

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
CAJAMARCA  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA HIDRAULICA**



**TESIS**

**“COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL BARRAJE FIJO – FUSIBLE DE LA  
CAPTACIÓN TRES MOLINOS – CAJAMARCA, A NIVEL DE MODELO FÍSICO”**

**PARA OPTAR POR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO HIDRAULICO**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. CÁCERES MENDOZA KAROL JULISA**

**ASESORADO POR.**

**Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE**

**CAJAMARCA-PERU**

**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: KAROL JULISA CÁCERES MENDOZA  
DNI: 70211296  
Escuela Profesional: INGENIERÍA HIDRÁULICA
2. Asesor: Dr. Ing. JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE  
Facultad: INGENIERÍA
3. Grado académico o título profesional  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
4. Tipo de Investigación:  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación: COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL BARRAJE FIJO-FUSIBLE DE LA CAPTACIÓN TRES MOLINOS – CAJAMARCA, A NIVEL DE MODELO FÍSICO.
6. Fecha de evaluación: 18 de Mayo de 2024
7. Software antiplagio:       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 10 %
9. Código Documento: oid:3117:355674160
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:  
 APROBADO    PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 27 de mayo del 2024



FIRMA DEL ASESOR

Nombres y Apellidos: JOSÉ FRANCISCO HUAMÁN VIDAURRE

DNI: 26609077

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI

## **DEDICATORIA**

Por su paciencia, comprensión, dedicación y amor tejido con  
palitos y crochet, dedico esta tesis a mi madre y abuela:  
Sonia y Consuelo.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme sabiduría y voluntad, para realizar esta Tesis, así mismo por su amor incondicional. Agradezco a mi asesor, José Francisco Huamán Vidaurre, por todo el apoyo, comprensión y paciencia en cada etapa de mi vida universitaria.

Agradezco a la UNC, por brindarme las facilidades para hacer uso de los laboratorios e instrumentos que necesité para la elaboración de esta tesis.

Agradezco a mi madre y padre; Sonia y César, por darme amor, apoyo, comprensión y dedicación constante en toda mi vida.

Agradezco a mis hermanos César y Sofía, por su ayuda, cariño y ser siempre mis cómplices de aventuras.

# ÍNDICE

|  |            |
|--|------------|
| <b>DEDICATORIA .....</b>                                       | <b>ii</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTO .....</b>                                    | <b>iii</b> |
| <b>ÍNDICE .....</b>  | <b>iv</b>  |
| <b>INDICE DE FIGURAS.....</b>                                  | <b>vi</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>                                   | <b>ix</b>  |
| <b>RESUMEN .....</b>   | <b>xiv</b> |
| <b>ABSTRACT.....</b>   | <b>xv</b>  |
| <b>CAPÍTULO I .....</b>  | <b>1</b>   |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                       | <b>1</b>   |
| <b>CAPÍTULO II .....</b>                                       | <b>6</b>   |
| <b>MARCO TEÓRICO .....</b>                                     | <b>6</b>   |
| 2.1 Antecedentes de la investigación .....                     | 6          |
| 2.2 Bases teóricas.....  | 7          |
| 2.2.1 Fluviomorfología .....                                   | 7          |
| 2.2.2 Propiedades físicas de los sedimentos.....               | 8          |
| 2.2.3 Vertederos .....   | 14         |
| 2.2.4 Captación de alta montaña y partes de una captación..... | 16         |
| 2.2.5 Eficiencia de captación.....                             | 24         |
| 2.2.6 Captación Tres Molinos.....                              | 25         |
| 2.2.7 Aforo de caudal .....                                    | 26         |
| 2.2.8 Modelo Hidráulico.....                                   | 29         |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.2.9 Materiales y construcción del modelo hidráulico .....                         | 57        |
| <b>CAPÍTULO III</b> .....   | <b>58</b> |
| <b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>   | <b>58</b> |
| 3.1 Ubicación de la Investigación .....   | 58        |
| 3.2 Hipótesis de la investigación .....   | 61        |
| 3.3 Variables de la investigación .....   | 61        |
| 3.4 Matriz de operacionalización de variables.....                                  | 62        |
| 3.5 Población. Muestra, unidad de análisis y unidad de observación .....            | 62        |
| 3.6 Tipo de investigación.....  | 63        |
| 3.7 Método de la investigación .....  | 63        |
| 3.8 Técnicas e instrumentos de recopilación de información.....                     | 64        |
| 3.9 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información .....               | 68        |
| 3.10 Equipos y materiales .....   | 68        |
| 3.11 Esquema del proceso a desarrollar .....  | 69        |
| <b>CAPITULO IV .....</b>  | <b>70</b> |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>   | <b>70</b> |
| 4.1 Caudales del río Grande .....   | 70        |
| 4.2 Morfología del río Grande.....  | 71        |
| 4.3 Captación Tres Molinos.....   | 79        |
| 4.4 Datos del prototipo .....   | 80        |
| 4.5 Diseño del modelo .....   | 82        |
| 4.6 Construcción del modelo .....   | 92        |
| 4.7 Caudales a escala para ensayo del modelo (con datos de aforos realizados) ..... | 93        |
| 4.8 Calibración del modelo.....   | 94        |
| 4.9 Ensayo del modelo .....   | 95        |
| 4.10 Eficiencia de captación Tres Molinos con Barrage fijo-fusible.....             | 123       |

|   |            |
|---|------------|
| 4.11 Cálculos de coeficiente de descarga .....  | 126        |
| 4.12 Gráficas de caudal unitario vs tirante aguas arriba de barrage Fijo- fusible.....              | 128        |
| 4.13 Cálculos de caudal de salida con la ecuación de Dupuit .....                                   | 134        |
| 4.14 Gráfica de caudal aguas abajo vs carga de agua sobre barrage fijo-fusible.....                 | 138        |
| <b>CAPÍTULO V .....</b>   | <b>140</b> |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>   | <b>140</b> |
| 5.1 Conclusiones .....  | 140        |
| 5.2 Recomendaciones .....   | 144        |
| <b>CAPÍTULO VI .....</b>  | <b>145</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>145</b> |
| A. Bibliografía .....   | 145        |
| B. Linkografía.....   | 146        |
| C. Artículos .....  | 147        |
| D. Tesis .....  | 147        |
| <b>ANEXO.....</b>   | <b>149</b> |
| <b>ANEXO.....</b>   | <b>160</b> |
| <b>INDICE DE FIGURAS</b>  |            |
| Figura 1. Diámetro nominal .....  | 26         |
| Figura 2. Diámetro Cribado.....   | 26         |
| Figura 3. Curva granulométrica de un suelo areno-limoso, representado en un papel "log-normal"..... | 28         |
| Figura 4. Vertedero con perfil Creager.....   | 31         |
| Figura 5. Ubicación del barrage y del bocal.....  | 32         |
| Figura 6. Barrage fijo-fusible .....  | 35         |
| Figura 7. Coeficiente de descarga para barrage fijo-fusible.....                                    | 36         |

|   |    |
|---|----|
| Figura 8. Partes de la captación con barrage fijo-fusible.....  | 37 |
| Figura 9. Dimensiones del bocal.....  | 37 |
| Figura 10. Bocal tipo grada .....   | 39 |
| Figura 11. Tubo de Pitot.....   | 43 |
| Figura 12. Tubo de Pitot.....   | 43 |
| Figura 13. Curva de saturación. ....  | 60 |
| Figura 14. Ecuación de pérdida de energía en hidráulica de canales.....   | 63 |
| Figura 15. Puntos de control en el flujo a través de escollera según Stephenson.....  | 65 |
| Figura 16. Gradiente de salida de Hansen.....   | 66 |
| Figura 17. Esquema para la suposición de Dupuit.....  | 68 |
| Figura 18. Ubicación de la zona de estudio: Imagen satelital.....   | 75 |
| Figura 19. Ubicación de la captación Tres Molinos en la microcuenca del río Grande.....   | 76 |
| Figura 20. Captación Tres Molinos.....  | 80 |
| Figura 21. levantamiento topográfico de la captación Tres Molinos.....  | 80 |
| Figura 22. Aforo 200 m aguas arriba del barrage.....  | 81 |
| Figura 23. Gravas y cantos extraídos del río Grande.....  | 82 |
| Figura 24. Distribución granulométrica de guijarros y cantos del río Grande, aguas arriba del barrage de la captación Tres Molinos..... | 86 |
| Figura 25 . Rocas encontradas 200 metros aguas arriba de la captación TRES MOLINOS.....   | 87 |
| Figura 26. Arenisca de la captación TRES MOLINOS.....   | 88 |
| Figura 27. Traquita Verdosa de la captación TRES MOLINOS.....   | 89 |
| Figura 28. Riolita de la captación TRES MOLINOS.....  | 90 |
| Figura 29. Traque Andesita de la captación TRES MOLINOS.....  | 91 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 30. Dolerita de la captación TRES MOLINOS.....  | 92  |
| Figura 31. Modelo de Captación Tres Molinos a Escala reducida 1/25.....  | 103 |
| Figura 32. Modelo de Captación Tres Molinos a Escala reducida 1/25.....  | 105 |
| Figura 33. Calibración de modelo de Captación Tres Molinos a Escala reducida 1/25.....                         | 107 |
| Figura 34. Ubicación de cintas metálicas en modelo de captación.....   | 107 |
| Figura 35. Distancia entre cintas metálicas en modelo de captación.....  | 108 |
| Figura 36. Barrage Fijo con apertura del 10% a cada lado más barrage fusible de enrocado.....                  | 109 |
| Figura 37. Toma de medidas de tirantes en cada cinta .....   | 112 |
| Figura 38. Toma de medidas de tirantes en cada cinta .....   | 112 |
| Figura 39. Agua a través de enrocado.....  | 114 |
| Figura 40. Aforo por método de flotador con ayuda de pequeña esponja.....                                      | 115 |
| Figura 41. Medición de tirantes de agua en cintas metálicas en modelo de captación.....                        | 118 |
| Figura 42 Medición de tirantes de agua en cintas metálicas en modelo de captación.....                         | 119 |
| Figura 43. Aforo de bocal de modelo de captación con apertura de barrage al 10%.....                           | 122 |
| Figura 44. Construcción de barrage Fijo con apertura del 20% a cada lado, más barrage fusible de enrocado..... | 123 |
| Figura 45. Toma de medidas de tirantes de agua en cada cinta con apertura de barrage al 20%.....               | 126 |
| Figura 46. Toma de medidas de tirantes de agua en cada cinta con apertura de barrage al 20%.....               | 127 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 47. Toma de medidas de tirantes en modelo de captación con apertura de barrage al 20%..... | 132 |
| Figura 48. Toma de medidas de tirantes en modelo de captación con apertura de barrage al 20%..... | 132 |
| Figura 49. Aforo de bocal de modelo de captación con apertura de barrage al 20%.....              | 135 |
| Figura 50. Resolución 847-2015-ANA-AAA-M.....   | 136 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1. Clasificación de partículas de acuerdo a la American Geophysical Union (A.G.U.) (Escala de Wentworth) ..... | 23  |
| Tabla 2. Escalas utilizadas en modelos hidráulicos. ....   | 45  |
| Tabla 3. Resultados de pruebas de permeabilidad.....   | 55  |
| Tabla 4. Conductividad hidráulica de diferentes tipos de material.....   | 71  |
| Tabla 5. Caudales del río Grande aguas arriba de la captación Tres Molinos .....                                     | 83  |
| Tabla 6. Muestras de guijarros y cantos del río Grande aguas arriba de la Captación Tres Molinos .....               | 85  |
| Tabla 7. Conteo de guijarros y cantos para el análisis granulométrico .....  | 86  |
| Tabla 8. Datos del prototipo .....   | 94  |
| Tabla 9: Resultados de Velocidad del Modelo.....   | 97  |
| Tabla 10. Resultados de radio hidráulico para prototipo.....   | 97  |
| Tabla 11. Resultados de Diámetro hidráulico de prototipo.....  | 98  |
| Tabla 12. Resultados de diámetro hidráulico del modelo.....  | 99  |
| Tabla 13. Resultados de número de Reynolds del modelo.....   | 100 |
| Tabla 14. Datos geométricos del prototipo.....   | 101 |
| Tabla 15. Datos geométricos del modelo.....  | 102 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 16. Propiedades geométricas de gravas en el prototipo.....  | 103 |
| Tabla 17. Propiedades geométricas de gravas en el modelo.....   | 104 |
| Tabla 18. Caudales de modelo a escala 1/25.....   | 105 |
| Tabla 19. Datos geométricos para la construcción del modelo con un barrage fijo – fusible al 10 %, con bocal cerrado..... | 108 |
| Tabla 20. Datos de caudal del Modelo en l/s.....  | 109 |
| Tabla 21. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 10% y bocal cerrado a 2 min.....                         | 110 |
| Tabla 22. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 10% y bocal cerrado a 5 min.....                         | 111 |
| Tabla 23. Aforo de caudales aguas abajo del barrage Fijo-Fusible con apertura de 10% y bocal cerrado a los 2 min.....     | 113 |
| Tabla 24. Aforo de caudales aguas abajo del barrage Fijo-Fusible con apertura de 10% y bocal cerrado a los 5 min.....     | 113 |
| Tabla 25. Datos geométricos para la construcción del modelo con un barrage fijo – fusible al 10 %, con bocal abierto..... | 115 |
| Tabla 26. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 10% y bocal abierto a 2 min.....                         | 117 |
| Tabla 27. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 10% y bocal abierto a 5 min.....                         | 117 |
| Tabla 28. Aforo de caudales aguas abajo del barrage Fijo-Fusible con apertura de 10% y bocal abierto a los 2 min.....     | 119 |
| Tabla 29. Aforo de caudales aguas abajo del barrage Fijo-Fusible con apertura de 10% y bocal abierto a los 5 min.....     | 120 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 30. Caudal de salida por bocal para ensayo al 10 % de apertura de barrage fusible.....                              | 121 |
| Tabla 31. Datos geométricos para la construcción del modelo con un barrage fijo – fusible al 20 %, con bocal cerrado..... | 122 |
| Tabla 32. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 20% y bocal cerrado a 2 min.....                         | 124 |
| Tabla 33. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 20% y bocal cerrado a 5 min.....                         | 125 |
| Tabla 34. Aforo de caudales aguas abajo del barrage Fijo-Fusible con apertura de 20% y bocal cerrado a los 2 min.....     | 127 |
| Tabla 35. Aforo de caudales aguas abajo del barrage Fijo-Fusible con apertura de 20% y bocal cerrado a los 5 min.....     | 128 |
| Tabla 36. Datos geométricos para la construcción del modelo con un barrage fijo – fusible al 20 %, con bocal abierto..... | 129 |
| Tabla 37. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 20% y bocal abierto a 2 min.....                         | 130 |
| Tabla 38. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 20% y bocal abierto a 5 min.....                         | 131 |
| Tabla 39. Aforo de caudales aguas abajo del barrage Fijo-Fusible con apertura de 20% y bocal abierto a los 2 min.....     | 133 |
| Tabla 40. Aforo de caudales aguas abajo del barrage Fijo-Fusible con apertura de 20% y bocal abierto a los 5 min.....     | 133 |
| Tabla 41. Caudal de salida por bocal para ensayo al 20 % de apertura de barrage fusible.....                              | 134 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 42. Eficiencia de captación, al 10% de barrage fusible, según aforo de bocal.....  | 136 |
| Tabla 43. Eficiencia de captación, al 20% de barrage fusible, según aforo de bocal.....  | 137 |
| Tabla 44. Cálculo de coeficiente de descarga en barrage Fijo-Fusible con apertura del 10%,.....                                | 139 |
| Tabla 45. Caudal unitario y tirante antes de barrage Fijo-Fusible con apertura de 10% y bocal cerrado.....                     | 140 |
| Tabla 46. Caudal unitario y tirante antes de barrage Fijo-Fusible con apertura de 10% y bocal abierto.....                     | 141 |
| Tabla 47. Caudal unitario y tirante antes de barrage Fijo-Fusible con apertura de 20% y bocal cerrado.....                     | 143 |
| Tabla 48. Caudal unitario y tirante antes de barrage Fijo-Fusible con apertura de 20% y bocal abierto.....                     | 144 |
| Tabla 49. Caudal que filtra a través de barrage Fijo-Fusible al 10% de apertura y bocal cerrado, con fórmula de Dupuit .....   | 147 |
| Tabla 50. Caudal unitario y tirante antes de barrage Fijo-Fusible con apertura de 10% y bocal abierto.....                     | 147 |
| Tabla 51. . Caudal que filtra a través de barrage Fijo-Fusible al 20% de apertura y bocal cerrado, con fórmula de Dupuit ..... | 148 |
| Tabla 52. Caudal que filtra a través de barrage Fijo-Fusible al 20% de apertura y bocal abierto, con fórmula de Dupuit.....    | 149 |
| Tabla 53. Carga de agua en prototipo.....  | 150 |
| Tabla 54: Datos de geométricos en Captación Tres Molinos.....  | 163 |
| Tabla 55:Tamaño de gravas en prototipo .....   | 164 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 56: Datos de hidráulica en el prototipo.....  | 165 |
| Tabla 57: Datos geométricos en modelo de captación Tres Molinos.....                      | 166 |
| Tabla 58: Tamaño de gravas para modelo escala 1/25.....                                   | 167 |
| Tabla 59: Hidráulica de modelo escala 1/25.....   | 168 |
| Tabla 60: Tirantes de agua frente al bocal, con barrage fijo-fusible de apertura 10%..... | 168 |
| Tabla 61: Tirantes de agua frente al bocal, con barrage fijo-fusible de apertura 20%..... | 169 |
| Tabla 62: Coeficiente de descarga en Barrage fijo-fusible de apertura 10%.....            | 170 |
| Tabla 63: caudal con porcentaje de apertura 10 % y bocal cerrado.....                     | 171 |
| Tabla 64: Caudal con porcentaje de apertura 10 % y bocal abierto.....                     | 172 |
| Tabla 65: caudal con porcentaje de apertura 20 % y bocal cerrado.....                     | 173 |
| Tabla 66: Caudal con porcentaje de apertura 20 % y bocal abierto.....                     | 174 |

## RESUMEN

En cuencas de alta montaña el agua de los ríos se aprovecha mediante captaciones con barrages fijos, sin embargo estas tienen el problema de verse obstruidas por la acumulación de sedimentos que se produce aguas arriba del barrage. Se han realizado investigaciones anteriores, en la captación Tres Molinos, que muestran como alternativa el uso de un barrage fijo-fusible para contribuir con el acarreo de los sedimentos acumulados, estas investigaciones se realizaron teniendo como caudales de entrada los producidos en periodos de máximas avenidas, sin embargo no se tiene información del funcionamiento de estas estructuras para periodos de estiaje. Es por ello que se realizó esta investigación, la cual tiene la finalidad, analizar el comportamiento hidráulico de un modelo físico a escala 1/25 de la captación Tres Molinos, ubicada en el río Grande de la cuenca del mismo nombre, del distrito y provincia de Cajamarca, con barrage fijo-fusible, el cual no está construido en campo. En dicho estudio se trabajó con caudales de estiaje aforados en los meses de Julio a Diciembre del 2021, para hallar una relación entre el caudal del río y el tirante generado aguas arriba del barrage fijo – fusible: con longitud del 10 % (1.80 m) de la longitud total, en ambos extremos y con longitud del 20 % (3.60 m) de la longitud total en ambos extremos. La construcción del modelo del barrage fusible se realizó con rocas de la misma zona, las cuales fueron seleccionadas a partir de los resultados D90, arrojados de la curva granulométrica realizada con una muestra de 100 rocas extraídas, 200 metros aguas arriba del barrage, y llevadas a escala 1/25. Así mismo, se aplicaron las leyes de Froude y Reynolds modeladas a partir del prototipo de la captación Tres Molinos y 50.00 m de tramo del río Grande aguas arriba de la captación, para verificar las similitudes entre el prototipo y el modelo. Se obtuvo como resultados, que la captación Tres Molinos, con barrage fijo- fusible, funciona correctamente aún en época de estiaje, pues los tirantes de agua cerca al bocal sobrepasan los 30 cm, e ingresa al canal un caudal mayor a 100 l/s, con lo cual la eficiencia de la captación no se ve afectada. Por otro lado el agua, en época de estiaje, filtra a través de la parte de enrocado sin desestabilizar la estructura, y en época de crecida de agua, desde el mes de diciembre, se tienen pequeñas cargas de agua sobre el barrage. Este estudio ayuda a futuras investigaciones pues se presentan gráficas con ecuaciones que permiten obtener el tirante de agua antes del barrage, con datos de caudal de entrada a la captación.

