMARON, DE LA OBRAS DE OTAZO Y CENTRO PUEBLO DE CAMARON -  
DISTRITO DE OTAZO - PROVINCIA DE OTAZO - REGION LA LIBERTAD

**UBICACION:** DISTRITO: OTAZO PROVINCIA: OTAZO REGION: LA LIBERTAD

**CALICATA:** C - 1

**MUESTRA:** M - 1

**SOLICITANTE:** TOPOSANG TOPOGRAFIA E INGENIERIA S.A.C.

**RESPONSABLE:** ING. JOSE LEZAMA L.

**OPERADOR:** C.I.M.

**FECHA:** DICIEMBRE 2017

**PROFUNDIDAD:** 0.00 m. A 1.50 m.

**PROFUNDIDAD:** 4m. 00 x 000

| ANALISIS FRACCION GRUESA                                |                        |                    |                            |                          |               | MUESTRA TOTAL                              |          |   |           |
|---|------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------|---------------|--|----------|---|-----------|
| Nº  | TAMIZ<br>ABERTURA (mm) | P. RET.<br>PARCIAL | PORCENTAJE<br>RET. PARCIAL | PORCENTAJE<br>RET. ACUM. | % QUE<br>PASA | TEMPERATURA<br>DE SECADO                   | AMBIENTE | 60° C                                     | 110° C    |
| 3"  | 75.00                  | 0.00               | 0.00                       | 0.00                     | 100.00        |  |          |   |           |
| 2 1/2"  | 63.50                  | 0.00               | 0.00                       | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (gr)             |          | 2706.90                                   |           |
| 2"  | 50.80                  | 0.00               | 0.00                       | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA + # 4 (gr)       |          | 2582.30                                   |           |
| 1 1/2"  | 38.10                  | 0.00               | 0.00                       | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA + # 10 (gr)      |          | 208.00                                    |           |
| 1"  | 25.40                  | 0.00               | 0.00                       | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA + # 20 (gr)      |          | 2095.00                                   |           |
| 3/4"  | 19.05                  | 0.00               | 0.00                       | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA SECA + # 4 (gr)         |          | 205.00                                    |           |
| 1/2"  | 12.70                  | 0.00               | 0.00                       | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA SECA + # 10 (gr)        |          |   |           |
| 3/8"  | 9.50                   | 95.00              | 2.87                       | 2.82                     | 97.13         | PESO TOTAL MUESTRA SECA + # 20 (gr)        |          |   |           |
| 1/4"  | 6.35                   | 95.00              | 4.19                       | 7.00                     | 92.80         | PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)               |          |   |           |
| Nº 6  | 4.75                   | 44.00              | 1.01                       | 8.21                     | 91.79         |  |          |   |           |
| TOTAL   | 30.00                  | 205.00             |                            |                          |               | PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)               |          | 2700.00                                   |           |
| ANALISIS FRACCION FINA                                  |                        |                    |                            |                          |               | CONTENIDO DE HUMEDAD<br>A.A.S.H.T.O. T 205 |          | LIMITE DE CONSISTENCIA<br>A.S.T.M. D 4019 |           |
| CORRECCION MUESTRA CUARTADA<br>PESO ENSAYO PORCION SECA |                        |                    |                            |                          |               | 0.182174<br>500.00                         |          |   |           |
| Nº 10   | 2.00                   | 28.00              | 5.70                       | 14.01                    | 85.99         | W <sub>10</sub> %                          | 1        | LIMITE LIQUIDO:                           | 38.00%    |
| Nº 20   | 0.85                   | 34.00              | 6.70                       | 20.31                    | 79.79         | PESO HUMEDO + 500 (gr)                     | 100.00   | LIMITE PLASTICO:                          | 26.00%    |
| Nº 30   | 0.60                   | 13.00              | 2.37                       | 22.68                    | 77.42         | PESO SECO + 500 (gr)                       | 776.00   | INDICE PLASTICO:                          | 12.00%    |
| Nº 40   | 0.425                  | 14.00              | 2.95                       | 25.13                    | 74.87         | PESO 500 (gr)                              | 86.00    |   |           |
| Nº 60   | 0.25                   | 28.00              | 5.70                       | 30.20                    | 69.77         | PESO 1000 (gr)                             | 154.00   |   |           |
| Nº 100  | 0.15                   | 37.00              | 6.74                       | 36.97                    | 63.03         |  | 710.00   |   |           |
| Nº 200  | 0.08                   | 21.00              | 3.88                       | 40.79                    | 59.21         |  |          |   |           |
| CAJOLETA  | --                     | --                 | --                         | --                       | --            |  |          |   |           |
| TOTAL   |                        |                    |                            |                          |               | C. HUMEDAD (%)                             | 21.88    | CLASIFICACION<br>A.A.S.H.T.O.:            | A - 6 (S) |