**Palabras clave:** Captación, barrage fijo - fusible, bocal, modelo hidráulico, tirante.

## ABSTRACT

In high mountain basins, river water is used through catchments with fixed barrages, however these have the problem of being obstructed by the accumulation of sediment that occurs upstream of the barrage. Previous investigations have been carried out in the Tres Molinos catchment, which show as an alternative the use of a fixed-fusible boom to contribute to the transport of accumulated sediments. These investigations were carried out taking as inflow flows those produced in periods of maximum floods. However, there is no information on the functioning of these structures during dry periods. That is why this research was carried out, which has the purpose of analyzing the hydraulic behavior of a 1/25 scale physical model of the Tres Molinos catchment, located in the Grande River of the basin of the same name, of the district and province from Cajamarca, with fixed-fusible barrage. In this study, we worked with gauged low water flows in the months of July to December 2021, to find a relationship between the river flow and the depth generated upstream of the fixed – fuse barrage: with a length of 10% (1.80 m) of the total length, at both ends and with a length of 20% (3.60 m) of the total length at both ends. The construction of the fuse barrage model was carried out with rocks from the same area, which were selected from the D90 results, obtained from the granulometric curve made with a sample of 100 rocks extracted, 200 meters upstream of the bar, and taken at 1/25 scale. Likewise, the Froude and Reynolds laws modeled from the prototype of the Tres Molinos catchment and a 50.00 m section of the Río Grande upstream of the catchment were applied to verify the similarities between the prototype and the model. The results were obtained that the Tres Molinos catchment, with a fixed-fuse barrage, works correctly even in the dry season , since the water level near the mouth exceeds 30 cm, and a flow rate greater than 100 l/s enters the canal. , so collection efficiency is not affected. On the other hand, water, during the dry season, filters through the rockfill part without destabilizing the structure. This study helps future research because graphs are presented with equations that allow obtaining the depth of the water before the dam, with data on the inlet flow to the basin.

**Keywords:** Capture, fixed barrage - fuse, manhole, hydraulic model, efficiency.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1. El problema de la investigación

#### 1.1 Planteamiento del problema

##### 1.1.1 Contextualización

La Captación Tres Molinos, ubicada en el río Grande de la cuenca del mismo nombre, presenta problemas de sedimentación aguas arriba del barraje fijo, es por ello que en investigaciones anteriores se realizaron estudios en un modelo hidráulico a escala 1/25 para verificar el funcionamiento de la captación con barraje fijo-fusible, y observar si, en épocas de máximas avenidas, este tipo de estructuras funciona correctamente arrastrando los sedimentos y la parte fusible del barraje, obteniéndose resultados satisfactorios en dichas investigaciones, ahora se requiere verificar si en época de estiaje esta estructura es capaz de funcionar correctamente y no tener problemas para elevar el nivel de agua que será derivada a través del bocal, para ello es necesario realizar una investigación del comportamiento hidráulico de un modelo físico de la Captación Tres Molinos a escala 1/25, con barraje fijo-fusible, llevar estos valores al prototipo y analizar si los tirantes aguas arriba del barraje logran cumplir con derivar el caudal mínimo requerido por la junta de usuarios.

##### 1.1.2 Descripción del problema

No se tiene información del comportamiento hidráulico de un modelo físico a escala 1/25 de la la captación Tres Molinos, ubicada en el río Grande de la cuenca del mismo nombre, con barraje fijo-fusible, para época de estiaje.

### 1.1.3 Formulación del problema

¿Cuál es el comportamiento hidráulico de la captación Tres Molinos, ubicada en el río Grande de la cuenca del mismo nombre, con barraje fijo-Fusible, a escala 1/25 para época de estiaje?

## 1.2 Justificación e importancia de la investigación

### 1.2.1 Justificación Científica

Es necesario obtener información del comportamiento hidráulico del modelo físico a escala 1/25 de la captación Tres Molinos, ubicada en la cuenca del río Grande, con barraje fijo-fusible, en época de estiaje, para contribuir a futuras investigaciones en este tipo de estructuras nuevas.

### 1.2.2 Justificación Técnica Práctica

Es requerible obtener información del comportamiento hidráulico del modelo físico a escala 1/25 de la captación Tres Molinos, ubicada en la cuenca del río Grande, con barraje fijo-fusible, en época de estiaje, para verificar el funcionamiento de este tipo de estructura en diferentes épocas del año y con ello sustentar la elaboración de la misma en el prototipo.

### 1.2.3 Justificación institucional y personal

Es justo obtener información del comportamiento hidráulico del modelo físico a escala 1/25 de la captación Tres Molinos, ubicada en la cuenca del río Grande, con barraje fijo-fusible, en época de estiaje, para verificar el funcionamiento correcto y con ello contribuir a la junta de usuarios, de la captación ya mencionada, proporcionando una opción y oportunidad de mejora con lo cual podrán satisfacer sus necesidades de recurso hídrico. Así mismo con esta

investigación la Universidad Nacional de Cajamarca puede tener data para futuras investigaciones en otras captaciones aledañas en Cajamarca.

### 1.3 Delimitación de la Investigación

La captación Tres Molinos, ubicada en el Río grande – Cuenca Río Grande, cuenta con un barraje fijo, el cual no presenta problemas de filtración debido al estado del mismo, ya que fue reconstruido hace pocos años, es por ello que la parte fija del modelo físico a escala 1/25 del barraje fijo – fusible de la captación Tres Molinos, se elaborará con metal, material también impermeable. Aguas arriba de la captación Tres Molinos, se realizará una muestra de gravas y cantos, con lo cual se obtendrá una curva granulométrica, de esta curva, se utilizará el D90 a escala reducida 1/25 para la elaboración de la parte fusible del modelo físico del barraje fijo-fusible, pues se requiere que la construcción en el prototipo sea con material de la misma zona y fácil de encontrar, por lo tanto el diámetro de gravas y cantos se tratará como constante. Así mismo se realizarán aforos, en los meses de estiaje (Junio a Diciembre), aguas arriba del barraje de la captación Tres Molinos, en una sección no intervenida por el hombre, para luego estos caudales ser escalados a 1/25 y ser llevados al modelo físico (con valores representativos aproximados) y así verificar los tirantes obtenidos aguas arriba del barraje fijo-fusible y también obtener el caudal de entrada por el bocal del modelo a escala. Para la elaboración del modelo físico se optará por dos casos y por tener como constante el ancho de la parte fusible del barraje, el cual comprenderá valores del 10% de apertura en ambos extremos y 20 % de apertura en ambos extremos.

### 1.4 Limitaciones

- Solo se podrá llevar a escala el diámetro de las gravas y cantos, más no el peso específico de las mismas.

- No todos los caudales obtenidos al momento de la conversión de escalas 1/25 podrán ser usados para el modelo físico, puesto que no cumplirán con las condiciones de similitud hidráulica.
- No se realizó el modelamiento del sistema con el caso excepcional de contar únicamente con la parte fija del barrage, esto podrá ser análisis de otra investigación.
- No se llevará a escala reducida el peso específico del fluido utilizado, se trabajará con agua durante el modelamiento.

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo General

Estudiar el comportamiento hidráulico del barrage fijo-fusible de la captación Tres Molinos de Cajamarca, a través del modelamiento físico a escala 1/25, para época de estiaje.

### 1.5.2 Objetivos específicos

- Recopilar la información bibliográfica y de campo de la captación Tres Molinos.
- Estimar los caudales de entrada, en época de estiaje, del río grande, antes de la captación Tres Molinos.
- Estimar el tirante aguas arriba del barrage fijo de la captación Tres Molinos.
- Estimar los caudales de salida por el bocal de la captación Tres Molinos.
- Obtener la curva granulométrica para una muestra de gravas y cantos, del río grande, 200 metros aguas arriba de la captación Tres Molinos.

- Realizar un levantamiento topográfico de la captación Tres Molinos, más un tramo de 200 metros aguas arriba, para obtener la topografía y pendientes de la zona.
- Diseñar el modelo físico del barrage fijo-fusible de la captación Tres Molinos.
- Estimar el tirante aguas arriba del barrage fijo-fusible, caudal de ingreso por el bocal y el coeficiente de descarga del barrage fijo-fusible, con longitud de 10% del total en la parte fusible, ambos extremos, mediante un modelo físico a escala 1/25, para caudales aforados.
- Determinar el tirante aguas arriba del barrage fijo-fusible, caudal de ingreso por el bocal y el coeficiente de descarga del barrage fijo-fusible, con longitud de 20% del total en la parte fusible, ambos extremos, mediante un modelo físico a escala 1/25, para caudales aforados.
-

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

El modelo hidráulico es una ayuda importante para el diseño de las obras hidráulicas difíciles de analizar por medio de un modelo matemático, siempre y cuando el diseño de un modelo reducido sea correcto, está bien operado y los resultados sean interpretados con sentido crítico. En este tipo de proyectos de modelamiento físico se conocen principios fundamentales sobre los vertederos, como son la medición de caudales, coeficientes de descarga en función de las dimensiones, forma del vertedero y de una altura referencial del flujo respecto al vertedero. Así mismo existen varias fórmulas para calcular la descarga a través de vertederos y es recomendable aplicar la que más se acerque a nuestras condiciones geométricas para así tener resultados confiables. (Puga 2010)

Utilizando un modelo físico de una captación para riego de alta montaña (representando a las captaciones de las cuencas del Mashcón y del Chonta de Cajamarca), a escala 1/25, se demostró que, cuando el barrage está compuesto por una parte fija central y otra parte fusible (enrocado, colocado a ambos costados de la parte fija), existe un caudal de avenida para el cual la parte fusible es arrasada totalmente, lográndose una autolimpieza de la zona frente al bocal, quedando así libre de sedimentos, permitiendo el ingreso del agua hacia el canal de derivación sin ninguna dificultad obteniéndose una eficiencia de captación del 100%. La particularidad del experimento fue el utilizar un flujo combinado de agua con sedimentos. (Huamán 2003).

Las barreras vertedoras de enrocados, llamadas también barreras de tipo indio, han sido muy empleadas en el mundo, existiendo muchas obras definitivas con excelentes resultados. Una

ventaja de estas obras es que tienen poco problema de erosión al pie, por cuanto el escurrimiento sobre el paramento de aguas abajo tiene una velocidad límite que es la del flujo normal, con gran fricción entre el enrocado y el líquido. En cambio, un inconveniente de estas obras es que requieren un talud de aguas abajo muy tendido, con empleo de gran volumen de enrocado. Esto limita el empleo de estas obras para alturas no superiores a 8 ó 10 (m). En general, son obras de baja altura y de gran anchura, que admiten vertimiento sobre su coronamiento. Son obras económicas, simples de construir, fáciles de reparar y con una gran flexibilidad por su rusticidad. (Montero 1985)

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Fluviomorfología**

Diferentes factores influyen en una, para tomar una u otra forma, entre ellos, los parámetros hidráulicos, propiedades del fluido y características del flujo, características del material de fondo y de los bordos (tamaño, graduación, forma, etc.), geometría y estructura de los bordos (altura, pendiente, cohesión, estratificación o tipo rocoso), las características biológicas (tipo de vegetación tales como pasto, arbustos y árboles); e igualmente trascendentes los factores humanos, como agricultura, urbanización, drenaje, desarrollo de las llanuras de inundación y bordos de protección. Los ríos en la naturaleza presentan generalmente tres formas de acuerdo con su geometría: rectos, trezados y meandreantes. Un río recto es aquel que no tiene comportamiento meándrico; esto es, su sinuosidad es menor que 1,5. Un río con meandro es aquel en el que la configuración se presenta en forma de una serie de curvas consecutivas. (Apaella 2014)

Una de las clasificaciones más utilizadas por los geomorfólogos y ampliamente aceptadas en ingeniería es la tipificación del cauce por grados: jóvenes, maduros y viejos. Los ríos jóvenes tienen generalmente valles irregulares en forma de V, sus cauces adoptan la misma forma y están constituidos por materiales fracturados que pueden o no ser erosionables. Casi todos los ríos de montaña y sus tributarios son ejemplos de ríos jóvenes. En los ríos maduros, el valle aluvial se ensancha, las pendientes longitudinales son suaves y la erosión lateral es mucho más significativa que la erosión en el fondo. (Apacla 2014)

La morfología de ríos se relaciona con la configuración y geometría del canal y el perfil longitudinal; es dependiente del tiempo y varía en particular con la descarga, la entrada y características de los sedimentos y el material de la banca. Esta morfología puede ser muy influenciada por las obras de ingeniería, aunque dicha influencia no necesariamente es benéfica. (Novak 2001)

Los flujos del fondo, al alterar el estado de los materiales del lecho, desprenden un gran número de partículas y las traslada a un nuevo sitio. Este transporte produce cambios graduales y episódicos de manera permanente en las formas del cauce. Las características de este fenómeno dependen de la estructura hidráulica de cada tramo, pero ésta resulta influenciada por el relieve del río. La erosión y el posterior depósito de sedimentos resuelven en buena medida la contradicción preexistente entre la estructura del flujo y la conformación del cauce y, al mismo tiempo, crean una nueva incongruencia entre la antigua estructura de la corriente y las nuevas formas del cauce. (Ochoa 2011)

### **2.2.2 Propiedades físicas de los sedimentos**

Las partículas que intervienen en el transporte sólido se pueden clasificar en cohesivas y no cohesivas. Las primeras son las que están adheridas unas a otras, lo cual representa para el transporte una fuerza adicional que se conoce como fuerza de cohesión. Los materiales



cohesivos pueden encontrarse entre las arcillas y los limos. Los materiales no cohesivos carecen de esta fuerza adicional, y para ser arrastrados sólo ofrecen la resistencia proveniente de su propio peso y de su forma. Aquí consideramos sólo el comportamiento de los materiales no cohesivos. Las principales propiedades físicas de las partículas sólidas que más nos interesan son: Tamaño y Forma, Composición Mineralógica, Peso Específico y Velocidad de Caída. Estas propiedades se refieren a las partículas individuales y no al conjunto de ellas, como sería el caso de la porosidad o el peso específico aparente. (Rocha 1998)

### **Tamaño y Forma de los sólidos**

Existen diferentes clasificaciones para identificar a una partícula de tamaño determinado. En el Cuadro 5.1 se presenta la perteneciente a la American Geophysical Union (A.G.U.), confeccionada en base al diámetro. El tamaño de los cantos rodados y guijarros se puede medir directamente. El de las gravas y arenas se mide mediante mallas, y el de limos y arcillas se determina por medio de sedimentación o con microscopio. (Rocha 1998)

Tabla 1. Clasificación de partículas de acuerdo a la American Geophysical Union (A.G.U.) (Escala de Wentworth)

|                                     |             |                  |
|-------------------------------------|-------------|------------------|
| cantos rodados<br>(250 - 4000 mm)   | muy grandes | 4000 - 2000 mm   |
|                                     | grandes     | 2000 - 1000 mm   |
|                                     | medianos    | 1000 - 500 mm    |
|                                     | pequeños    | 500 - 250 mm     |
| Guijarros<br>(64 - 250 mm)          | grandes     | 250 - 125 mm     |
|                                     | pequeños    | 125 - 64 mm      |
| Gravas<br>(2 - 64 mm)               | muy gruesa  | 64 - 32 mm       |
|                                     | gruesa      | 32 - 16 mm       |
|                                     | media       | 16 - 8 mm        |
|                                     | finas       | 8 - 4 mm         |
|                                     | muy fina    | 4 - 2 mm         |
| Arenas<br>(0.062 - 2mm)             | muy gruesa  | 2 - 1 mm         |
|                                     | gruesa      | 1 - 0.5 mm       |
|                                     | media       | 0.5 - 0.25 mm    |
|                                     | finas       | 0.25 - 0.125 mm  |
|                                     | muy fina    | 0.125 - 0.062 mm |
| Limos                               |             |                  |
| (4 a 62 u) = (0.004 a 0.062 mm)     |             |                  |
| Arcillas                            |             |                  |
| (0.24 a 4 u) = (0.00024 a 0.004 mm) |             |                  |

Fuente: American Geophysical Union (A.G.U.)

Con respecto al tamaño representativo de una partícula existen los conceptos señalados a continuación, originados en el U.S. Inter Agency Committee on Water Resources, Subcommittee on Sedimentation. (Rocha 1998)

Con el fin de hacer referencia a la forma de la partícula existe el llamado factor de forma de COREY, definido como

$$F.F = \frac{c}{\sqrt{a.b}} \quad (1)$$

siendo: a la mayor longitud de la partícula, b la siguiente y c la menor, medidas a lo largo de tres ejes mutuamente perpendiculares

$$a > b > c$$

(2)

Un valor frecuente para el factor de forma de la arena es 0,7. El concepto de factor de forma resulta ser más útil que los de esfericidad y redondez, que se usan algunas veces. (Rocha 1998)

### **Diámetro Nominal.**

Es el diámetro de una esfera cuyo volumen es igual al de la partícula. (Rocha, 1998)

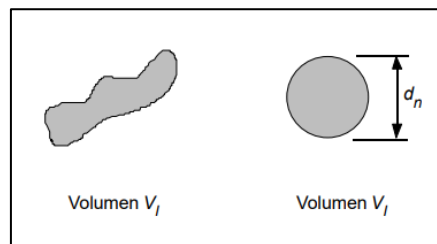


Figura1 Diámetro nominal

Fuente: (Rocha 1998)

### **Diámetro de Cribado.**

Es la abertura de malla mínima para que pase la partícula. Es el más usado por la facilidad para determinarlo. También se le llama diámetro de tamiz. (Rocha 1998)

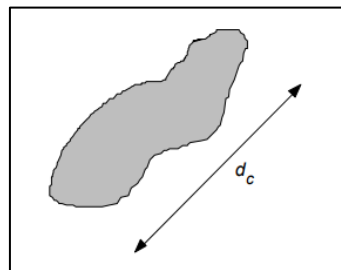


Figura 2 Diámetro Cribado

Fuente: (Rocha 1998)

## **Peso Específico**

Cada partícula sólida tiene su propia densidad  $\rho_s$  y su propio peso específico  $\gamma_s$ , que dependen de la composición mineralógica del material sólido originado en la erosión de la cuenca. Es muy frecuente la presencia de materiales cuarzosos, cuyo peso específico es de 2,65 t/m<sup>3</sup>. En investigaciones en modelo hidráulico se usa materiales artificiales, cuyo peso específico es menor que el de las partículas naturales. Se denomina Peso Específico Relativo  $\gamma_s / \gamma$  a la relación entre el peso específico de los sedimentos y el peso específico del agua. Para el cuarzo su valor es 2,65.

Se denomina Peso Específico del material sólido sumergido a la expresión  $\gamma_s - \gamma$ . Se denomina Peso Específico Relativo del material sólido sumergido a la relación:

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} \quad (3)$$

(Rocha, 1998)

## **Curva granulométrica**

La curva granulométrica de un suelo es una representación gráfica de los resultados obtenidos en un laboratorio cuando se analiza la estructura del suelo desde el punto de vista del tamaño de las partículas que lo forman. (Salager 2007)

Para este análisis se utilizan dos procedimientos en forma combinada, las partículas mayores se separan por medio de tamices con aberturas de malla estandarizadas, y luego se pesan las cantidades que han sido retenidas en cada tamiz. (Salager 2007)

Tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos, se procede a realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido que cada diámetro ha obtenido. La curva granulométrica permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas. (Whitman y Lambe 2004)

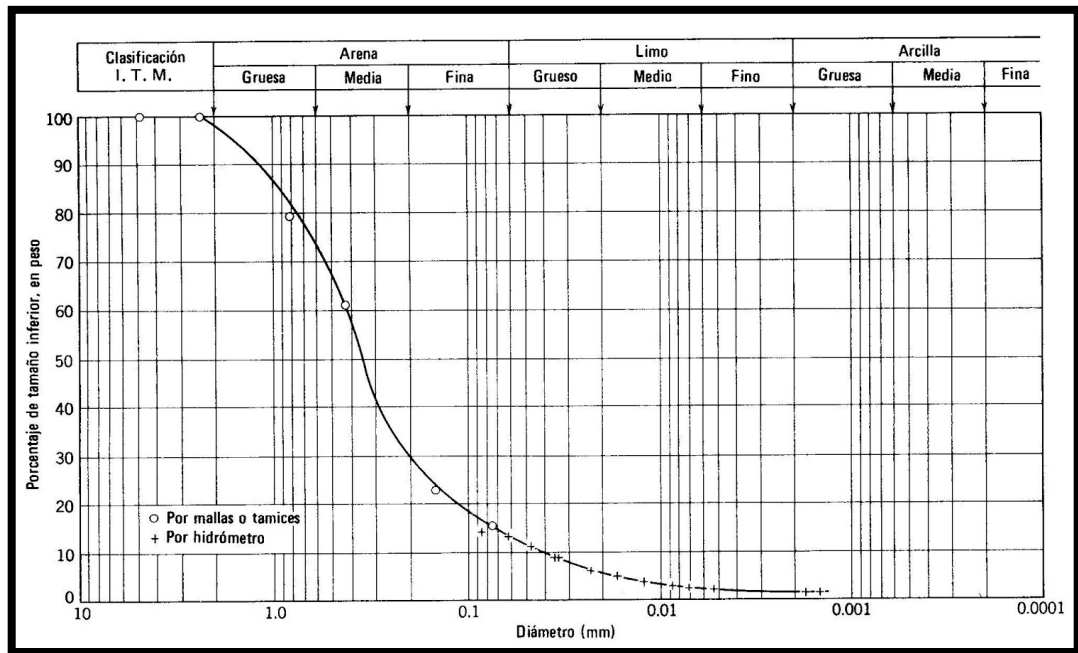


Figura. 3. Curva granulométrica de un suelo arenoso-limoso, representado en un papel "log-normal"

Fuente: (Whitman y Lambe 2004)

Cuando se estudia una muestra de granulométrica, es a menudo necesario dar cuenta de toda la muestra con un sólo número: un tamaño característico, un tamaño medio o equivalente. No es fácil escoger tal tamaño porque hay muchas formas de calcularlo, especialmente si se quiere adaptar al tipo de fenómeno involucrado. A continuación, se definen los valores que indican la noción de principales parámetros de una distribución. (Salager 2007)

Una vez terminado el estudio visual de cada grano, y notado el tamaño "t" de cada uno, se tiene una lista de datos crudos, la cual no es más que un listado de tamaños, en el cual algunos pueden eventualmente repetirse, y otros ser muy vecinos o muy diferentes. El primer trabajo consiste en poner en orden estos datos, o mejor dicho en clasificarlos con el fin de proceder ulteriormente a un estudio estadístico. Con este propósito se busca primero el tamaño más grande  $t_{max}$  y el más pequeño  $t_{min}$ , reportados en el análisis. Como estos valores no son necesariamente valores redondeados, se tienen interés en tomar dos límites con valores

numéricos redondeados, escogidos de acuerdo al recorte ulterior del intervalo, y que incluyen todos los valores reportados. Por ejemplo:

- si  $t_{max} = 9,3 \mu\text{m}$  y  $t_{min} = 1,3 \mu\text{m}$  se puede tener interés en escoger como límites bien sea  $1 - 10 \mu\text{m}$ , bien sea  $0 - 10 \mu\text{m}$ . Luego se divide el intervalo entre los límites en un cierto número de intervalos de clasificación, en general un mínimo de 10 y un máximo de 50. Este proceso se llama a menudo tamizaje ya que corresponde a una operación de clasificación de polvo que lleva el mismo nombre, en la cual se coloca una serie de tamices uno encima del otro.
- Tomando en cuenta el peso total y los pesos retenidos, se procede a realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido que cada diámetro ha obtenido. La curva granulométrica permite visualizar la tendencia homogénea o heterogénea que tienen los tamaños de grano (diámetros) de las partículas. (Salager, 2007)

### **2.2.3 Vertederos**

“El vertedero ha sido definido por Balloffet como “una abertura (o mejor, escotadura) de contorno abierto, practicada en la pared de un depósito, o bien en una barrera colocada en un canal o río, y por la cual escurre o rebasa el líquido contenido en el depósito, o que circula por el río o canal. (Rocha 2006)

“Los vertederos son estructuras utilizadas frecuentemente para la medición de caudales; sin embargo, cuando se instalan en corrientes naturales tienen la desventaja que se colmatan de sedimentos” (Manual Universidad Cauca 2009)

Así como sirven de control de agua en un reservorio, también pueden servir como retenedor de sedimentos, impidiendo que estos pasen a su otra sección para que sigan su curso. Por un lado se le puede denominar punto de control o retención de sedimentos. Esto es más usado

en represas ya que van almacenando millones de metros cúbicos que vienen de cerros arrastrando consigo árboles. En general, un vertedero suele tener una de las dos finalidades siguientes: a) medir caudales y b) permitir el rebose del líquido contenido en un reservorio o del que circula en un río o canal. (Rocha 2006)

“El vertedero de cresta delgada no sólo es un aparato de medición para el flujo en canales abiertos, sino también la forma más simple de vertederos de rebose. Las características del flujo por encima de un vertedero se reconocieron hace tiempo en hidráulica como la base en diseño del vertedero de rebose de cresta redondeada”. (Chow 1994)

“Cuando la descarga del líquido se efectúa por encima de un muro o una placa y a superficie libre, la estructura hidráulica en la que ocurre se llama vertedero; esto puede presentar diferentes formas según las finalidades a las que se destine. Así, cuando la descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con arista aguda, el vertedero se llama de pared delgada; por el contrario, cuando el contacto entre la pared y la lámina vertiente es más bien toda una superficie, el vertedero es de pared gruesa” (Sotelo, 1994)

En los vertederos de pared delgada el contacto entre el agua y la cresta es solo una línea, es decir, una arista. Para que un vertedero se considere en pared delgada no es indispensable que la cresta sea delgadísima. La pared debe tener un cierto espesor. Si este es menor que  $2H / 3$  se considera que el vertedero es en pared delgada. En cambio, en los vertederos en pared gruesa el contacto es un plano. El flujo se adhiere a la cresta. (Rocha 2006)

### **Vertedero tipo Creager y su coeficiente de descarga**

Se usa para evacuar caudales de creciente, pues la forma especial de su cresta permite la máxima descarga al compararlo con otra forma de vertederos para igual altura de carga de agua. (Azevedo y Acosta 1976).

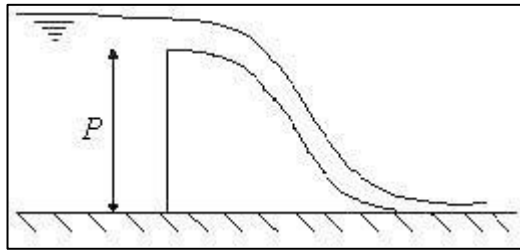


Figura 4. Vertedero con perfil Creager.

Fuente: (Azevedo y Acosta 1976).

**Ecuación de patronamiento típica:** Azevedo y Acosta (1976).

$$Q = 2.2LH^{3/2}, \text{ en sistema M.K.S.} \quad (32)$$

#### 2.2.4 Captación de alta montaña y partes de una captación

Una captación de alta Montaña como su nombre lo indica, es aquella que se encuentra ubicada en zonas con una altitud mayor a los 2500 msnm, es decir en ríos de alta montaña. Un río de alta montaña presenta un régimen hidrológico que viene determinado por el régimen nival y, en consecuencia, el caudal tiene una variabilidad estacional extraordinaria, con máximos primaverales asociados al deshielo, que cuando es muy rápido puede ocasionar fuertes crecidas. (Novak 2001)

señala que los vertederos y las barreras son presas con niveles relativamente bajos construidas en un río para elevar suficientemente su nivel, para desviar la totalidad o parte del flujo hacia un canal de suministro o conducto para irrigación, generación hidroeléctrica, usos domésticos e industriales, etc. Estas estructuras de desviación usualmente proporcionan una capacidad pequeña de almacenamiento. (Novak 2001)

Las bocatomas de barraje fijo son aquellas que tienen una presa sólida, para levantar el tirante frente a las compuertas de captación. Esta solución es posible cuando el régimen del río es





La carga total ( $H_0$ ) se expresa en función de la carga estática ( $H$ ) y la carga cinética ( $V^2/2g$ ).

(Huamán 2003)

$$H_0 = H + \frac{V^2}{2g} \quad (34)$$

La velocidad media aguas arriba del barrage, tomando en cuenta que el fondo del cauce forma un ángulo  $\theta$  con la horizontal, está dada por (Huamán 2003):

$$V = \frac{Q}{(H + P)T - d'_b \cdot \text{Tan} \theta \cdot T} \quad (35)$$

$$P = \bar{x} + h_0 + d'_b \text{Tan} \theta + \Delta h \quad (36)$$

$$\bar{x} = 0.5(\bar{x}_d + d_{50}) \quad (37)$$

Donde:

$Q$  = caudal sobre el vertedor,  $m^3/s$

$C$  = coeficiente de descarga, que depende de la forma de la

Cresta.

$L$  = longitud del vertedor,  $m$  (igual al ancho del río:  $T$ ).

$H_0$  = carga total, aguas arriba del vertedor,  $m$ .

$V$  = velocidad media del flujo,  $m/s$ .

$H$  = carga estática, aguas arriba del barrage,  $m$ .

$P$  = altura del barrage,  $m$ .

$T$  = ancho del cauce, m.

$d'_b$  = distancia entre el eje del barrage y el eje del bocal, m.

$\theta$  = ángulo formado por la horizontal y el fondo longitudinal del cauce

$\Delta h$  = pérdida de energía por rejilla, m. (mínimo 1.0 cm)

$\bar{x}_d$  = tamaño medio de las rocas (mayor que 1.5 pulgadas) que transporta el río, m.

$d_{50}$  = tamaño medio de una muestra tamizada que contiene arena y grava hasta 1.5 pulgadas de diámetro (abertura de malla).

Es recomendable que las muestras de los canto rodados (mínimo 30 piedras) y del material granular de menor tamaño (menor que 1.5”), se obtengan de los sedimentos del cauce, ubicados en la proximidad del lugar donde se proyecta la captación. (Huamán 2003)

## **B) BARRAGE FIJO – FUSIBLE**

La función del barrage fijo-fusible es elevar el tirante del flujo en el cauce y evitar la colmatación frente al bocal. Se espera que el barrage fusible (enrocado) colapse por acción de una máxima avenida, permitiendo el paso de los sedimentos que transporta el río. El enrocado se vuelve a colocar cuando el nivel de agua en el río ha bajado lo suficiente para colocar las rocas en forma manual. (Huamán 2003)

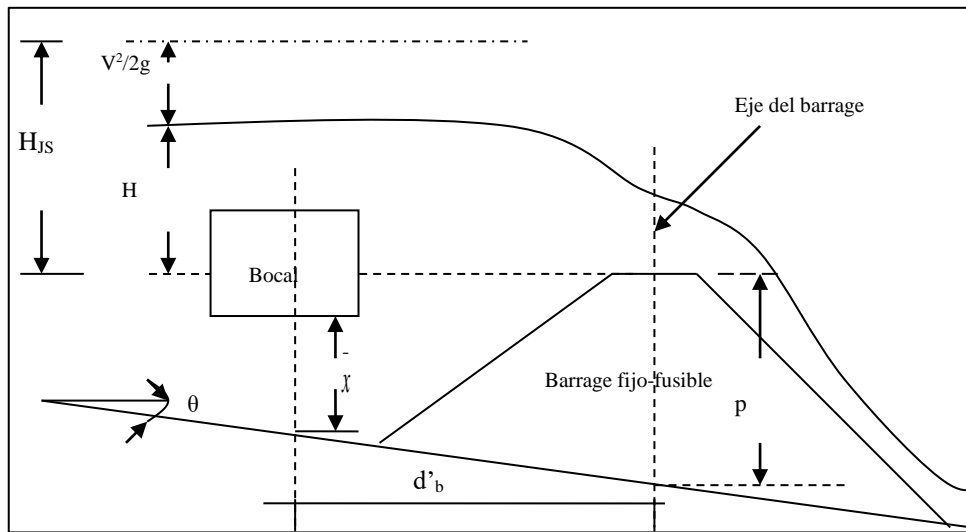


Figura 6.- Barrage fijo-fusible

Fuente: (Huamán 2003)

El gasto que pasa sobre y a través del barrage fijo-fusible, antes del colapso, está dado por (Huamán 2003):

$$Q = C_{JS} \cdot T \cdot H_{JS}^{3/2} \quad (38)$$

Donde:

$Q$  = descarga sobre y a través del barrage fijo-fusible.

$C_{JS}$  = coeficiente de descarga del barrage fijo-fusible.

$T$  = longitud del barrage fijo-fusible.

$H_{JS}$  = carga hidráulica del barrage fijo-fusible.

La altura "P" del barrage fijo-fusible está dado por la expresión (36). El coeficiente de descarga  $C_{JS}$  ha sido obtenido en forma experimental y se presenta en la fig.3.

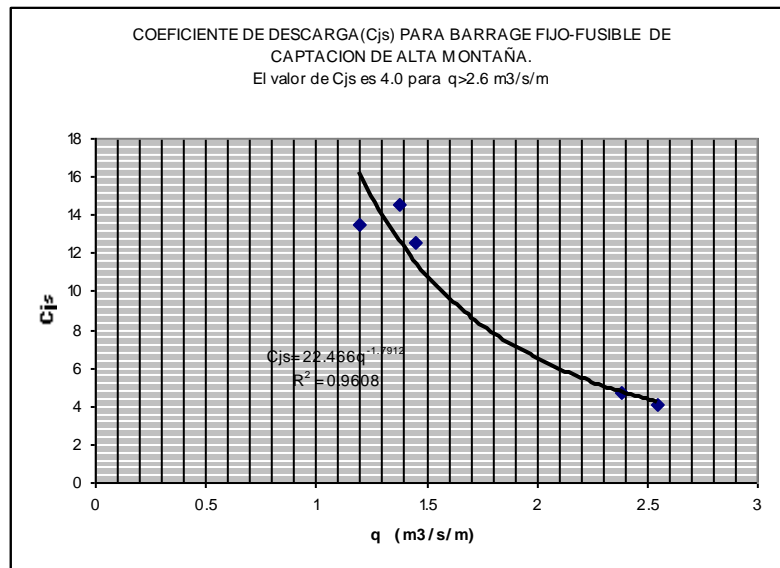


Figura 7.- Coeficiente de descarga para barrage fijo-fusible

Fuente: (Huamán 2003)

La geometría de la parte fija del barrage (que ocupa la parte central del cauce) es recomendable que sea trapezoidal y sus taludes deben contribuir a su estabilidad estructural (para un pre diseño puede emplearse un talud aguas arriba 1:1 y un talud aguas abajo 2.5:1). (Huamán 2003)

El ancho de la corona de la parte fija debe ser 0.40m como mínimo. La parte fusible, también trapezoidal, debe tener un ancho de corona (A<sub>c</sub>) equivalente a (Huamán 2003):

$$A_c = 1.5 \left( \bar{x}_d + d_{50} \right) \quad (39)$$

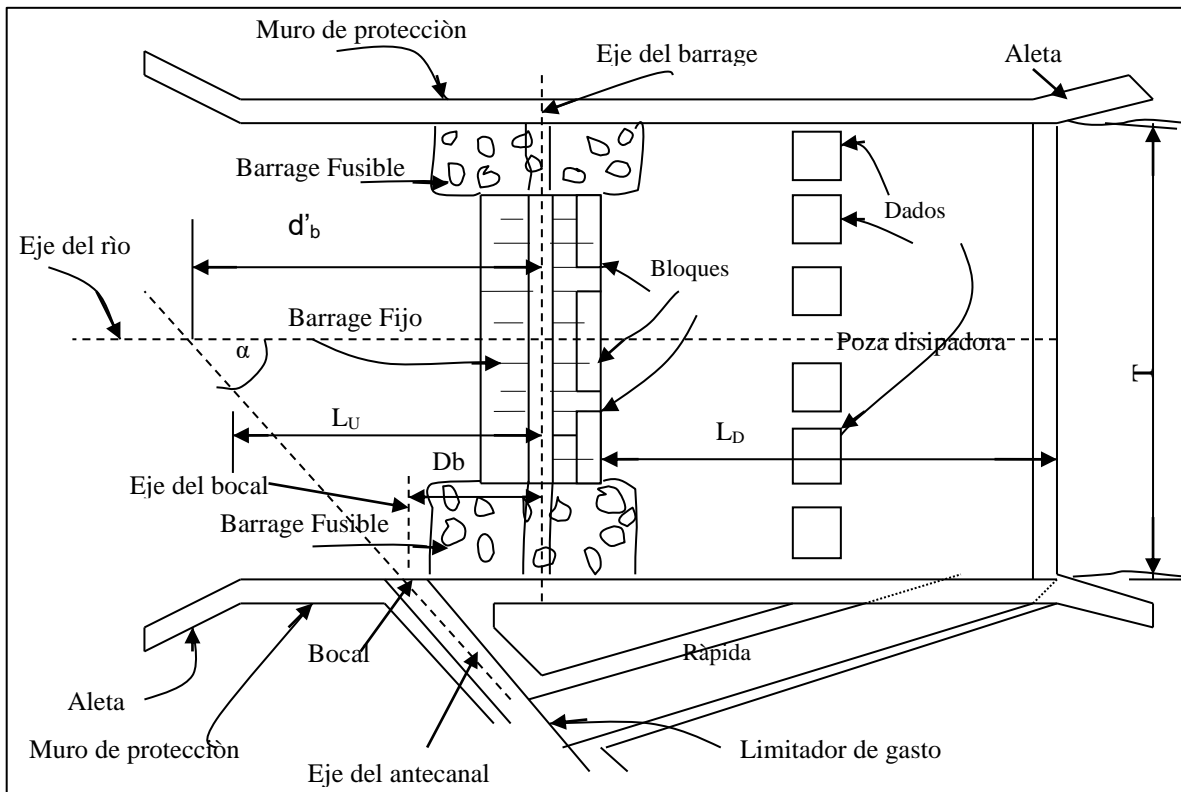


Figura 8.- Partes de la captación con barrage fijo-fusible

Fuente: (Huamán 2003)

### C) BOCAL

La función del bocal es permitir el ingreso del agua desde el río hacia el canal. El caudal requerido “ $Q_o$ ” que ingresa por el bocal, salvando un desnivel o grada, produce una carga hidráulica “ $h_o$ ”. (Huamán 2003)

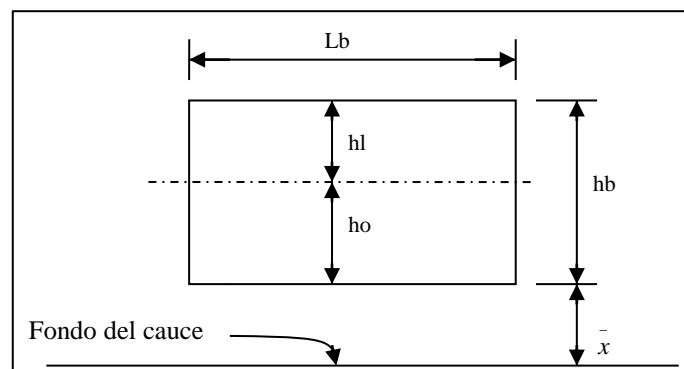


Figura 9. Dimensiones del bocal

Fuente: (Huamán 2003)

$$h_0 = \left( \frac{Q_0}{0.544 \sqrt{g L_b}} \right)^{2/3} \quad (40)$$

La longitud ( $L_b$ ) del bocal debe ser igual al ancho de la plantilla ( $B$ ) del antecanal y la altura ( $h_b$ ) debe estimarse con la expresión 41a y 41b. (Huamán 2003)

$$h_b = h_0 + h_1 \quad (41a)$$

$$h_1 = \Delta h + 5 \text{ a } 10 \text{ cm} \quad (41b)$$

La pérdida por rejilla “ $\Delta h$ ” se puede estimar con la siguiente expresión (Huamán 2003):

$$\Delta h = K \left( \frac{e}{E} \right)^{4/3} \frac{V_1^2}{2g} \quad (42)$$

Donde:

$h_0$  = carga del bocal, m.