**OBSERVACIONES:**

LA MUESTRA EN ESTUDIO HA SIDO CLASIFICADA UTILIZANDO EL METODO A.A.S.H.T.O. Y CORRESPONDE A UNA AROLLA INORGANICA DE MEDIANA PLASTICIDAD, MEZCLAZA CON 26.7% DE ARENA FINA A GRUESA Y 14.01% DE FRAGMENTOS ROCOSOS DE TAMAÑO MÁXIMO DE 10". EL MATERIAL EN ESTUDIO HA SIDO MUESTREADO, IDENTIFICADO Y ALMACENADO AL CONSULTOR POR UN REPRESENTANTE DE LA ENTIDAD SOLICITANTE.

**Jose Lezama Leiva**  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. C.I.P. 14081

**ANALISIS GRANULOMETRICO**  
**A.A.S.H.T.O. T 88**

**PROYECTO:** MEJORAMIENTO Y REHABILITACION DEL CARRERA NACIONAL 070200  
 CARRIVARRAL DE LA CIUDAD DE OTIZCO Y CENTRO PUEBLO DE CARRIVARRAL -  
 DISTRITO DE OTIZCO - PROVINCIA DE OTIZCO - REGION LA LIBERTAD

**UBICACION:** DISTRITO OTIZCO PROVINCIA OTIZCO REGION LA LIBERTAD

**CALCATA:** C-2

**MUESTRA:** M-1

**SOLICITANTE:** TOPORASE TOPOGRAFIA E INGENIERIA S.A.S.

**RESPONSABLE:** ING JOSE LEZAMA L.

**OPERADOR:** C.L.M.

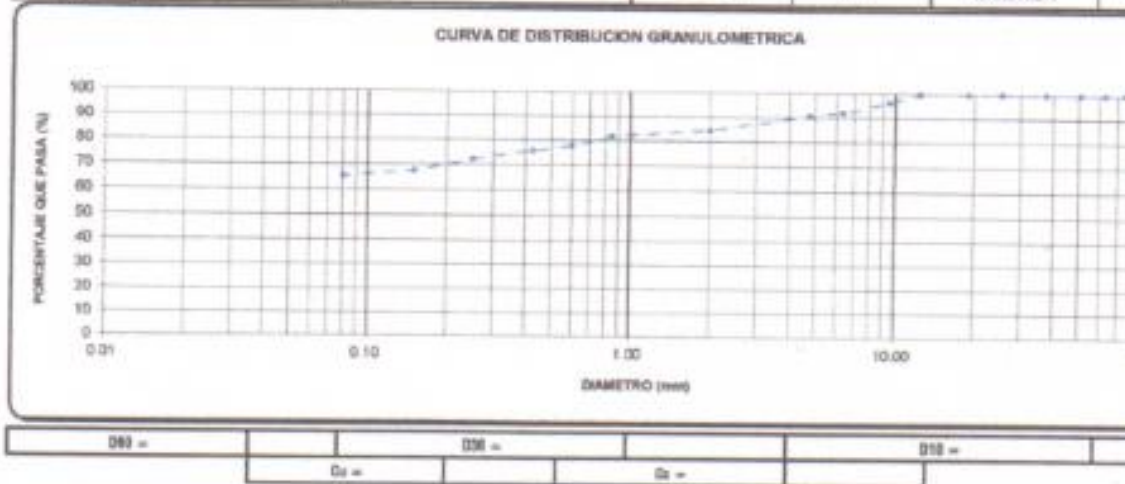
**FECHA:** DICIEMBRE 2017

**PROFUNDIDAD:** 0.50 m. A 1.50 m.

**PROGRESIVA:** Km 01+000

| ANALISIS FRACCION GRUESA    |                       |                    |                            |                          |               | MUESTRA TOTAL                              |          |   |    |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------|---------------|--|----------|---|----|
| N°                          | TAMO<br>ABERTURA (mm) | P. RET.<br>PARCIAL | PORCENTAJE<br>RET. PARCIAL | PORCENTAJE<br>RET. ACUM. | % QUE<br>PASA | TEMPERATURA<br>DE SECADO                   | AMBIENTE | M <sup>o</sup> C                          |    |
|                             |                       |                    |                            |                          |               |  |          |   | 3" |
| 2 1/4"                      | 63.50                 | 0.00               | 0.00                       | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (g)              |          | 2780.30                                   |    |
| 2"                          | 50.80                 | 0.00               | 0.00                       | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA + N° 4 (g)       |          | 2502.30                                   |    |
| 1 1/2"                      | 38.10                 | 0.00               | 0.00                       | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA + N° 4 (g)       |          | 220.00                                    |    |
| 1"                          | 25.40                 | 0.00               | 0.00                       | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA SECA + N° 4 (g)         |          | 2276.30                                   |    |
| 3/4"                        | 19.05                 | 0.00               | 0.00                       | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA SECA + N° 4 (g)         |          | 770.00                                    |    |
| 1/2"                        | 12.70                 | 0.00               | 0.00                       | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)                |          | 2455.00                                   |    |
| 3/8"                        | 9.52                  | 86.00              | 3.56                       | 3.56                     | 96.42         |  |          |   |    |
| 1/4"                        | 6.35                  | 104.00             | 4.25                       | 7.82                     | 92.18         |  |          |   |    |