$Q_0$  = caudal de derivación,  $m^3/s$ .

$g$  = aceleración de la gravedad terrestre,  $m/s^2$

$L_b$  = longitud del bocal, m.

$\Delta h$  = pérdida por rejilla, m

$e$  = espesor de los barrotes, m.

$E$  = espaciamiento entre barrotes, m. Para rejillas finas (3/8” a 1”) y para proteger a los peces, el valor de  $E$  es del orden de los 3 cm e incluso 1 cm.

$K$  = factor que depende de la geometría de la sección transversal de los barrotes. Si es rectangular el factor es 2.42, si es circular el factor es 1.79 y si es elipsoidal el factor es 0.76.

$V_1$  = componente de la velocidad del flujo que forma un ángulo  $\alpha$  con el eje del río, m/s; correspondiente a un gasto con período de retorno de 01 año.

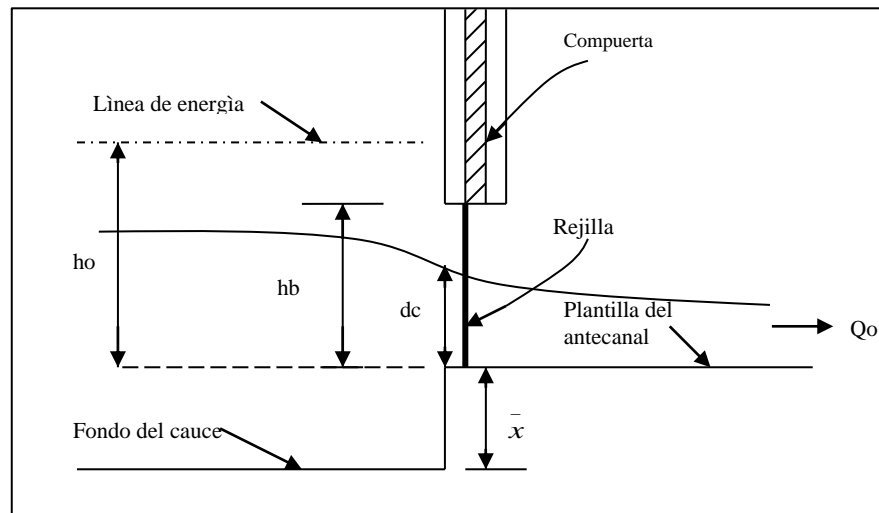


Figura 10. Bocal tipo grada

Fuente: (Huamán 2003)

### 2.2.5 Eficiencia de captación

La eficiencia de captación es la relación entre el caudal que ingresa por el bocal, según las condiciones en que se encuentra, y el caudal requerido para satisfacer la demanda. La eficiencia de captación está dada por la siguiente expresión (Huamán 2003):

$$E_c = \frac{Q^f}{Q} 100 \quad (57)$$

Donde:



Ec: Eficiencia de captación, en %

Qr: Caudal que ingresa por el bocal hacia el canal de derivación. Este caudal depende tanto del nivel del agua en el río como de las características y condiciones de obstrucción del bocal.

Q: Caudal requerido que debe ingresar por el bocal hacia el canal de derivación, para cubrir la demanda del proyecto.

### **2.2.6 Captación Tres Molinos**

La captación Tres Molinos está ubicada en las coordenadas 07° 06' 25'' latitud sur, 78° 01' 13'' longitud oeste y 2795 m.s.n.m. Se encuentra ubicada a 8,2 Km al norte de la ciudad de Cajamarca. El acceso tiene lugar a través de la carretera que va hacia Bambamarca, debiéndose tomar el desvío a la derecha ubicada en el kilómetro 7,0; luego se recorre 1,2 km por una trocha carrozable que cruza el río Porcón. (Huamán 2016)

La temperatura máxima es de 18,3 °C y la mínima de 7,1 °C; con una humedad relativa máxima de 96% y una mínima de 74%. (Huamán 2016)

Es una captación derivadora ubicada en el lecho del río Grande a una altitud de 2800 m.s.n.m.; está compuesta por las siguientes partes:

- a) Un barrage tipo vertedero de concreto armado de 18,0 m de longitud por 2,20 m de altura el cual se encuentra en buenas condiciones porque fue reconstruido el año 2004. Los sedimentos del río aguas arriba del barrage han alcanzado el nivel de la corona en toda su longitud.
- b) Una ventana de captación o bocal de forma irregular de 1,00 m de ancho por 1,00 m de altura, aproximadamente, ubicada en la margen izquierda del río, en un muro de concreto ciclópeo. Está obstruida con los sedimentos del río pero el agua logra entrar al bocal por filtración atravesando los sedimentos. El bocal dispone de una compuerta metálica que es izada manualmente cuando los usuarios lo requieren.

- c) Una compuerta de limpieza ubicada en la margen derecha del río. La abertura de la ventana de limpieza es de forma rectangular de 1,0 m de ancho por 1,20m de alto. Actualmente está fuera de servicio, cerrada, porque el canal de limpieza está ubicado en propiedad privada.
- d) Dos muros de encauzamiento de concreto ciclópeo aguas arriba del barrage que se extienden hasta 25,0 m por la margen derecha y 9,60 m por la margen izquierda. Estos muros tienen una antigüedad de 40 años aproximadamente y se encuentran en malas condiciones.
- e) Dos pozas disipadoras de energía ubicadas en serie, de 18,00 m de ancho por 11,10 m de longitud la primera y 7,72 m de longitud la segunda, con un desnivel de 2,80 m. Ambas son de concreto armado y están en buenas condiciones porque han sido reconstruidas el año 2004.
- f) Dos muros de encauzamiento que se extienden aguas abajo del barrage, en ambas márgenes, una longitud de 31,40 m.

(Huamán 2016)

Se puede visualizar el plano topográfico de la Captación Tres Molinos en el Anexo 3.

### **2.2.7 Aforo de caudal**

#### **Hidrometría**

La palabra hidrometría proviene del griego hydro- ‘agua’ y – metría ‘medición’. Entonces, hidrometría se entiende como la técnica de medición del agua, sea el agua que corre en un riachuelo, en un río o canal. La Hidrometría se encarga de tomar y proveer datos relacionados con la distribución espacial y temporal del agua sobre la tierra. (Senamhi 2018)

Las velocidades del flujo se miden en puntos sistemáticamente distribuidos sobre una sección transversal. El área de la sección transversal se determina de los sondeos y el caudal obtenido como (Novak 2001):

$$Q = \sum A_i V_i \quad (58)$$

Donde:

$A_i$ : área parcial de la sección hidráulica “i” del río.

$V_i$ : velocidad media en la franja “i”

El control natural de un tramo de un río es una sección particular (estación de aforo) donde se mide el caudal y su correspondiente nivel y se establece una única relación (denominada curva de calibración) entre estos dos valores. Tal relación puede ser utilizada para estimar el caudal a partir del nivel observado. (Novak 2001).

### **Aforo con Tubo de Pitot**

Se emplea cuando la corriente es poco profunda, pequeña y de fondo resistente que permite la inmersión del Tubo de Pitot al río. Al igual que en el método de aforo por suspensión, es necesario tener una sección definida que permita determinar la posición de las verticales sobre las cuales se hace la medición de profundidades y velocidades de flujo. Para medir estos parámetros, el técnico entra al río con el equipo de medición, varillas de fierro y tubo de Pitot; toma como referencia una cuerda driza (con medidas) o una cinta métrica y se efectúa las mediciones en cada vertical. Se tomarán medidas de profundidad y de las alturas que alcance el nivel de agua en el tubo de Pitot. (Senamhi 2018)

El tubo de Pitot permite medir la velocidad de la corriente a diferentes profundidades, por lo cual se puede conocer la velocidad media en la sección, que, multiplicada por el área de ésta, produce el caudal de la corriente. El principio de funcionamiento de este aparato se estudia en el curso de Mecánica de Fluidos. (Marbello 2005)

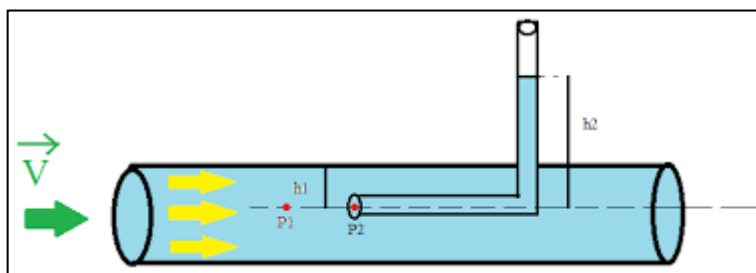


Figura 11. Tubo de Pitot

Fuente: (Marbello 2005)

El tubo Pitot es un instrumento destinado a la medición del caudal a través de la cuantificación de la velocidad del flujo, utilizando la ecuación de la continuidad que se muestra a continuación (García 2016):

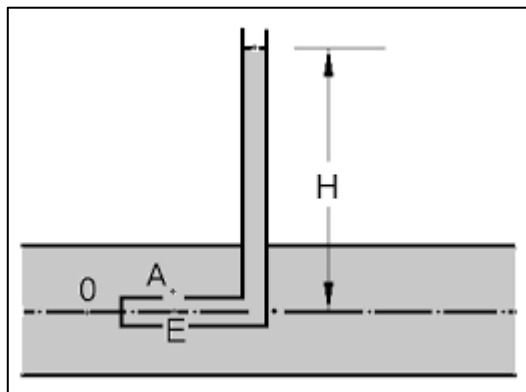


Figura 12. Tubo de Pitot

Fuente: (García 2016)

$$Q = A * V \quad (59)$$

Donde:

Q=caudal

A=área transversal del conducto

V= Velocidad del flujo

En su extremo inferior, el tubo Pitot, cuenta con un pequeño orificio y tiene la entrada de la misma cerrada, por lo cual el agua ingresa por el orificio indicado. (García 2016)

Después el tubo de Pitot está conectado en su parte superior a una cinta métrica, la cual nos indica la carga de velocidad, esta carga de velocidad está dada por (García 2016).

$$h_v = \frac{v^2}{2g} \quad (60)$$

Donde:

$h_v$  = Carga de velocidad

$V$ =velocidad de flujo

$g$ =Aceleración de la gravedad

### **2.2.8 Modelo Hidráulico**

Una de las formas de conocer mejor el comportamiento fluvial es mediante un modelo hidráulico, cuya ventaja reside en que en él el flujo es tridimensional, convirtiéndose en un eficaz instrumento de ayuda en los casos en que la teoría es incompleta, inaplicable o inexistente. El problema de la investigación en modelos consiste en establecer con un cierto grado de aproximación la forma en que la naturaleza va a reaccionar frente a una obra hecha por el hombre; exigiendo por lo tanto que, en todo modelo tengan que mirarse los siguientes aspectos: (a) el fenómeno natural (por ejemplo un río), (b) la obra proyectada y su influencia sobre el fenómeno natural (por ejemplo una presa derivadora); y, (c) la extensión espacial y temporal de los efectos producidos por la obra. (Rocha 1998)

La selección de escalas lineales de los modelos hidráulicos, expresa los rangos de escalas lineales empleados para problemas diversos (Tabla 3). (Vergara 1995)

La semejanza dinámica completa entre modelo y prototipo es imposible, es decir, cada fuerza presente en el problema se reduce de una manera diferente (no en la misma proporción) de prototipo a modelo. Sin embargo, el modelo puede ser aún una buena representación del

movimiento real si una fuerza es tan dominante sobre las demás (o sea, si representa la casi totalidad de la resultante, igualada a las fuerzas de inercia) que también pese a la diferente proporción en que se reducen, es dominante en el modelo. Los problemas de obras hidráulicas y de ingeniería fluvial son dominados por la fuerza de gravedad. (Martin 2002)

Tabla 2. Escalas utilizadas en modelos hidráulicos.

| Modelos  | Escalas lineales                           | Observaciones   |
|--|--|---|
| Obras hidráulicas:   |  |   |
| Vertedores, tanques<br>amortiguadores,<br>rápidos, túneles | De 1:20 a 1:70                             |   |
| Flujo alrededor de<br>estructuras                          | De 1:5 a 1:25                              |   |
| Flujo en ríos y canales                                    | Ex de 1:250 a 1:1000<br>Ey de 1:50 a 1:100 | Modelos de fondo fijo con<br>distorsión. Distorsión<br>máxima de 10 |
| Erosión local por corrientes                               | De 1:20 a 1:60                             | Modelos de fondo móvil<br>sin distorsión                            |
| Transporte de sedimentos<br>en ríos                        | Ex de 1:100 a 1:500<br>Ey de 1:50 a 1:100  | Modelos de fondo móvil,<br>con distorsión<br>recomendable de 5.     |

Fuente: (Vergara 1995)

Los modelos reducidos de ingeniería fluvial se pueden clasificar en cuatro grandes tipos, todos ellos analizados según la semejanza de Froude:

- Los modelos de estructuras hidráulicas, es decir, de obras de corta extensión, emplazadas en los ríos y estudiadas en sus características hidráulicas. El fondo es fijo

(no erosionable). La preparación del modelo debe atender sobre todo a la correcta reproducción de la geometría.

- Los modelos de lecho fijo o modelos “hidráulicos” de ríos, en sentido estricto, son de contornos o lecho fijo (no erosionable), y reproducen un tramo extenso del río. El objetivo del modelo es el estudio de las magnitudes hidráulicas: calados, velocidades, superficie inundada, etc. El modelo debe representar correctamente la geometría y la rugosidad fluvial.
- Los modelos de lecho móvil o modelos “fluviales”, son de lecho móvil (erosionable), y también se reproducen un tramo extenso del río. El objetivo del modelo es por un lado las magnitudes hidráulicas y por otro el comportamiento del fondo erosionable: erosiones, sedimentaciones, etc. El modelo debe de representar correctamente la geometría y la rugosidad y debe emplear criterios de semejanza respecto al sedimento utilizado y respecto al caudal sólido.
- Los modelos de obras locales con lecho móvil, de corta extensión y realizadas por el estudio de fenómenos locales de la superficie libre y sobre todo del lecho, tal como la erosión local, deben reproducir correctamente la geometría y emplear criterios de semejanza respecto al sedimento.

(Rocha 1998)

### **Modelos basados en la ley de Froude**

Los modelos basados en la ley de Froude aseveran que la fuerza primordial que causa el movimiento del fluido es la gravedad y que todas las otras fuerzas, como la fricción del fluido y la tensión superficial, pueden despreciarse. (French 1988)

$$F_M = F_P \tag{61}$$

donde F = número de Froude y los subíndices M y P designan los números de Froude del modelo y del prototipo, respectivamente. La fórmula 3 puede resolverse para dar (French 1988):

$$U_R = \frac{U_M}{U_P} = \left( \frac{g_M L_M}{g_P L_P} \right)^{1/2} = \sqrt{g_R L_R} \quad (62)$$

donde R = subíndice que indica la razón entre la variable del modelo al prototipo.

$U_R$  = razón de velocidad

$L_R$  = razón de escala de longitud

$g_R$  = razón de gravedad

Ya que desde un punto de vista práctico no se puede alterar la aceleración de gravedad

$$g_R = 1$$

y la ecuación queda como

$$U_R = \sqrt{L_R} \quad (63)$$

Puesto que la velocidad del flujo se puede expresar en términos de distancia y tiempo, entonces:

$$T_R = \sqrt{L_R} \quad (64)$$

donde  $T_R$  = escala de tiempos

También

$$Q_R = L_R^{5/2} \quad (65)$$

$Q_R$  = escala de caudales

(French 1988)

### **Modelos de fondo móvil**

Cuando es de vital importancia el movimiento de materiales que componen los taludes y el fondo de un canal, se emplea un modelo de fondo móvil para atacar diferentes problemas,



siendo uno de ellos la morfología general de los ríos para estudiar cambios en: las pendientes del río, sección transversal, erosión, sedimentación, y cambios en el gasto y arrastre de sedimentos asociados a estructuras hidráulicas. (French 1988)

En la modelación de ríos, los efectos gravitacionales y los viscosos son básicamente del mismo orden de magnitud. Por ejemplo, en flujos uniformes de equilibrio (es decir, flujos normales), la componente de fuerza gravitacional contrabalancea con exactitud la resistencia al flujo y las condiciones de flujo se deducen de las ecuaciones de continuidad y de momentum. En la práctica, los modelos de ríos se escalan con una similitud de Froude y se deben minimizar los efectos viscosos de escala. El flujo en el modelo debe ser turbulento y en lo posible turbulento completamente rugoso con la misma rugosidad relativa que la del prototipo. (Chanson 2002):

$$Re_m > 5000 \quad (66)$$

$$(K_s)_r = L_r \quad (67)$$

donde el número de Reynolds ( $Re$ ) se define en términos del diámetro hidráulico, es decir,  $Re = \rho V D_H / \mu$ , y  $K_s$  es la altura de rugosidad. (Chanson 2002).

En estructuras hidráulicas y en estudios sobre movimiento de ondas, el efecto de la gravedad es casi siempre predominante con el prototipo. El flujo es turbulento y por lo tanto, los efectos de la viscosidad y la tensión superficial son insignificantes en el prototipo si la velocidad de flujo es razonablemente pequeña. En tales casos se debe seleccionar una similitud de Froude. (French 1988)

La estrategia más económica es:

- Escoger una relación de escala geométrica  $L_r$ , de tal forma que las dimensiones del modelo se mantengan pequeñas, y
- Asegurar que el número de Reynolds del modelo  $Re_m$  es lo suficientemente grande para hacer que el flujo sea turbulento en los caudales de prueba más pequeños.