| N° 4                        | 4.75                  | 36.00              | 1.47                       | 9.29                     | 90.72         |  |          |   |    |
| TOTAL                       | W <sub>L</sub> =      | 205.00             |                            |                          |               |  |          |   |    |
| ANALISIS FRACCION FINA      |                       |                    |                            |                          |               | CONTENIDO DE HUMEDAD<br>A.A.S.H.T.O. T 295 |          | LIMITE DE CONSISTENCIA<br>A.S.T.M. D 4319 |    |
| CORRECCION MUESTRA CUARTADA |                       |                    |                            |                          |               | 0.181453                                   |          |   |    |
| PESO ENSAYO PORCION SECA    |                       |                    |                            |                          |               | 500.00                                     |          |   |    |
| N° 10                       | 2.00                  | 24.00              | 0.17                       | 15.46                    | 84.54         | TAM N°                                     | 1        | LIMITE LIQUIDO:                           |    |
| N° 20                       | 0.85                  | 15.00              | 2.72                       | 18.17                    | 81.83         | PESO HUMIDO + TAM (g)                      | 1125.00  | LIMITE PLASTICO:                          |    |
| N° 30                       | 0.60                  | 21.00              | 3.81                       | 21.98                    | 78.02         | PESO SECO + TAM (g)                        | 1005.00  | INDICE PLASTICO:                          |    |
| N° 40                       | 0.42                  | 11.00              | 2.00                       | 23.98                    | 76.02         | PESO TAM (g)                               | 121.00   |   |    |
| N° 60                       | 0.25                  | 30.00              | 3.60                       | 27.57                    | 72.43         | PESO DEL TAM (g)                           | 120.00   |   |    |
| N° 100                      | 0.15                  | 26.00              | 4.72                       | 32.29                    | 67.71         | PESO SECO (g)                              | 884.00   |   |    |
| N° 200                      | 0.08                  | 12.00              | 2.16                       | 34.45                    | 65.55         |  |          |   |    |
| CAULETA                     | --                    | --                 | --                         | --                       | --            |  |          |   |    |
| TOTAL                       |                       |                    |                            |                          |               | % HUMEDAD (%)                              | 15.87    | CLASIFICADOR<br>A.A.S.H.T.O.:             |    |

CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA



OBSERVACIONES:

LA MUESTRA EN ESTUDIO HA SIDO CLASIFICADA UTILIZANDO EL METODO A.A.S.H.T.O. Y CORRESPONDE A UNA ARCILLA INORGANICA DE MEDIANA PLASTICIDAD, MEZCLADA CON 16.0% DE ARENA FINA A GRUESA Y 15.46% DE FRAGMENTOS ROGOSOS DE TAMAÑO MÁXIMO DE 1.0". EL MATERIAL EN ESTUDIO HA SIDO MUESTREADO, IDENTIFICADO Y ALCANZADO AL CONSULTOR POR UN REPRESENTANTE DE LA ENTIDAD SOLICITANTE.