(French 1988)

### **A. Calibración de caudal y niveles de agua**

Un modelo no tiene ningún valor si no se puede usar para predecir el comportamiento del prototipo. Por ende, después de construido un modelo hidráulico, debe calibrarse y verificarse; se debe hacer una determinación que indique si los eventos del prototipo se reproducen precisamente en el modelo. En los modelos numéricos, con frecuencia se logra la concordancia entre el modelo y el prototipo ajustando los coeficientes empleados en el modelo hasta que se llega a una concordancia adecuada entre el modelo y el prototipo. En un modelo físico, la concordancia prototipo – modelo se logra ajustando las características físicas, como la rugosidad de fondo, el gasto, y/o los niveles de agua. (French 1988)

### **B. Filtración a través de enrocados**

#### **CONSTRUCCIÓN DE ENROCADO**

Los enrocados son elementos ampliamente usados en la construcción de obras hidráulicas.

Ellos se han usado en:

- Barreras vertedoras de enrocados.
- Protecciones de taludes.
- Protecciones de fondo al pie de obras disipadoras o de descarga.

(Montero 1985)

El uso de enrocados es generalmente más económico que otros tipos de elementos, además, entre otras, tienen las siguientes ventajas:

- Son elementos versátiles que permiten la construcción de estructuras flexibles, las que aceptan mejor los asentamientos.
- Pueden repararse fácilmente los daños locales, agregando enrocados donde sea necesario.
- Salvo excepciones, no se requiere disponer de equipos especializados o de sistemas constructivos especiales para su colocación.
- Su apariencia es natural, por lo cual no altera el paisaje.
- El crecimiento de vegetación entre las rocas ayuda a su apariencia natural.

(Montero 1985)

Existe gran variedad de tipos de enrocados, pero se puede intentar la siguiente clasificación:

- Barreras de perfil estable: barreras generalmente impermeables, con el objeto de disminuir el flujo filtrante a través del cuerpo de ella. Pueden contemplar sistemas de refuerzos como mallas metálicas o enfierraduras, mastic bituminoso, hormigón, etc.
- Barreras de perfil degradable: son generalmente filtrantes y no contemplan elementos de refuerzo. Son obras muy simples, económicas y desde luego de una concepción más audaz.

(Montero 1985)

### **Recomendaciones de diseño**

De acuerdo con la experiencia nacional y extranjera se pueden anunciar las siguientes recomendaciones:

- a) Conveniencia del uso de enrocados

Los estudios en modelo han mostrado que es indispensable que la coraza protectora tenga una porosidad relativamente alta y cercana al 50% con el objeto de disminuir los efectos de las subpresiones. Los bloques prefabricados y ordenados fallan por subpresión. Colocar elementos prefabricados regulares con el desorden suficiente para llegar a la porosidad indicada es incierto. Los enrocados son irregulares por naturaleza y no presentan este problema.

#### b) Determinación del tamaño del enrocado

Knauss recomienda el uso de las fórmulas propuestas por Hartung w Scheuerlein para el cálculo del peso del enrocado. La experiencia recogida en la Bocatoma del canal Teno-Chimbarongo muestra que los enrocados así determinados se comportaron satisfactoriamente tanto en el modelo como en el prototipo.

#### c) Granulometría del enrocado

Aun cuando las fórmulas utilizan un diámetro equivalente que define el peso crítico del material, en la práctica se hace necesario especificar las características del tamaño mediante una curva granulométrica.

En la construcción de este tipo de obras se han utilizado con resultados satisfactorios enrocados cuyo peso estaba comprendido entre la mitad del peso crítico y el doble de él. Además, el coeficiente de forma (relación entre dimensiones extremas) no debe ser superior a 3.

#### d) Filtros

El cuerpo de la barrera vertedero está constituido en general por material aluvial compactado. De acuerdo a la experiencia obtenida, en este tipo de obras se hace necesario apoyar el enrocado sobre filtros de material intermedio, que tienen por objeto impedir la salida del material fino a través del enrocado.

e) Protección terminal, aguas abajo de la barrera

La protección aguas abajo del término del talud de la barrera debe estudiarse con especial cuidado en ríos con lechos de material aluvial para evitar la erosión retrógrada. Los enrocados deben extenderse hacia aguas abajo en un tramo horizontal terminando la protección en un diente consolidado con hormigón.

f) Consolidación del umbral

Debe tenerse especial cuidado de asegurar que el umbral vertedero esté nivelado para evitar cualquier concentración de flujos sobre los enrocados. Este umbral nivelado puede obtenerse mediante el coronamiento de la pantalla impermeabilizadora de la barrera o bien consolidando los enrocados del umbral con hormigón o mortero bituminoso.

g) Tratamiento de Puntos singulares

La determinación del tamaño del enrocado y perfil de la barrera se puede efectuar con un modelo bidimensional. Sin embargo, en una obra que presenta puntos singulares, como muros divisorios con otras estructuras (barrera móvil por ejemplo), el estudio debe ser hecho en un modelo tridimensional.

(Montero 1985)

## **MODELIZACIÓN TEÓRICA DE LA FILTRACIÓN**

El estudio de la filtración en suelos siempre ha estado estrechamente relacionado con la ley de Darcy. Su descubrimiento permitió su utilización en numerosos estudios de flujo en suelos, aunque también se comprobó que únicamente era válida para casos con velocidades relativamente bajas. (Tapia 2009)

Cuando el medio granular está compuesto por gravas y arenas de cierto tamaño, como es el caso en presas de escollera, la velocidad del flujo es “relativamente” elevada, y la ley de Darcy en su forma lineal deja de tener validez. (Tapia 2009)

### **a) El medio poroso**

En la caracterización del medio poroso influyen los siguientes parámetros:

- Peso específico y viscosidad del fluido.
- El tamaño, colocación, forma y rugosidad de las partículas.

Además, la graduación de tamaños es muy importante en el estudio del flujo en medios porosos. Bear y Weyl en 1973 llegaron a la conclusión que las arenas bien graduadas tienen más baja porosidad y conductividad hidráulica que las de tamaño uniforme, lo que constata la anterior afirmación. (Tapia 2009)

#### **b) Flujo en medios porosos**

- ✓ Aproximación al flujo en medio poroso

Una posibilidad para estudiar la evolución de la línea de filtración en medios granulares es tratando el flujo que se produce entre los granos como si fuera un flujo en tuberías. En cierta manera el flujo entre granos es como el flujo que se produce en tuberías de diámetro igual al espacio entre granos, con las consideraciones adecuadas y las correcciones empíricas oportunas. Para profundizar más sobre el flujo en tuberías consultar. (Tapia 2009)

Nada más empezar a analizar el flujo en medios porosos, se ve que éste es mucho más complejo que el flujo que se produce en tuberías. Factores como el tamaño medio de las partículas, el factor de forma, la curva granulométrica, etc. pueden influir también en el flujo, y estas características no se encuentran definidas en las fórmulas de flujo en tuberías. Para profundizar sobre la correspondencia entre flujo en tubería y en medio poroso consultar. Así pues, para poder describir correctamente el flujo en medio poroso es necesario estudiar las fórmulas de resistencia para movimientos en medios porosos, en concreto la ley de Darcy con sus modificaciones, así como su ámbito de aplicación. (Tapia 2009)

- ✓ Ley de Darcy

En 1856 Darcy demostró empíricamente que en el flujo de agua en suelos porosos existía linealidad entre la velocidad y el gradiente hidráulico, la expresión que desarrolló fue la descrita en la ecuación 58. (Tapia 2009)

$$V = ki = k(H_1 - H_2)/L \quad (58)$$

Donde:

V = es la velocidad media de filtración en el medio poroso

k = es la permeabilidad del suelo

i = gradiente hidráulico

H1-H2 = es la diferencia de alturas piezométricas entre los dos puntos por donde circula el flujo

L es la distancia que recorre el flujo

La formulación de la ley de Darcy supuso un trabajo muy importante y complicado para la época en la que se realizó. A partir de aquel momento muchos investigadores analizaron su validez, y fruto de esos trabajos se determinó que dicha ley era válida para todo tipo de flujo en suelos, aunque dejaba de tener validez para velocidades de flujo muy elevadas. (Tapia 2009)

En suelos que iban desde limos hasta arenas medias se demostró que era totalmente válida, mientras que para suelos de mayor permeabilidad a las arenas medias era necesario determinar experimentalmente la relación entre velocidad i gradiente (ver tabla 5) (Tapia 2009)

Tabla 3. Resultados de pruebas de permeabilidad

| Suelo         | Tamaño D <sub>10</sub> | Permeabilidad | DARCY<br><br>A COMPROBAR |
|---------------|------------------------|---------------|--------------------------|
|               | (cm.)                  | (μ/s)         |                          |
| Grava gruesa  | 0,0820                 | 1100          |                          |
| Grava arenosa | 0,0200                 | 160           |                          |

|                     |        |       |  |
|---------------------|--------|-------|--|
| <b>Grava fina</b>   | 0,0300 | 70    | <b>EXPERIMENTALMENTE LA<br/>VALIDEZ DE DARCY</b> |
| <b>Grava limosa</b> | 0,0060 | 4,6   |  |
| <b>Arena gruesa</b> | 0,0110 | 1,1   |  |
| <b>Arena media</b>  | 0,0020 | 0,29  | <b>LEY DE DARCY VÁLIDA</b>                       |
| <b>Arena fina</b>   | 0,0030 | 0,096 |  |
| <b>Limo</b>         | 0,0006 | 0,15  |  |

Fuente: (Tapia 2009)

Las presas de escollera están formadas de suelos arenosos y granulares, por lo que la ley de Darcy en su forma lineal no es aplicable y se deben estudiar modelos empíricos desarrollados por varios autores. (Tapia 2009)

Estos modelos empíricos pretenden tener en cuenta las relaciones no lineales que existen entre velocidad y gradiente hidráulico, que se manifiestan en fenómenos de turbulencia localizada entre los granos del sistema poroso. (Tapia 2009)

✓ Fórmulas no lineales de flujo en medios porosos.

Según se desarrolla en 1901 Forchheimer y en 1956 Jaeger propusieron dos fórmulas para flujo no lineal (eran no lineales porque la relación entre velocidad y gradiente no lo era). Mientras que Forchheimer presentó una fórmula cuadrática (ecuación 59), Jaeger utilizó una de tipo exponencial (ecuación 60). (Tapia 2009)

$$i = Vr + V^2s \quad (59)$$

$$i = aV^N \quad (60)$$

Estos dos tipos de ecuaciones (cuadrática y exponencial) permitían representar el flujo en régimen turbulento a través de escollera, algo que hasta entonces se desconocía.



A partir de entonces fueron varios los autores que empezaron a investigar experimentalmente a partir de ellas, para completar empíricamente sus coeficientes. Para más información consultar. (Tapia 2009)

Los autores más importantes en esta temática fueron:

- Ergun (1952)
- Wilkins (1956)
- McCorquodale (1978)
- Stephenson (1979)
- Martins (1990)
- Gent (1991)

Ergun en 1952 presentó la ecuación 61

$$i = \frac{[150V(1 - \varepsilon)^2 + V^2 1,75d(1 - \varepsilon)]}{[d^2 g \varepsilon^3]} \quad (61)$$

Donde:

- i      gradiente hidráulico
- V      velocidad promedio del agua a través de los poros
- $\varepsilon$       porosidad
- d      tamaño medio del grano
- g      aceleración de la gravedad

En 1956 Wilkins analizó el flujo a través de presas de escollera. La fórmula que obtuvo se detalla en la ecuación 62

$$V_p = Wm^{0,5} i^{0,54} \quad (62)$$

Donde:

$V_p$  velocidad promedio del agua a través de los poros

$V$  parámetro función del factor de forma, rugosidad de las partículas y viscosidad del fluido.

$m$  radio hidráulico medio

$i$  gradiente hidráulico

Mc. Corquodate, en 1978, también obtuvo su fórmula de resistencia no lineal, que se define según la ecuación 63

$$i = \left[ \frac{70v}{g\epsilon m^2} \right] V + \left[ \frac{0,54}{g\epsilon^{0,5} m} \frac{1 + f_e}{2 f_0} \right] V^2 \quad (63)$$

Donde:

$f_e$  factor de fricción efectivo de Darcy-Weisbach para roca

$f_0$  factor de fricción del ábaco de Moody que hidráulicamente tenga la misma superficie y el mismo Re.

$i$  gradiente hidráulico

$V$  velocidad promedio del agua a través de los poros

$\epsilon$  porosidad

$g$  aceleración de la gravedad

Stephenson en 1979 recopiló los datos de varios investigadores, obteniendo las ecuaciones de flujo descritas en ecuación 64 a 66, que se ajustan a su diagrama f-Re (coeficiente de fricción / número de Reynolds).

$$i = \left( \frac{800}{Re} \right) \frac{V^2}{2dg\epsilon^2} \quad \text{Válida para flujo laminar} \quad (64)$$

$$i = \left( \frac{800}{\text{Re} + f_t} \right) \frac{V^2}{2dg\varepsilon^2}$$

Válida para zona de transición (65)

$$i = f_t \frac{V^2}{2dg\varepsilon^2}$$

Válida para flujo turbulento (66)

Donde:

- $f_t$  coeficiente de fricción
- $i$  gradiente hidráulico
- $V$  velocidad promedio del agua a través de los poros
- $\varepsilon$  porosidad
- $d$  tamaño medio del grano
- $g$  aceleración de la gravedad
- $\text{Re}$  número de Reynolds

En 1990 Martins presentó su fórmula para flujo turbulento, descrita en la ecuación 67.

$$V_p = \left( \frac{C}{C_u^\alpha} \right) \sqrt{2gedi}$$

(67)

Donde:

- $V_p$  velocidad promedio del agua a través de los poros
- $C$  constante igual a 0,56 para partículas angulares y 0,75 para redondeadas
- $C_u$  coeficiente de uniformidad ( $C_u = D_{60}/D_{10}$ )
- $\alpha$  exponente empírico igual a 0,26
- $i$  gradiente hidráulico
- $d$  tamaño medio del grano
- $g$  aceleración de la gravedad

e índice de poros

Por último, Gent en 1991 obtuvo la fórmula definida en la ecuación 68.

$$i = V(1207,06 \frac{v(1-\varepsilon)^2}{g\varepsilon^3 d^2}) + V^2(1,209 \frac{1-\varepsilon}{dg\varepsilon^3}) \quad (68)$$

Donde:

i gradiente hidráulico

V velocidad promedio del agua a través de los poros

$\varepsilon$  porosidad

d tamaño medio del grano

g aceleración de la gravedad

v viscosidad cinemática del fluido

Ergun, McCorquodale y Gent presentan fórmulas cuadráticas, mientras que las fórmulas presentadas por Wilkins, Stephenson y Martins son exponenciales. Todas ellas representan el flujo en presas de escolleras, donde el flujo es predominantemente turbulento. (Tapia, 2009)

### c) La curva de saturación

Se define como curva de saturación al lugar geométrico de los puntos de la presa con presión de agua igual a cero. Dicha curva separa los suelos saturados de los no saturados, y fuera de la presa su continuación se denomina superficie de la lámina de agua (ver fig.22). (Tapia 2009).

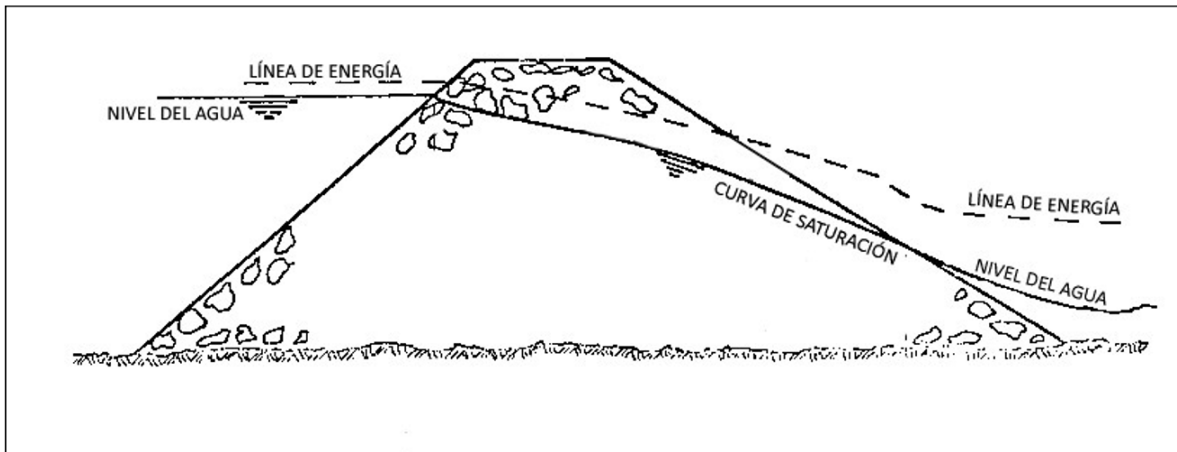


Figura 13. Curva de saturación

Fuente: (Tapia 2009).

A nivel teórico hemos definido en el capítulo anterior las ecuaciones que describen la relación entre las pérdidas de carga (gradiente hidráulico) y las velocidades del fluido en las presas de escollera. Ahora se hará una recopilación de la teoría existente en relación a la determinación de la curva de saturación. (Tapia 2009).

✓ Determinación teórica de la curva de saturación

La ecuación de conservación de la masa y la de conservación del momento (segunda ley de Newton) aplicadas a un volumen diferencial  $dx$ ,  $dy$  y  $dz$  se definen según las ecuaciones 69 y 70 respectivamente. (Tapia 2009).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V)}{\partial z} = 0 \quad (69)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} + f_x &= \rho a_x \\ \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial z} + f_y &= \rho a_y \\ \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + f_z &= \rho a_z \end{aligned} \quad (70)$$

Donde:

- $\rho$  densidad del fluido
- $V$  velocidad del fluido
- $a_x$  aceleración del fluido
- $\sigma_{ii}$  tensiones principales en el interior del fluido
- $\sigma_{ij}$  tensiones tangenciales en el interior del fluido
- $f_i$  fuerzas superficiales o fuerzas de contacto

Si se considera la dirección tangencial como la del flujo, y teniendo en cuenta que el peso específico  $\gamma$  es  $\gamma = \rho \cdot g$ , se obtienen las ecuaciones 71 y 72, que son equivalentes entre ellas. (Tapia 2009).

$$\frac{\partial}{\partial s} \left( z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \right) + \frac{\partial}{\partial \varepsilon} \left( \frac{r}{\gamma} \right) = \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} \quad (71)$$

$$\frac{\partial}{\partial s} \left( z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + hr \right) = \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} \quad (72)$$

Donde:

- $h_r$  pérdida de energía entre dos puntos dados
- $V$  velocidad promedio del agua a través de los poros
- $\varepsilon$  porosidad
- $p$  presión del fluido
- $g$  aceleración de la gravedad
- $\nu$  viscosidad cinemática del fluido

La pérdida de energía entre dos puntos dados (hr) es igual al gradiente hidráulico ( $i$ ) multiplicado por la longitud entre los dos puntos.

La representación de la curva de saturación se hace suponiendo flujo unidimensional. Esta hipótesis lleva consigo una serie de consideraciones como la que sería suponer una velocidad “V” corregida. (Tapia 2009).

### Cálculo unidimensional y elección de los puntos de control

La localización de la línea de saturación es importante porque:

- Se determina la altura del agua en el talud aguas abajo. Esta zona es la que tendrá mayor inestabilidad debido a las fuerzas de filtración (fenómeno unraveling).
- La línea de saturación dentro de la presa corresponde a una condición de contorno necesaria para determinar la presión interna en los poros del material poroso. Con la presión en los poros podemos calcular el gradiente hidráulico, y con éstos las fuerzas de filtración actuando en el talud aguas abajo.