DOS GEOTECNICOS, LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO Y DISEÑO DE PAVIMENTOS

**ANALISIS GRANULOMETRICO**  
**A.A.S.H.T.O. T 88**

ESTO: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL CAMINO VEHICULAR OTUZO  
SARAGUAY, DE LA CIUDAD DE OTUZO Y CENTRO PUEBLO DE CARMONA -  
DISTRITO DE OTUZO - PROVINCIA DE OTUZO - REGION LA LIBERTAD"

DOM: DISTRITO OTUZO - PROVINCIA OTUZO - REGION LA LIBERTAD

DIR: C-2

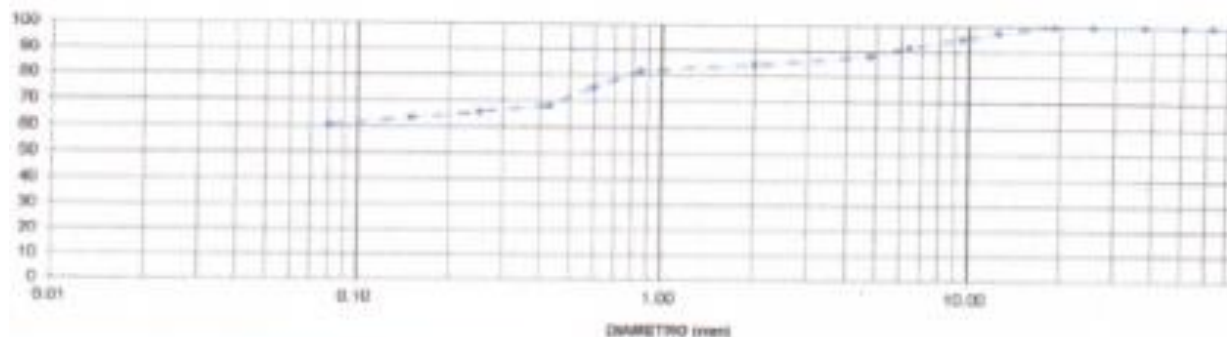
DA: M-1

TANTE: TOPOGRAFIA E INGENIERIA S.A.C

RESPONSABLE: ING. JOSE LEZAMA L.  
OPERADOR: C.L.M.  
FECHA: DICIEMBRE 2017  
PROFUNDIDAD: 0.15 m a 1.50 m  
PROGRESIVA: Km. 02+00

| ANALISIS FRACCION GUESA |               |                  |                           |                          |               | MUESTRA TOTAL                              |         |                                |
|-------------------------|---------------|------------------|---------------------------|--------------------------|---------------|--|---------|--------------------------------|
| M                       | TAMU          | P.RET.<br>PANTAL | PORCENTAJE<br>RET. PANTAL | PORCENTAJE<br>RET. ACUM. | % QUE<br>PASA | TEMPERATURA<br>DE SECADO                   | HABENTE | 90° C                          |
|                         | ABERTURA (mm) |                  |                           |                          |               |  |         |                                |
| 3"                      | 76.20         | 0.00             | 0.00                      | 0.00                     | 100.00        |  |         |                                |
| 2 1/4"                  | 63.50         | 0.00             | 0.00                      | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA HANEDA (gr)             |         | 4067.73                        |
| 2"                      | 50.80         | 0.00             | 0.00                      | 0.00                     | 100.00        |  |         |                                |
| 1 3/4"                  | 38.10         | 0.00             | 0.00                      | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA HANEDA + M 4 (gr)       |         | 3892.90                        |
| 1 1/2"                  | 25.40         | 0.00             | 0.00                      | 0.00                     | 100.00        |  |         |                                |
| 3/4"                    | 19.05         | 0.00             | 0.00                      | 0.00                     | 100.00        | PESO TOTAL MUESTRA HANEDA + M 4 (gr)       |         | 404.80                         |
| 1/2"                    | 12.70         | 85.00            | 7.29                      | 2.33                     | 87.67         |  |         |                                |
| 3/8"                    | 9.52          | 96.00            | 2.04                      | 4.57                     | 95.23         | PESO TOTAL MUESTRA SECA + M 4 (gr)         |         | 3711.30                        |
| 1/4"                    | 6.35          | 104.00           | 3.40                      | 5.37                     | 91.93         |  |         |                                |
| Nº4                     | 4.75          | 105.00           | 3.40                      | 11.83                    | 88.17         | PESO TOTAL MUESTRA SECA + M 4 (gr)         |         | 431.00                         |
| TOTAL                   | W U =         | 431.00           |                           |                          |               | PESO TOTAL MUESTRA SECA (gr)               |         | 3542.00                        |
| ANALISIS FRACCION FINA  |               |                  |                           |                          |               | CONTENIDO DE HUMEDAD<br>A.A.S.H.T.O. T 295 |         |                                |
| CON MUESTRA CLAVATELA   |               |                  |                           |                          |               | LIMITE DE CONSISTENCIA<br>A.S.T.M. D 4318  |         |                                |
| MAYO CONDON SECA        |               |                  |                           |                          |               | A.S.T.M. D 4318                            |         |                                |
| 8.17632                 |               |                  |                           |                          |               |  |         |                                |
| 500.00                  |               |                  |                           |                          |               |  |         |                                |
| 4.75                    | 3.70          | 31.00            | 3.70                      | 75.54                    | 84.88         | TAMU Nº                                    |         |                                |
| 7.5                     | 6.85          | 10.00            | 2.82                      | 18.30                    | 81.64         | PESO HANEDA + TAMU (gr)                    | 1652.00 | LIMITE LIQUIDO:                |
| 15                      | 6.00          | 34.00            | 6.00                      | 24.30                    | 75.30         | PESO SECO + TAMU (gr)                      | 1414.00 | LIMITE PLASTICO:               |
| 30                      | 6.40          | 40.00            | 7.47                      | 31.75                    | 68.24         | PESO TAMU (gr)                             | 146.00  | INDICE PLASTICO:               |
| 60                      | 0.25          | 14.00            | 2.47                      | 34.23                    | 65.77         | PESO DEL MOLDE (gr)                        | 218.00  |                                |
| 100                     | 0.15          | 12.00            | 2.12                      | 36.54                    | 63.46         | PESO SECO (gr)                             | 1268.00 |                                |
| 200                     | 0.06          | 17.00            | 3.00                      | 39.54                    | 60.46         |  |         |                                |
| CLAY                    | --            | --               | --                        | --                       | --            |  |         |                                |
| TOTAL                   |               |                  |                           |                          |               | % HUMEDAD (H)                              | 17.18   | CLASIFICACION<br>A.A.S.H.T.O.: |