Para determinar la lámina de la superficie libre se usa la teoría de flujo en canales abiertos aplicada en medios porosos. Para más información consultar.

La variación del calado en un fluido está regida por la ecuación 72 y queda representado por la figura 24. (Tapia 2009).

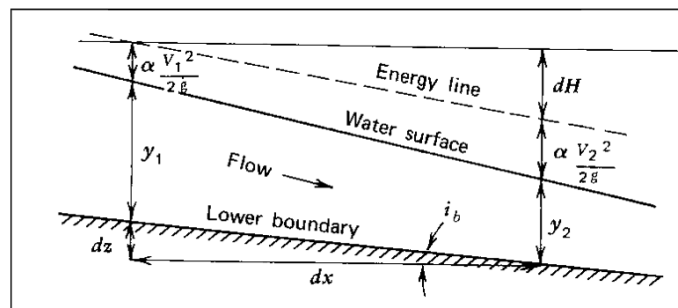


Figura 14 Ecuación de pérdida de energía en hidráulica de canales

Fuente: (Tapia 2009).

Al suponer régimen permanente, el término  $\partial V/\partial t$  es despreciable, con lo que la ecuación 72 pasa a ser la ecuación 73.

$$\frac{\partial}{\partial s} \left( z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + hr \right) = 0 \quad (73)$$

Combinando la ecuación 73 y la figura 24 obtenemos la ecuación 74.

$$\frac{dz}{dx} = \frac{dH}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{\alpha}{g} V \frac{dV}{dx} \quad (74)$$

Donde  $dH/dx=i$ , es el gradiente hidráulico, que son las pérdidas de carga por unidad de longitud. (Tapia, 2009).

La curva de saturación se calcula mediante la ecuación 74, utilizando la velocidad en los poros ( $V_p$ ) y la pérdida de energía ( $dH/dx$ ) igual a los gradientes entre las dos secciones calculadas. Estos gradientes se pueden calcular según las ecuaciones de Ergun, Wilkins, McCorquodale, Stephenson, Martins y Gent. (Tapia 2009).

Cuando el flujo en lámina libre es gradualmente variado se suponen hipótesis que se asumen también al aplicar el flujo en medio poroso:

- La distribución de presiones en la vertical es hidrostática.
- La pérdida de carga es igual a la pérdida de carga en el tramo para un flujo uniforme con el mismo radio hidráulico y velocidad media.

Para resolver la ecuación diferencial 73 es necesario usar determinadas condiciones de contorno. Los cálculos para determinar las curvas de saturación utilizan dos métodos para resolver:

- Stephenson
- Hansen

(Tapia 2009).



En 1979 Stephenson dedujo que en régimen turbulento y material poroso grueso, a pesar de que el flujo puede ser crítico o supercrítico, raras veces ocurre que sea supercrítico en flujo a través de escolleras, produciéndose el punto de control aguas abajo. En la figura (37) se representan los puntos de control. (Tapia 2009).

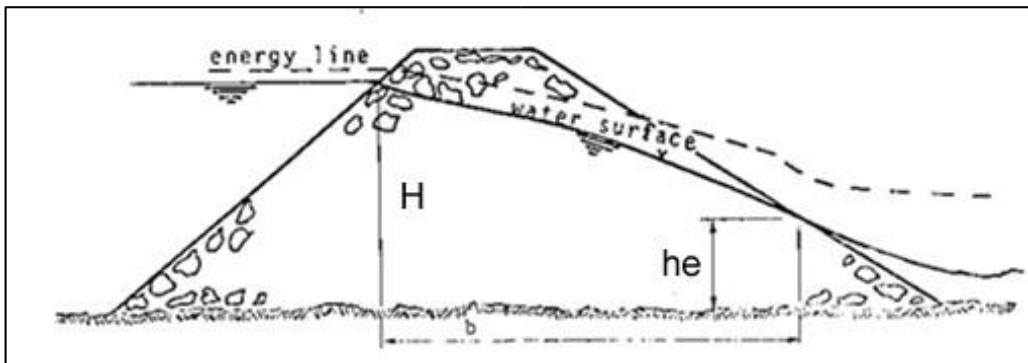


Figura 15. Puntos de control en el flujo a través de escollera según Stephenson

Fuente: (Tapia 2009).

Stephenson obtuvo una solución analítica de la superficie libre del flujo a través de presas de escollera. Para ello se basó en una serie de hipótesis. (Tapia 2009).

En 1992 Hansen determinó que el gradiente en el punto de salida “he” variaba con la relación “he/H”, donde “he” es la altura del fluido en el punto de salida por el trasdós y “H” es la altura del fluido aguas arriba de la presa. Así pues determinó que el punto de salida “he” se obtiene de las ecuaciones 75 y 76. (Tapia 2009).

$$\frac{\theta_{rr}}{\theta} = 1,41 \frac{he}{H} + 0,17 \quad (75)$$

$$i = \tan(\theta) = r \cdot V + s \cdot V^2 \quad (76)$$

Y según se esquematiza en la figura 26

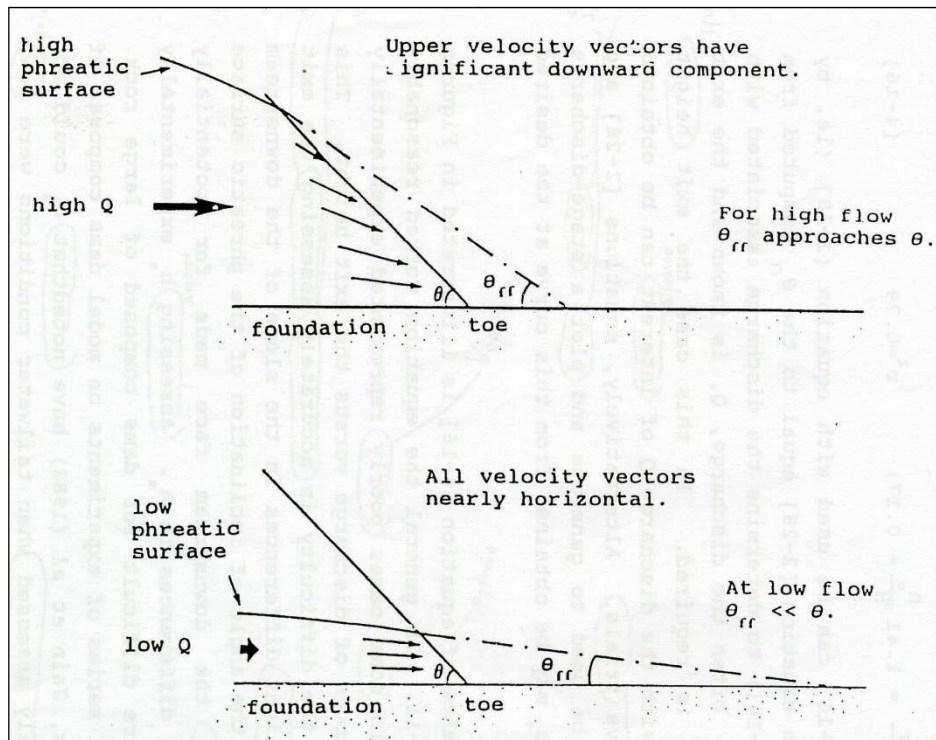


Figura 16. Gradiente de salida de Hansen

Fuente: (Tapia 2009).

✓ La teoría de Dupuit

Antes de explicar la hipótesis de Dupuit vamos a hacer algunas precisiones. En la franja capilar, con una altura  $h_c$ , por encima de la superficie freática, la presión es negativa. Además, la zona no se encuentra totalmente saturada, recordemos que se considera saturada una zona si la humedad es mayor al 75%. En el caso de acuíferos libres, debido a que generalmente la altura de la franja capilar es pequeña en comparación al grosor del acuífero, esta franja se desprecia tomando como límite superior del acuífero su manto freático. (Bear 1972)

Para que un problema matemático corresponda a una realidad física debe cumplir los siguientes requisitos básicos (Courant y Hilbert 1962)

- (a) La solución debe existir (existencia)
- (b) La solución debe estar determinada de forma única (unicidad).

(c) La solución debe depender continuamente de los datos (estabilidad).

El primer requisito establece simplemente que, de hecho, existe una solución. El segundo requisito estipula la completitud del problema y se excluyen la libertad de acción o la ambigüedad a menos que sean inherentes a la situación física. El tercer requisito dice que una variación de los datos dados (por ejemplo, condiciones iniciales y de contorno) en un rango lo suficientemente pequeño conduce a un pequeño cambio arbitrario en la solución. La aproximación Dupuit se encuentra entre las herramientas más poderosas para tratar flujos no confinados. De hecho, es la única herramienta simple disponible para la mayoría de los ingenieros e hidrólogos para resolver tales problemas. (Bear 1972)

Dupuit (1863) desarrolló una teoría basada en una serie de supuestos simplificadores que resultan de la observación de que en la mayoría de los flujos de agua subterránea la pendiente de la superficie freática es muy pequeña. En un flujo continuo bidimensional no confinado sin acreción en el plano vertical, la superficie freática es una línea de corriente. (Bear 1972)

La suposición de Dupuit surge del problema que se tiene porque la superficie freática nunca es completamente horizontal, ver figura 39. Entonces,  $h$  se tendría que calcular resolviendo una ecuación diferencial parcial, en la que tendríamos que especificar una condición de frontera libre no lineal. La suposición está basada en:

1. Las pendientes o inclinaciones de  $h$  son muy pequeñas, del orden de 1/100 a 1/1000.

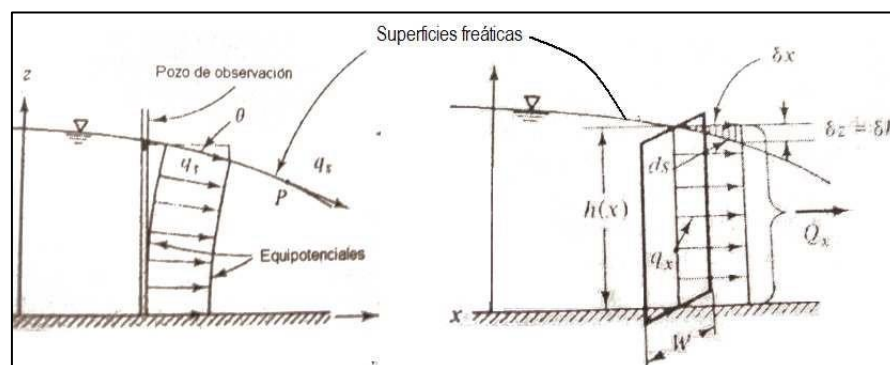


Figura 17: Esquema para la suposición de Dupuit.

Fuente: (Bear 1972)

2. Para un fluido estacionario en el plano  $x, z$  la superficie freática es una línea suave.

De la Ley de Darcy, se tiene que para cualquier punto en esta línea, la descarga específica está en la dirección tangente a dicha línea, es decir:

$$q_s = -K \frac{dh}{dl} = -K \frac{dz}{dl} = -K \sin \theta, \quad (77)$$

dado que en la superficie freática  $p = 0$  y por lo tanto  $h = z$ . La suposición de Dupuit (1863) es la de reemplazar en la ecuación anterior el  $\sin \theta$  por  $\tan \theta$  que es igual a  $dh/dx$ , pues  $\theta$  es un ángulo pequeño. Considerando el modelo bidimensional,  $h = h(x, y, t)$ , entonces la hipótesis de Dupuit se expresa matemáticamente como:

$$q_x = -K \frac{\partial h}{\partial x}; \quad q_y = -K \frac{\partial h}{\partial y}. \quad (78)$$

El que el ángulo  $\theta$  sea pequeño equivale a decir que las superficies equipotenciales son verticales y que el flujo es esencialmente horizontal. Ahora, como  $q_s$  no depende de  $z$ , entonces la descarga total a través de una superficie vertical de ancho  $W$  que sea normal a la dirección del flujo estará dada por

$$Q_x = -KW h \frac{\partial h}{\partial x}, \quad Q_y = -KW h \frac{\partial h}{\partial y}, \quad (79)$$

para  $h(x, y)$ . Si dividimos las expresiones anteriores por el ancho  $W$  del acuífero obtenemos

$$Q^T = \frac{Q}{W} = -Kh \nabla^T h = -K \nabla^T (h^2/2). \quad (80)$$

Aquí  $Q^T$  y  $\nabla^T$  se refiere a los operadores transpuestos. De las ecuaciones (79) y (80) el fondo del acuífero es horizontal. Debemos enfatizar que la Hipótesis de Dupuit se

considera como una buena aproximación en las regiones donde  $\theta$  es pequeño y/o el flujo es esencialmente horizontal. (Bear 1972)

La ecuación de Dupuit es una simplificación de la ecuación de flujo de Darcy para casos de flujo subterráneo en acuíferos no confinados. Esta ecuación se aplica en situaciones donde las gradientes de presión son pequeñas y se asume que el flujo es horizontal. La ecuación de Dupuit se utiliza para calcular tasas de filtración a través de estructuras permeables, como un enrocado vertical. La ecuación de Dupuit es:

$$Q = K * B * (h_1 - h_2) \quad (81)$$

Donde:

- ✓ Q es la tasa de flujo de agua a través del enrocado (volumen por unidad de tiempo).
- ✓ K es la conductividad hidráulica del medio (unidad de velocidad de flujo).
- ✓ B es la anchura de la zona de flujo (ancho del enrocado) en la dirección del flujo (unidad de longitud).
- ✓ h1 es la altura de la lámina de agua aguas arriba del enrocado (unidad de longitud).
- ✓ h2 es la altura de la lámina de agua aguas abajo del enrocado (unidad de longitud).

Algunos casos en los que se podría aplicar la ecuación de Dupuit para calcular la filtración a través de un enrocado incluyen:

- Diques y Presas: Se puede usar la ecuación de Dupuit para estimar el flujo de agua a través de enrocados en diques y presas en condiciones de filtración bajo el dique.

- Muros de Contención: Si se tiene un muro de contención construido con enrocado, la ecuación de Dupuit puede utilizarse para calcular el flujo de agua que se filtra a través del muro.
- Drenajes Verticales: En sistemas de drenaje vertical construidos con enrocado, se puede usar la ecuación de Dupuit para estimar el flujo de agua que drena a través del enrocado.
- Sistemas de Protección Costera: La ecuación de Dupuit puede aplicarse para estimar el flujo de agua a través de enrocados en sistemas de protección costera, como rompeolas y escolleras.

Los datos de referencia para la conductividad hidráulica son valores típicos o promedios que se encuentran en la literatura técnica, bases de datos geotécnicos y estudios de investigación. Estos valores proporcionan una idea general de la conductividad hidráulica de diferentes tipos de suelos y materiales en condiciones comunes. (Whitlow 1999)

Tabla 4. Conductividad hidráulica de diferentes tipos de material

| VALOR DE<br>K (m/s) | MATERIAL                            | DRENAJE          |
|---------------------|-------------------------------------|------------------|
| 1                   | Guijarro limpio y grava ><br>300 mm | Muy buen drenaje |
| $10^{-1}$           | Guijarro limpio y grava <<br>300 mm | Muy Buen Drenaje |
| $10^{-2}$           | Grava y Arena                       | Buen drenaje     |
| $10^{-3}$           | Arena limpia                        | Buen drenaje     |

|           |                                 |                           |
|-----------|---------------------------------|---------------------------|
| $10^{-4}$ | Arcillas alteradas y fisuradas  | Mal drenaje               |
| $10^{-5}$ | Arenas muy finas                | Mal drenaje               |
| $10^{-6}$ | Limos y arenas limosas          | Mal drenaje               |
| $10^{-7}$ | Limos arcillosos (>20% arcilla) | Prácticamente impermeable |
| $10^{-8}$ | Limos arcillosos (>20% arcilla) | Prácticamente impermeable |
| $10^{-9}$ | Arcilla limpia sin fisuras      | Impermeable               |

Fuente: (Whitlow 1999)

### C. Rugosidad

Se han desarrollado varios métodos empíricos para estimar el coeficiente de rugosidad  $n$  de Manning. Para mezclas de materiales de fondo con una significativa proporción de tamaños granulométricos, Meyer - Peter y Müller (1948) sugieren la siguiente ecuación. (French 1988)

$$n = 0,038d_{90}^{1/6} \quad (82)$$

donde  $d_{90}$  = tamaño de material de fondo en metros, tal que el 90% del material por peso es menor.

### D. Escalamiento de resistencia

Referente a la resistencia al flujo expresa que con frecuencia, la similitud geométrica de altura de rugosidad y de su espaciamiento no es suficiente. Por ejemplo, se observa algunas veces que aquel no reproduce los patrones del flujo en el prototipo debido a que el modelo es demasiado “liso” o demasiado “rugoso”. En algunos casos (en particular con una relación

de escala  $L_r$  grande), el flujo en el modelo no es tan turbulento como el flujo en el prototipo. Una solución es utilizar elementos de rugosidad (por ejemplo, mallas, alambres, varillas verticales) para aumentar la turbulencia del flujo en el modelo y, por consiguiente, simular más satisfactoriamente el patrón del flujo en el prototipo. (Chanson 2002)

Otro aspecto es el escalamiento del coeficiente de resistencia. La resistencia al flujo puede descubrirse en términos del factor de fricción de Darcy ( $f$ ) o un coeficiente de resistencia empírico (por ejemplo, coeficiente de Chézy o Gaukler – Manning). (Chanson 2002)

En flujos uniformes de equilibrio, la ecuación de momentum implica:

$$V_r = \sqrt{L_r} = \sqrt{\frac{(D_H)_r (\text{Sen } \theta)_r}{f_r}} \quad (83)$$

donde

$V_r$  = escala de velocidades

$L_r$  = escala de longitudes

$(D_H)_r$  = escala de diámetros hidráulicos

$$D_H = 4 * (\text{área sección transversal/perímetro}) \quad (84)$$

$\theta$  = escala de ángulo formado por la horizontal y el fondo del canal

$f_r$  = escala de factor de fricción de Darcy

(Chanson 2002)

Para un modelo no distorsionando, una similitud de Froude implica que la resistencia al flujo en el modelo será similar a la del prototipo:

$$f_r = 1 \quad (85)$$

La mayoría de los flujos en el prototipo son turbulentos completamente rugosos y el factor de fricción de Darcy en esencia es una función de la rugosidad relativa.



La ecuación de Chézy implica que, en los flujos gradualmente variados y en los uniformes de equilibrio, se mantiene la siguiente relación de escalas:

$$V_r = \sqrt{L_r} = \frac{1}{(n_{Manning})_r} ((D_H)_r)^{2/3} \sqrt{(Sen\theta)_r} \quad (86)$$

Para un modelo no distorsionando, la fórmula 14 se convierte en:

$$(n_{Manning})_r = L_r^{1/6} \quad (87)$$

La fórmula (86) indica que la noción de una similitud completa se aplica tanto a la textura de la superficie como a la forma de su esquema general. En la práctica el valor mínimo alcanzable del  $n_{Manning}$  es alrededor de 0,009 a 0,010 s m<sup>-1/3</sup> (es decir para vidrio). Con tal valor, el coeficiente de resistencia del prototipo  $(n_{Manning})_p$  y la similaridad del coeficiente del Gaukler – Manning  $(n_{Manning})_r$  podría limitar la máxima relación de similitud geométrica  $L_r$ . Si  $L_r$  es muy pequeña (típicamente menor que 40), el modelo físico puede ser poco económico e inconveniente.