CURVA DE DISTRIBUCION GRANULOMETRICA



|         |  |        |  |        |  |       |  |       |  |        |  |        |  |        |  |        |  |         |  |         |  |         |  |          |  |          |  |          |  |          |
|---------|--|--------|--|--------|--|-------|--|-------|--|--------|--|--------|--|--------|--|--------|--|---------|--|---------|--|---------|--|----------|--|----------|--|----------|--|----------|
| 0.075 = |  | 0.30 = |  | 0.60 = |  | 2.5 = |  | 5.0 = |  | 10.0 = |  | 20.0 = |  | 40.0 = |  | 75.0 = |  | 150.0 = |  | 300.0 = |  | 600.0 = |  | 1060.0 = |  | 2000.0 = |  | 4750.0 = |  | 9500.0 = |
|         |  |        |  |        |  |       |  |       |  |        |  |        |  |        |  |        |  |         |  |         |  |         |  |          |  |          |  |          |  |          |

CONCLUSIÓN: LA MUESTRA EN ESTUDIO HA SIDO CLASIFICADA UTILIZANDO EL MÉTODO A.A.S.H.T.O. Y CORRESPONDE A UN TIPO INORGÁNICO DE BAJA COMPRESIBILIDAD, MEZCLADO CON 25.20% DE ARENA GUESA A FINA Y 15.54% DE FRAGMENTOS REDONDEOS DE TAMAÑO MÁXIMO DE 3/4".



Anexo 3.2. Ficha de Observación

| FICHA DE OBSERVACION             |  |
|----------------------------------|--|
| <b>AUTORES</b>                   | Ildefonso Rodríguez Hilder Joel<br>Zarate Mastacero Pablo Roberto  |
| <b>UNIVERSIDAD</b>               | César Vallejo  |
| <b>TESIS</b>                     | "Diseño hidráulico y estructural para encauzamiento del río Pollo, tramo puente Central - intersección río Huangamarca - Distrito Otuzco La Libertad |
| <b>FECHA</b>                     | 15/01/2020   |
| <b>LUGAR</b>                     | Río Pollo tramo puente Central - intersección río Huangamarca  |
| <b>INDICADORES</b>               | <b>DESCRIPCION</b>   |
| <b>LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO</b> | Presenta grandes desniveles en todo el tramo de estudio  |
| <b>ESTUDIO DE SUELOS</b>         | Los suelos contienen materia orgánica, arcilla y grava, el cauce del río contiene roca fija generando encauzamiento natural en algunos tramos.       |
| <b>ESTUDIO HIDROLOGICO</b>       | El río pertenece a la microcuenca del río Pollo y es alimentado por quebradas en ambos márgenes.   |
| <b>DISEÑO HIDRAULICO</b>         | Se identificó tres tramos críticos, los cuales deben ser protegidos mediante una adecuada estructura de encauzamiento                                |
| <b>DISEÑO ESTRUCTURAL</b>        | Se propodrá la construcción de muros de contención con concreto ciclópeo debido a la naturaleza del terreno.   |