### 2.2.9 Materiales y construcción del modelo hidráulico

Al construir un modelo físico, hidráulico, el modelador debe estar consciente de que el modelo tiene que:

1. Ser una réplica geométrica escalada y precisa del prototipo.
2. Retener su consistencia y precisión geométrica durante su operación
3. Contener las estructuras necesarias para controlar y medir el gasto
4. No presentar dificultad para hacer cambios fácil y rápidamente en detalle
5. Ser consistente con el propósito del estudio y su presupuesto.

Los modelos a menudo se construyen con materiales fácilmente disponibles (madera, concreto, metal, cera, parafina, plástico, arena, y carbón). Los equipos de taller requeridos para preparar y modelar estos materiales también deben estar disponibles. En muchos casos,

gran parte del tiempo requerido para llevar a cabo un estudio en un modelo se emplea en los procesos de diseño y construcción. (French 1988)

Con base en la información de campo se determina las fronteras del modelo y el equipo de alimentación y reproductor de los gastos. Además, la conformación del cauce en el material móvil se acostumbra hacerlo con escantillones, o tarrajas, apoyados sobre placas, plataformas o rieles laterales del cauce, nivelados y tomando como referencia un banco de nivel, las secciones del cauce se separan un máximo de 50 cm. (Vergara 1995)

En relación con la granulometría del material móvil del prototipo, se recomienda que cuando el material sea prácticamente uniforme (desviación estándar  $\sigma < 3$ ), se utilice solo escala de diámetro medio ( $E_{D50}$ ). Cuando la granulometría sea extendida ( $\sigma > 3$ ), se recomienda seccionarla y calcular  $E_{D50}$  para cada sección. (Vergara 1995)

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Ubicación de la Investigación**

La zona de estudio se ubica en la parte baja de la micro cuenca del río Grande, en el Paraje Puruay, del distrito de Cajamarca, departamento de Cajamarca. Comprende la captación Tres Molinos que está ubicada en las coordenadas  $07^{\circ} 06' 25''$  latitud sur,  $78^{\circ} 01' 13''$  longitud oeste y 2795 m.s.n.m. y un tramo de 50 m del río Grande, medido desde el barrage de la captación hacia aguas arriba.

La temperatura máxima es de  $18,3^{\circ} \text{C}$  y la mínima de  $7,1^{\circ} \text{C}$ ; con una humedad relativa máxima de 96% y una mínima de 74%.

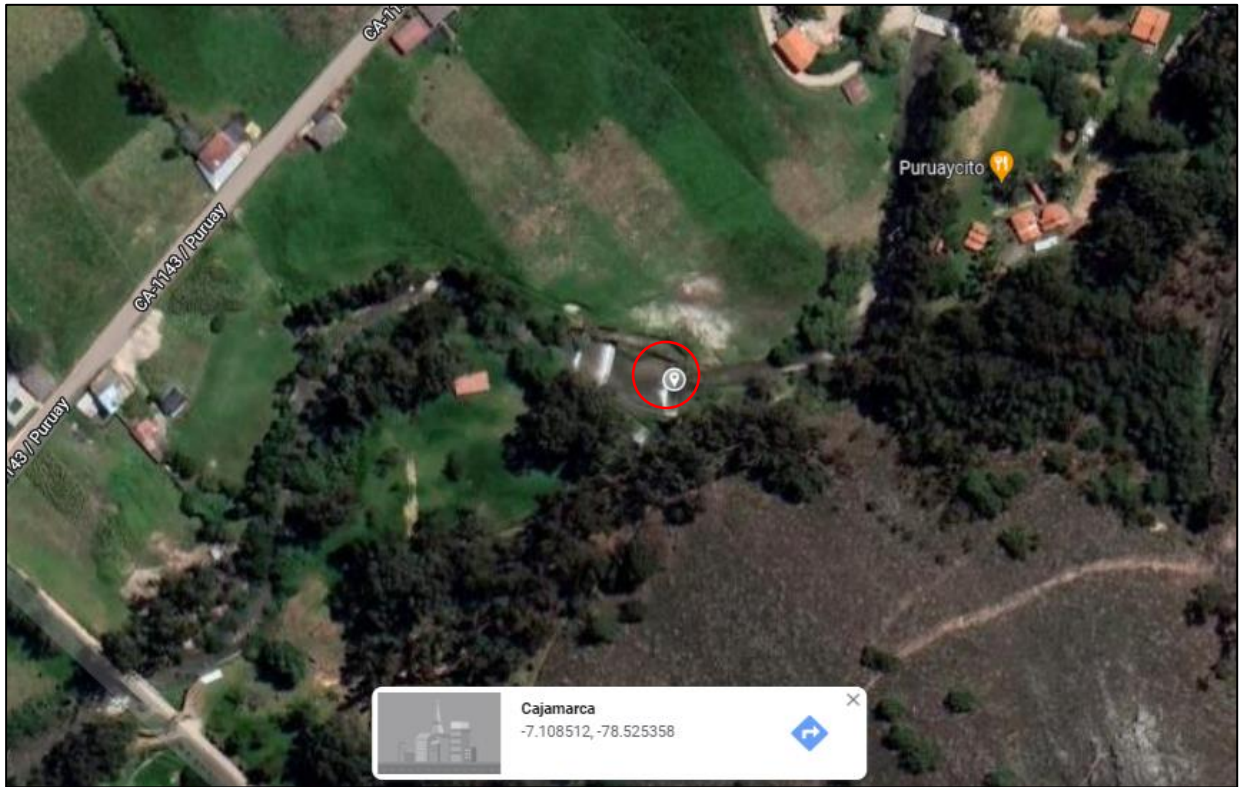


Figura 18. Ubicación de la zona de estudio: Imagen satelital

Fuente: (google maps 2023)

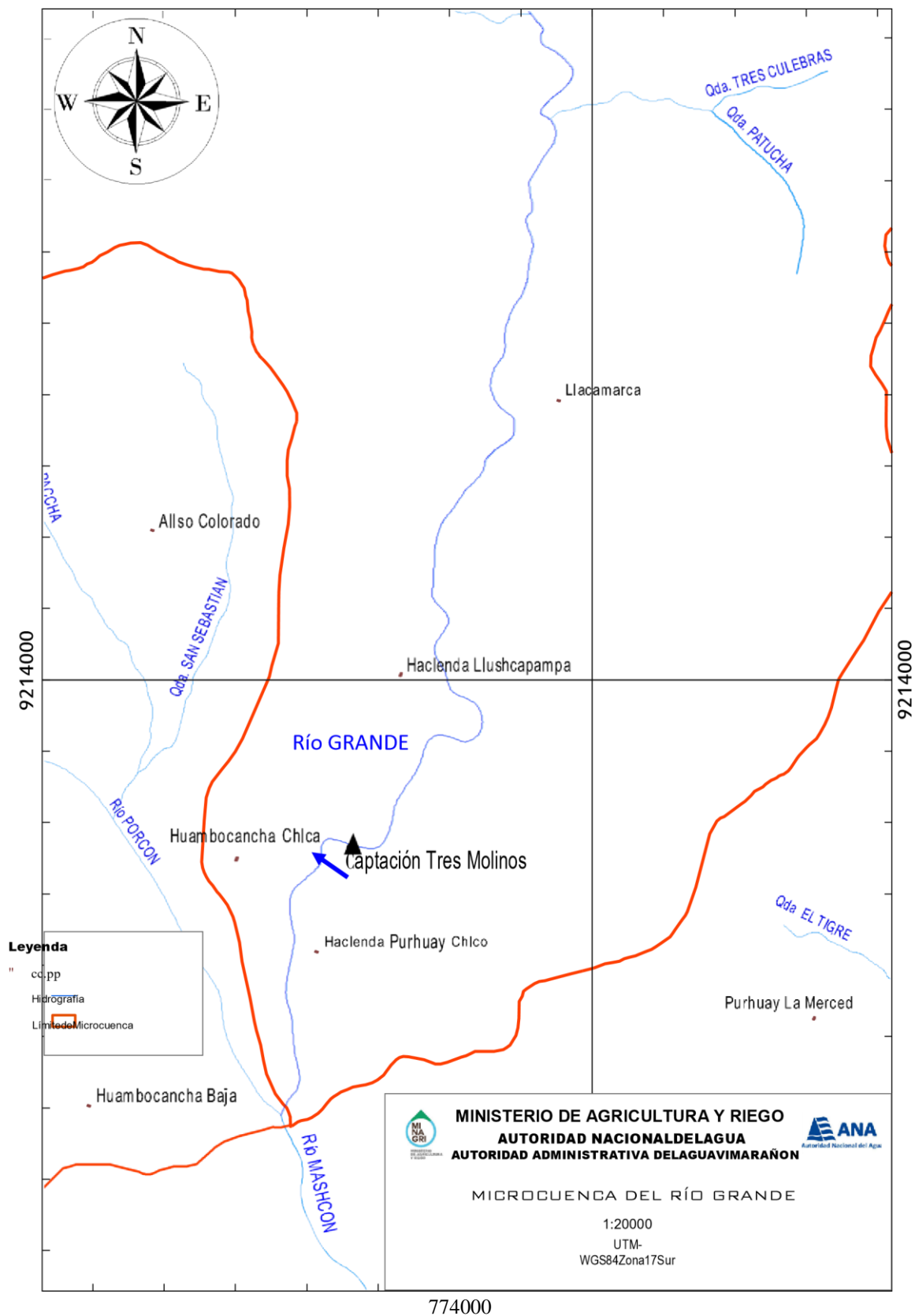


Figura 19. Ubicación de la captación Tres Molinos en la microcuencia del río Grande

Fuente: (Huaman 2016)

La estructura hidráulica objeto del estudio, captación Tres Molinos, se encuentra ubicada a 8,2 Km al norte de la ciudad de Cajamarca. El acceso tiene lugar a través de la carretera que va hacia Bambamarca, debiéndose tomar el desvío a la derecha ubicada en el kilómetro 7,0; luego se recorre 1,2 km por una trocha carrozable que cruza el río Porcón. (Huaman 2016)

### **3.2 Hipótesis de la investigación**

En periodo de estiaje, la captación de derivación Tres Molinos, ubicada en el río Grande, de la cuenca del mismo nombre, con longitud de barrage fijo fusible variable, tiene un comportamiento similar al del barrage fijo, permitiendo captar el agua de dotación necesaria a través del bocal.

### **3.3 Variables de la investigación**

#### **Variable dependiente**

Y: Comportamiento hidráulico del barrage fijo-fusible de la captación Tres Molinos de Cajamarca con caudales de los meses de estiaje.

#### **Variables independientes:**

X1: Longitud del barrage fusible, del modelo físico de la Captación Tres Molinos.

### 3.4 Matriz de operacionalización de variables

| PROBLEMA   | OBJETIVOS  | VARIABLES E INDICADORES  | METODOLOGÍA   |  |
|--|--|--|---|--|
| ¿Cuál es el comportamiento hidráulico del modelo físico de la captación Tres Molinos, ubicada en el río Grande de la cuenca del mismo nombre, con barraje fijo-Fusible, a escala 1/25 para época de estiaje? | <b>Objetivo General</b>  | <b>Variables</b>   | <b>Obtención de caudales del río Grande</b><br>Aforo del río, una vez por semana en los meses de Julio a diciembre<br><br><b>Obtención de la morfología del río Grande</b><br>Topografía del tramo de estudio del río para determinar la morfología a curvas de nivel y las dimensiones de las diferentes partes de la captación. La altimetría y distancias se obtienen haciendo uso de estación total y winchas.<br>Elaboración del plano topográfico del tramo del río, a curvas de nivel, y ubicación en planta de la captación. Estimación del enrocado en el barraje fusible con una apertura del 10% y otra de 20% en cada lado, dicho enrocado se realizará con las mismas gravas y cantos de la zona.<br><b>Obtención de la granulometría de Gravas y Cantos</b><br>Muestreo de gravas y cantos<br>Determinación de la curva granulométrica con los datos del tamaño de rocas de la muestra.<br><b>Construcción de modelo físico a escala 1/25 con los datos obtenidos</b><br><b>Ensayos para análisis de comportamiento hidráulico</b><br>Prueba del modelo físico con los caudales obtenidos<br>Medir tirantes de agua, aguas arriba del barraje y frente al bocal, para cada caudal obtenido en los aforos.<br>Verificar si los tirantes de agua obtenidos brindan la capacidad de derivación de agua, requerida, a través del bocal. |  |
|  | Estudiar el comportamiento hidráulico del barraje fijo-fusible de la captación Tres Molinos de Cajamarca, a través de un modelo físico a escala 1/25, para época de estiaje.   | <b>Variable dependiente</b><br>Y: Comportamiento hidráulico del modelo físico a escala 1/25 del barraje fijo-fusible de la captación Tres Molinos de Cajamarca con caudales de los meses de estiaje.<br><b>Variables independientes:</b><br>X1: Longitud del barraje fusible, del modelo físico de la Captación Tres Molinos.  |   |  |
|  | <b>Objetivos Específicos</b>   | <b>Dimensiones</b>   |   |  |
|  | > Recopilar la información bibliográfica y de campo de la captación Tres Molinos.<br>> Diseñar el modelo hidráulico del barraje fijo-fusible de la captación Tres Molinos.<br>> Determinar el tirante aguas arriba del barraje fijo-fusible, caudal de ingreso por el bocal y el coeficiente de descarga del barraje fijo-fusible, con longitud de 10% del total en la parte fusible, ambos extremos, mediante un modelo físico a escala 1/25, para caudales aforados.<br>> Determinar el tirante aguas arriba del barraje fijo-fusible, caudal de ingreso por el bocal y el coeficiente de descarga del barraje fijo-fusible, con longitud de 20% del total en la parte fusible, ambos extremos, mediante un modelo físico a escala 1/25, para caudales aforados. | <b>Dimensiones de la variable dependiente</b><br>>Longitud en metros de tirante aguas arriba del barraje fijo fusible.<br><b>Dimensiones de variable independiente</b><br>>Barraje fijo con parte fusible del 10%, de la longitud total, a cada lado<br>>Barraje fijo con parte fusible del 20%, de la longitud total, a cada lado<br><br><b>Indicadores</b><br><b>Indicador de la variable dependiente:</b><br><br><b>Indicador de la variable dependiente:</b><br>> Profundidad de agua, aguas arriba del barraje fijo-fusible<br><b>Indicadores de la variable independientes:</b><br>>X2: Porcentaje de la longitud total del barraje fijo-fusible |   |  |

### 3.5 Población. Muestra, unidad de análisis y unidad de observación

#### Población

Captaciones de alta montaña con fines de riego de las cuencas del Mashcón y del Chonta, que tienen problemas de colmatación.

#### Muestra

Seleccionada por conveniencia, y está constituida por la captación Tres Molinos, ubicada en el río Grande.

#### Unidad de análisis

Es el modelo físico a escala 1/25 de la captación Tres Molinos y de un tramo de 50 m del río Grande, aguas arriba del barraje.

#### Unidades de observación

Tramo de 50 m del río Grande cerca del barrage y el bocal de la captación Tres Molinos.

### **3.6 Tipo de investigación**

Esta situación vista desde el pensamiento, utiliza el método lógico – deductivo; es un método lógico que se utiliza para sacar conclusiones a partir de un conjunto de principios. Este método se utiliza a menudo en la investigación de campo para obtener información sobre un tema específico mediante la observación y toma de datos de situaciones y eventos específicos.

Así mismo se usó el método experimental, pues se recreó el fenómeno que se indaga y así se pudo observar el comportamiento y tomar datos requeridos, en este caso se realizó un modelo físico a escala reducida de la captación Tres Molinos, con el barrage fijo-fusible, en el cual se ensayaron caudales a escala (los cuales se derivan de los aforos de campo) y con esto se midieron tirantes de agua, caudales en la salida del bocal, filtraciones a través de enrocados y posteriormente con esta data se obtuvo la relación caudal-tirante y eficiencia para para cada porcentaje de apertura.

### **3.7 Método de la investigación**

#### **3.7.1 Caudal del río Grande**

- a) Visita al río Grande aguas arriba de la captación Tres Molinos, en un tramo de 200 m, para seleccionar las secciones de aforo más apropiadas y tomar fotografías.
- b) Aforo del río, una vez por semana, usando el método por vadeo ya que el nivel del agua permite tomar velocidades dentro del cauce, utilizando tubo de Pitot. En este caso se hace un seccionamiento en franjas de 30 cm de ancho y en el eje central de cada una se mide el tirante, y al 60% de profundidad de éste se mide la velocidad.
- c) Proceso de los datos de aforo del río Grande para determinar la velocidad media en  $\text{ms}^{-1}$ , el área en cada sección en  $\text{m}^2$  y el caudal en  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ .

- d) Tabulación de caudales, medidos semanalmente, de los meses de Julio, agosto, Setiembre, octubre y noviembre y diciembre del año 2021.

### **3.7.2 Morfología del río Grande**

- a) Topografía del tramo de estudio del río para determinar la morfología a curvas de nivel y las dimensiones de las diferentes partes de la captación. La altimetría y distancias se obtienen haciendo uso de estación total y winchas.
- b) Elaboración del plano topográfico del tramo del río, a curvas de nivel, y ubicación en planta de la captación.
- c) Estimación del enrocado en el barraje fusible con una apertura del 10% y otra de 20% en cada lado, dicho enrocado se realizará con las mismas gravas y cantos de la zona.

### **3.7.3 Granulometría de Gravas y Cantos**

- a) Muestreo de gravas y cantos, depositados en el cauce en un tramo de 200 m aguas arriba del barraje de la captación. Se mide directamente con wincha tomando medidas de ancho, largo y espesor de cada grava y canto.
- b) Determinación de la curva granulométrica con los datos del tamaño de rocas de la muestra.

En este sentido los parámetros a medir dentro de la investigación serán: Diámetro de las gravas, caudales de entrada y salida a través del barraje, tirantes de agua antes y después del barraje.

## **3.8 Técnicas e instrumentos de recopilación de información**

### **Prototipo**



Las características geométricas de la captación Tres Molinos han sido obtenidas por medición directa utilizando wincha metálica, wincha de plástico, graduadas en metros, centímetros y milímetros y estación total. El tipo de material de sus diferentes partes (barrage, muros laterales, pozas disipadoras de energía, compuerta del bocal, compuerta de limpieza) se ha determinado visualmente con cámara fotográfica digital, al tacto y por información verbal de los técnicos de la Junta de Usuarios del Río Mashcón.



Figura 20. Captación Tres Molinos

La morfología del río Grande, en un tramo de 200.00 m aguas arriba del barrage de la captación se ha obtenido realizando un levantamiento topográfico a curvas de nivel cada 25 cm, utilizando estación total tomando puntos dentro y fuera del río.



Figura 21. levantamiento topográfico de la captación Tres Molinos

El aforo del río Grande se realizó en una sección ubicada aguas arriba del barrage a 200 m. Se midió directamente las profundidades el agua con una varilla metálica graduada en metros, centímetros y milímetros, haciendo una subdivisión en franjas cada 30 cm de ancho; la velocidad en el eje de cada franja se midió a una profundidad del 60% del tirante. Las velocidades se obtuvieron con tubo de Pitot. Con el tubo de Pitot se registró la altura del menisco con precisión al milímetro.



Figura 22. Aforo 200 m aguas arriba del barrage.

El muestreo de gravas y cantos del río Grande se realizó midiendo directamente cada grava y canto encontrado. De diferentes puntos del cauce del río, en forma aleatoria, se recolectaron 100 muestras de rocas (gravas y cantos) de la superficie y sub superficie de tamaño mayores a 3 pulgadas;





Figura 23. Gravas y cantos extraídos del río Grande

Para los guijarros y cantos se utilizó el método de estadística matemática. El peso específico de las muestras de rocas (guijarro y cantos) se obtuvo midiendo el peso y el volumen de cada una de ellas; el peso se midió con balanza y el volumen se obtuvo mediante el principio de Arquímedes utilizando agua potable y una probeta graduada en centímetros cúbicos.