### Anexo 3.3. Constancia de levantamiento topográfico

#### CONSTANCIA DE CONFORMACIÓN

El que suscribe, Ing. ALEX ARQUIMEDES HERRERA VILOCHE, ante el docente del curso de proyecto de tesis, Ing. MARLON FARFAN CORDOVA.

HACE CONSTATAR

Que, después de haber revisado

1. La topografía  
De la tesis "Diseño hidráulico y estructural para encauzamiento del río Pollo, tramo puente Central - intersección río Huangamarca - Distrito Otuzco La Libertad" desarrollada por los bachilleres en Ingeniería Civil:

Bach. Ildefonso Rodríguez, Hilder Joel

Bach. Zarate Mostacero, Pablo Roberto

Otorgo **LA APROBACION**, para lo cual se expide el documento

Trujillo, 20 de enero del 2020



Alex A. Herrera Viloché  
INGENIERO CIVIL  
CIP 83266  
Reg. Consultor C13728

---

ALEX A. HERRERA VILOCHE  
DNI: 18210638

## Anexo 4. Fotos y documentos.

### Anexo 4.1 Panel fotográfico



Figura 15. Levantamiento topográfico con estación total



Figura 16. Toma de puntos en el margen del río.



Figura 17. Punto crítico del primer tramo.

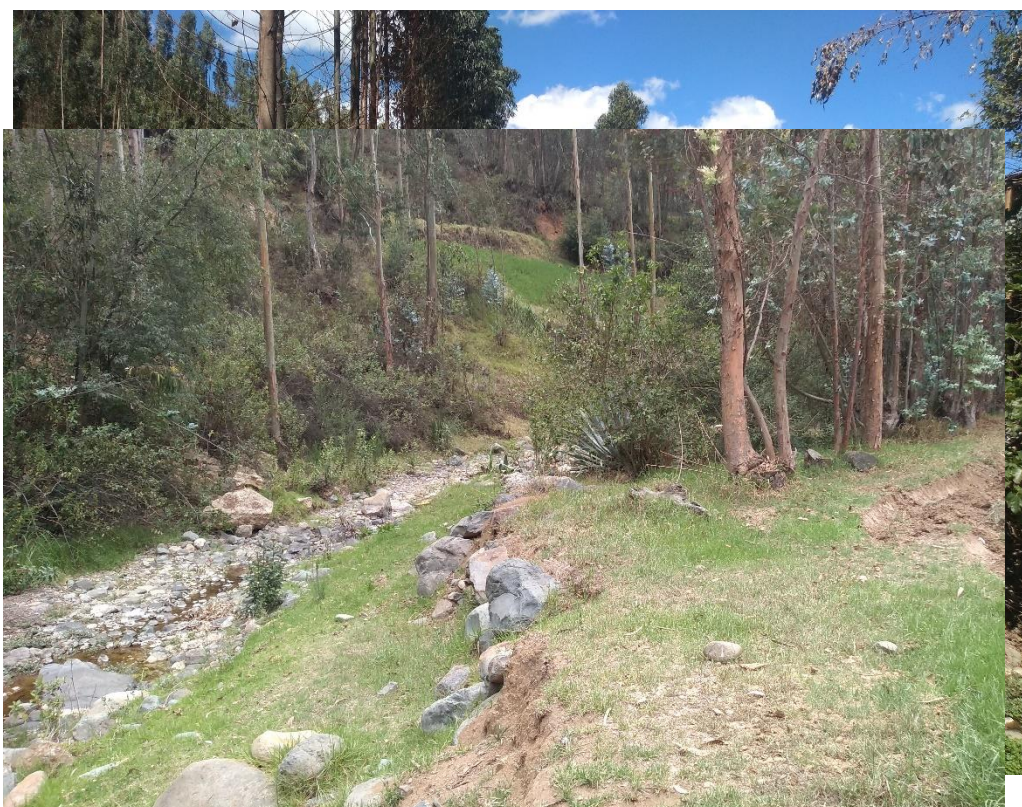


Figura 18. Pérdida de terrenos en el margen derecho del río.

Figura 19. Pérdida de terreno en margen derecho del tramo 2



Figura 20. Socavación producida por la fuerza del agua en el margen derecho tramo 2



Figura 21. Socavación de margen derecho tramo 2.



Figura 22. Vivienda construida en el margen derecho del río del tramo 3.

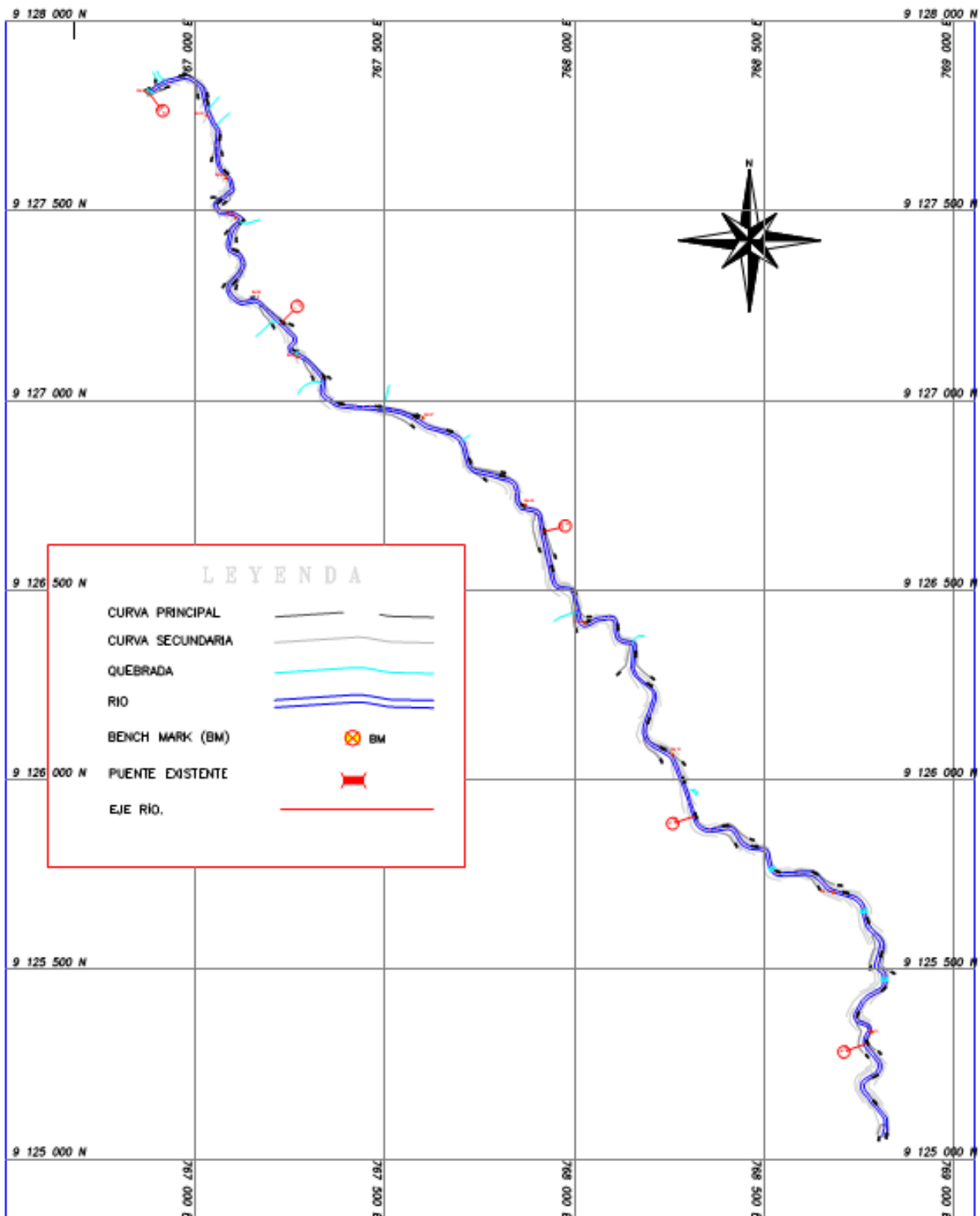


Figura 23. Pérdida de terreno en ambos márgenes del tercer tramo.



Figura 24. Pérdida de terreno margen derecho en la ciudad de Otuzco tramo 3.

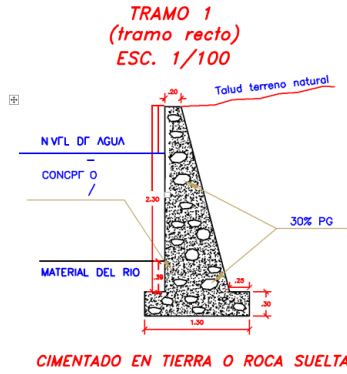
## Anexo 4.2 Plano en planta del río Pollo



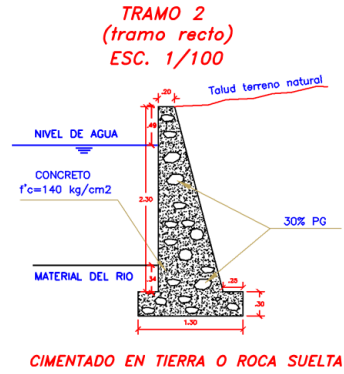


## Anexo 4.3 Detalles de muros con concreto ciclópeo

### CORONACION DEL MURO CON RELLENO

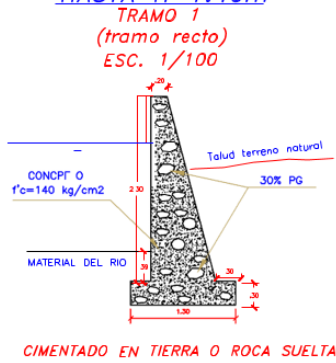


### CORONACION DEL MURO CON RELLENO



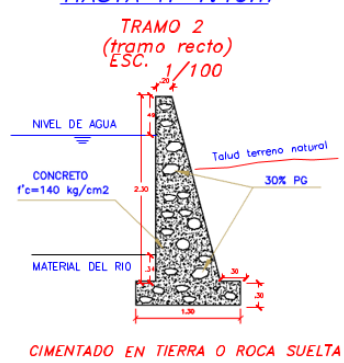
### CORONACION DEL MURO CON RELLENO

HASTA H=1.40m



### CORONACION DEL MURO CON RELLENO

HASTA H=1.40m



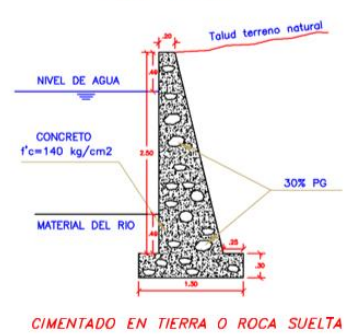
### CORONACION DEL MURO CON RELLENO

**TRAMO 1**  
(tramo en curva)  
ESC. 1/100



### CORONACION DEL MURO CON RELLENO

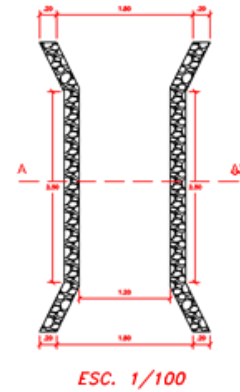
**TRAMO 1**  
(tramo en curva)  
ESC. 1/100



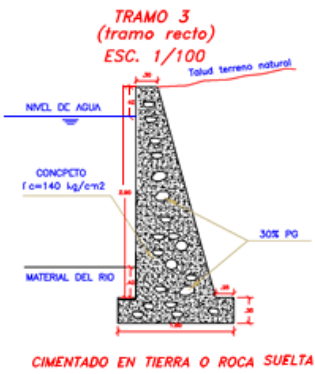
**CORONACION DEL MURO CON RELLENO**



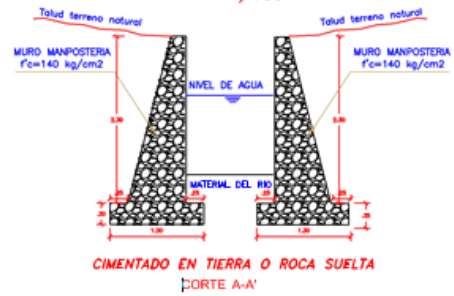
**PLANO EN PLANTA**  
**MURO DE MAMPOSTERÍA EN QUEBRADAS**



**CORONACION DEL MURO CON RELLENO**



**CORONACION DEL MURO CON RELLENO**  
**MURO DE MAMPOSTERÍA EN QUEBRADAS**  
ESC. 1/100



**CORONACION DEL MURO CON RELLENO**