### **3.9 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información**

Para la representación de la forma de la captación y del tramo el río con los datos obtenidos en campo se elaboró el plano topográfico utilizando el programa Autocad 2018.

Las áreas, caudales, peso específico de sólidos, curva granulométrica de sedimentos y diseño del modelo a escala reducida, se procesaron utilizando el programa Excel 2016.

### **3.10 Equipos y materiales**

Estación total

GPS

Wincha metálica de 5,0 m

Wincha de plástico de 30,0 m

Cordón graduado cada 0.30 m

Estacas de madera de 0.40 m

Cámara fotográfica digital

Tubo de Pitot

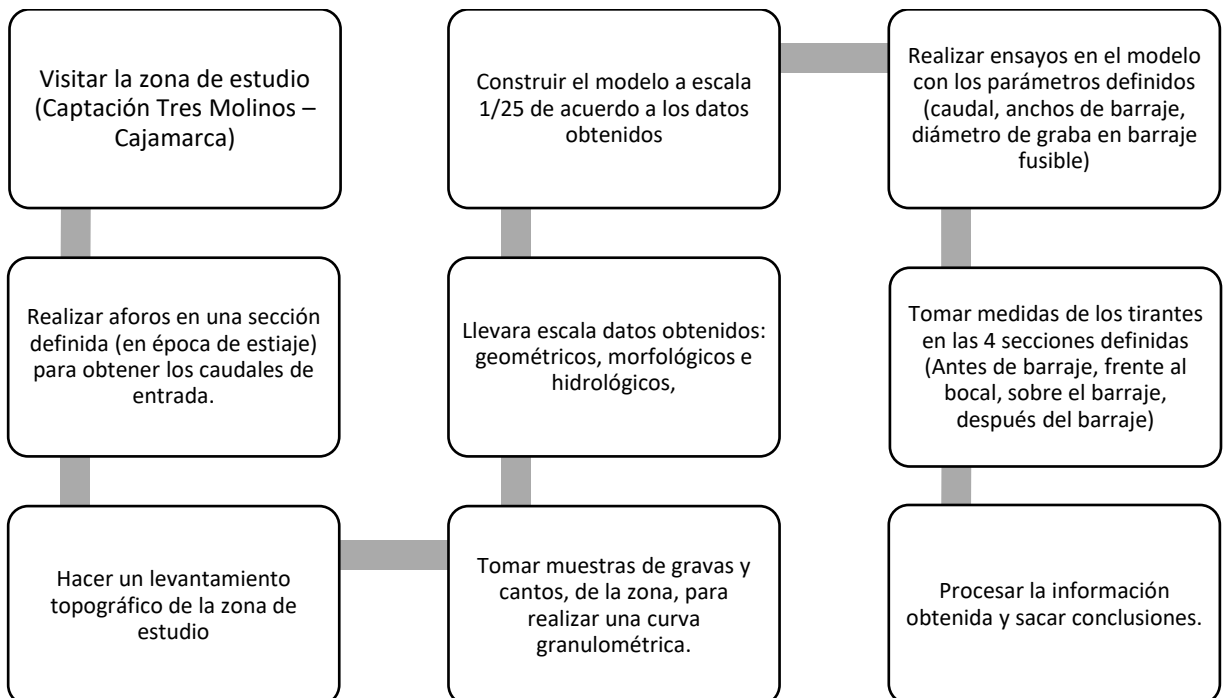
Balanza electrónica

Probeta graduada

Lap top

Calculadora de bolsillo

### 3.11 Esquema del proceso a desarrollar



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Caudales del río Grande

Tabla 5. Caudales del río Grande aguas arriba de la captación Tres Molinos

| ITEM | Fecha         | Caudal                            | Duración estimada |
|------|---------------|-----------------------------------|-------------------|
|      | (día/mes/año) | (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | (días)            |
| 1    | 23/07/2021    | 0.38                              | 10                |
| 2    | 01/08/2021    | 0.32                              | 7                 |
| 3    | 08/08/2021    | 0.32                              | 7                 |
| 4    | 15/08/2021    | 0.52                              | 7                 |
| 5    | 22/08/2021    | 0.56                              | 7                 |
| 6    | 29/08/2021    | 0.69                              | 7                 |
| 7    | 05/09/2021    | 0.72                              | 7                 |
| 8    | 12/09/2021    | 0.83                              | 7                 |
| 9    | 19/09/2021    | 0.85                              | 7                 |
| 10   | 26/09/2021    | 0.88                              | 7                 |
| 11   | 03/10/2021    | 0.89                              | 7                 |
| 12   | 10/10/2021    | 0.89                              | 7                 |
| 13   | 17/10/2021    | 0.94                              | 7                 |
| 14   | 24/10/2021    | 1.03                              | 7                 |
| 15   | 31/10/2021    | 1.21                              | 7                 |
| 16   | 07/11/2021    | 1.40                              | 7                 |
| 17   | 14/11/2021    | 1.48                              | 7                 |
| 18   | 21/10/2021    | 1.59                              | 7                 |
| 19   | 28/11/2021    | 1.65                              | 7                 |
| 20   | 05/12/2021    | 1.66                              | 7                 |

Las secciones de aforo del río Grande se ubicaron a 200,00 m aguas arriba del barrage de la captación Tres Molinos. Los aforos se realizaron en los meses de julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre. El caudal de cada fecha se ha determinado con el método área-velocidad. Las velocidades se midieron con tubo de Pitot. Se observa en la tabla 5 que los caudales son variables, habiéndose presentado valores altos con mayor frecuencia en el mes de diciembre, mientras que los caudales menores con mayor frecuencia se presentaron en el

mes de Julio. El mayor caudal ( $1.66 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) ocurrió en el mes de diciembre y el menor ( $0,32 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) en el mes de Julio.

## 4.2 Morfología del río Grande

### A. Granulometría

De acuerdo a la topografía del río, las velocidades del flujo y el material sólido del cauce, el tramo del río de 200 m de longitud aguas arriba del barrage pertenece a un río de montaña, con una pendiente longitudinal de 2.13 %. La forma del cauce es aproximadamente rectangular con un ancho que varía de 6,10 m a 18,00 m y una profundidad de 1,10 m a 5,50 m. En el lecho se observa acorazamiento y formación de barras, lejos de la captación, pero cerca de ésta predomina la presencia de limo y arena.

Las riberas están estabilizadas por la vegetación.

Tabla 6. Muestras de guijarros y cantos del río Grande aguas arriba de la Captación Tres Molinos

| DATOS ORDENADOS |           |    |           |    |           |    |           |
|-----------------|-----------|----|-----------|----|-----------|----|-----------|
| Nº              | L<br>pulg | Nº | L<br>pulg | Nº | L<br>pulg | Nº | L<br>pulg |
| 1               | 2.36      | 26 | 3.54      | 51 | 4.33      | 76 | 6.69      |
| 2               | 2.36      | 27 | 3.54      | 52 | 4.33      | 77 | 7.09      |
| 3               | 2.36      | 28 | 3.54      | 53 | 4.33      | 78 | 7.09      |
| 4               | 2.36      | 29 | 3.54      | 54 | 4.33      | 79 | 7.09      |
| 5               | 2.36      | 30 | 3.54      | 55 | 4.33      | 80 | 7.48      |
| 6               | 2.36      | 31 | 3.54      | 56 | 4.33      | 81 | 7.48      |
| 7               | 2.36      | 32 | 3.54      | 57 | 4.72      | 82 | 7.87      |
| 8               | 2.76      | 33 | 3.54      | 58 | 4.72      | 83 | 7.87      |
| 9               | 2.76      | 34 | 3.54      | 59 | 4.72      | 84 | 8.27      |
| 10              | 2.76      | 35 | 3.54      | 60 | 4.72      | 85 | 8.66      |
| 11              | 2.76      | 36 | 3.54      | 61 | 5.12      | 86 | 9.06      |
| 12              | 2.76      | 37 | 3.94      | 62 | 5.12      | 87 | 9.45      |
| 13              | 2.76      | 38 | 3.94      | 63 | 5.12      | 88 | 11.02     |
| 14              | 2.76      | 39 | 3.94      | 64 | 5.51      | 89 | 10.24     |
| 15              | 2.76      | 40 | 3.94      | 65 | 5.51      | 90 | 10.63     |
| 16              | 3.15      | 41 | 3.94      | 66 | 5.51      | 91 | 11.02     |
| 17              | 3.15      | 42 | 3.94      | 67 | 5.51      | 92 | 11.42     |
| 18              | 3.15      | 43 | 3.94      | 68 | 5.91      | 93 | 11.81     |
| 19              | 3.15      | 44 | 3.94      | 69 | 5.91      | 94 | 12.20     |

|    |      |    |      |    |      |     |       |
|----|------|----|------|----|------|-----|-------|
| 20 | 3.15 | 45 | 3.94 | 70 | 5.91 | 95  | 12.60 |
| 21 | 3.15 | 46 | 3.94 | 71 | 6.30 | 96  | 12.99 |
| 22 | 3.15 | 47 | 3.94 | 72 | 6.30 | 97  | 12.99 |
| 23 | 3.15 | 48 | 3.94 | 73 | 6.30 | 98  | 13.39 |
| 24 | 3.15 | 49 | 3.94 | 74 | 6.69 | 99  | 13.78 |
| 25 | 3.15 | 50 | 4.33 | 75 | 6.69 | 100 | 14.96 |

El tramo del río de 50 m, objeto de estudio, tiene un ancho máximo de 18,0 m en el eje del barrage, un ancho mínimo de 6.10 m, una pendiente longitudinal de 0,01%; sin embargo se ha estimado la pendiente antes que ocurra la colmatación resultando ser 2,13%. Los sedimentos que se observan en la superficie y sub superficie de dicho tramo están conformados por limo, arena y gravas. Se observó junto al bocal material gravoso debido a que los limos y arenas han sido lavados por la corriente del agua que ingresa por el bocal. En el centro del río, junto al barrage, los sedimentos están constituidos por limo y arena.

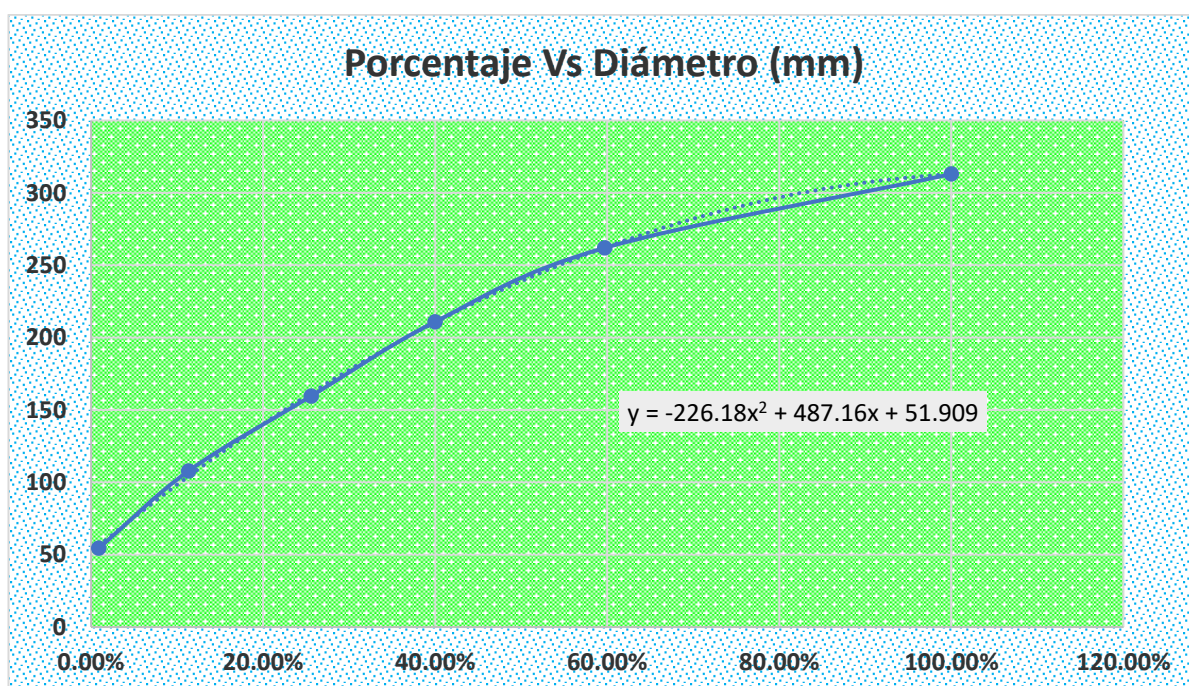


Figura 24. Distribución granulométrica de guijarros y cantos del río Grande, aguas arriba del barrage de la captación Tres Molinos.



La distribución granulométrica de gravas y cantos, del río Grande, aguas arriba de la captación Tres Molinos muestra que se trata de materiales admisibles para la construcción del enrocado en la parte fusible del barrage.

La Tabla 9 muestra que las partículas (guijarros y cantos) tienen tamaños distribuidos entre 2.36 ( 54 mm) y 14.96 ( 313 mm) pulgadas, predominando las comprendidas entre 11.4 y 13.4 pulgadas. Dicha tabla fue utilizada para elaborar la curva granulométrica de la Figura 34.

Tabla 7. Conteo de guijarros y cantos para el análisis granulométrico

| Diámetro       |                  | factor de ponderación $D^3$ | Conteo para cada fracción | conteo $D^3 \times 10^6$ | porcentaje | Porcentaje que pasa |
|----------------|------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|------------|---------------------|
| Fracción pulg. | M. geométrico mm |                             |                           |                          |            |                     |
| 1.5a2.5        | 48               | 113.101                     | 9                         | 1.02                     | 2.5%       | 2.5%                |
| 2.5a3.5        | 74               | 410.549                     | 20                        | 8.21                     | 20.5%      | 23.1%               |
| 3.5a4.5        | 100              | 999.903                     | 11                        | 11.00                    | 27.5%      | 50.5%               |
| 4.5a5.5        | 126              | 1979.462                    | 2                         | 3.96                     | 9.9%       | 60.4%               |
| 5.5a6.5        | 151              | 3447.543                    | 3                         | 10.34                    | 25.8%      | 86.3%               |
| 6.5a7.5        | 177              | 5502.466                    | 1                         | 5.50                     | 13.7%      | 100.0%              |
|                |                  |                             | 46                        | 40.03                    | 100.0%     |                     |

Los guijarros y cantos que conforman el material del río Grande son característicos de un río de alta montaña.

## B. Propiedades de gravas

Se procedió a tomar muestras de gravas del río Grande en el tramo de 200 metros aguas arriba de la captación Tres Molinos, para realizar la evaluación de las propiedades de dichas muestras. Aquí se encontraron:

- Arenisca
- Traquita verdosa
- Riolita
- Dolerita
- Traque andesita.



Figura 25 . Rocas encontradas 200 metros aguas arriba de la captación TRES MOLINOS

**Cálculo del peso específico del material en laboratorio**

- Peso específico de la arenisca



Figura 26. Arenisca de la captación TRES MOLINOS

|         |          |
|---------|----------|
| muestra | 0.0488kg |
| Volumen | 0.021L   |

$$\rho_s = \frac{m}{V}$$

$$\rho_s = \frac{(0.0488)Kg}{\left(\frac{0.021}{1000}\right)m^3}$$

$$\rho_s = 2323.8 Kg/m^3$$

**Propiedad mecánica**

**Valor**

|                               |                        |
|-------------------------------|------------------------|
| <b>Porosidad</b>              | Altamente porosa 6-25% |
| <b>Resistencia-Compresión</b> | 150,00 N / mm 2        |
| <b>Permeabilidad</b>          | 3-6 mm/dia             |
| <b>Dureza</b>                 | 6-7                    |

- Peso específico de la Traquita Verdosa



Figura 27. Traquita Verdosa de la captación TRES MOLINOS

|         |          |
|---------|----------|
| muestra | 0.0409kg |
| Volumen | 0.020L   |

$$\rho_s = \frac{m}{V}$$

$$\rho_s = \frac{(0.0409)Kg}{\left(\frac{0.020}{1000}\right)m^3}$$

$$\rho_s = 2045 Kg/m^3$$

| Propiedad mecánica     | Valor           |
|------------------------|-----------------|
| Porosidad              | Menos porosa    |
| Resistencia-Compresión | 150,00 N / mm 2 |
| Dureza                 | 6               |

- Peso específico de la Riolita



Figura 28. Riolita de la captación TRES MOLINOS

|         |          |
|---------|----------|
| muestra | 0.0413kg |
| Volumen | 0.015L   |

$$\rho_s = \frac{m}{V}$$

$$\rho_s = \frac{(0.0413)Kg}{\left(\frac{0.015}{1000}\right)m^3}$$

$$\rho_s = 2753.3 Kg/m^3$$

|                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| Propiedad mecánica     | Valor                 |
| Porosidad              | Altamente porosa 4-6% |
| Resistencia-Compresión | 140,00 N / mm 2       |
| Dureza                 | 6-7                   |

- Peso específico de la Traque-Andesita



Figura 29. Traque Andesita de la captación TRES MOLINOS

|         |          |
|---------|----------|
| muestra | 0.0375kg |
| Volumen | 0.019L   |

$$\rho_s = \frac{m}{V}$$

$$\rho_s = \frac{(0.0375)Kg}{\left(\frac{0.019}{1000}\right)m^3}$$

$$\rho_s = 1973.68 \text{ Kg/m}^3$$

|                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| Propiedad mecánica     | Valor                     |
| Porosidad              | Menos porosa              |
| Resistencia-Compresión | 37,50 N / mm <sup>2</sup> |
| Dureza                 | 6                         |

- Peso específico de la Dolerita



Figura 30. Dolerita de la captación TRES MOLINOS

|         |          |
|---------|----------|
| muestra | 0.0425kg |
| Volumen | 0.021L   |

$$\rho_s = \frac{m}{V}$$

$$\rho_s = \frac{(0.0425) \text{Kg}}{\left(\frac{0.021}{1000}\right) \text{m}^3}$$

$$\rho_s = 2023.81 \text{ Kg/m}^3$$

|                           |              |
|---------------------------|--------------|
| <b>Propiedad mecánica</b> | <b>Valor</b> |
|---------------------------|--------------|

|             |                            |
|-------------|----------------------------|
| Porosidad   | Altamente porosa           |
| Resistencia | 225,00 N / mm <sup>2</sup> |
| Dureza      | 7                          |

### 4.3 Captación Tres Molinos

Es una captación derivadora ubicada en el lecho del río Grande a una altitud de 2800 m.s.n.m.; está compuesta por las siguientes partes:

- g) Un barrage tipo vertedero de concreto armado de 18,0 m de longitud por 2,20 m de altura el cual se encuentra en buenas condiciones porque fue reconstruido el año 2004.
- h) Una ventana de captación o bocal de forma irregular de 1,00 m de ancho por 1,00 m de altura, aproximadamente, ubicada en la margen izquierda del río, en un muro de concreto ciclópeo. Está obstruida con los sedimentos del río pero el agua logra entrar al bocal por filtración atravesando los sedimentos. El bocal dispone de una compuerta metálica que es izada manualmente cuando los usuarios lo requieren.
- i) Una compuerta de limpieza ubicada en la margen derecha del río. La abertura de la ventana de limpieza es de forma rectangular de 1,0 m de ancho por 1,20m de alto. Actualmente está fuera de servicio, cerrada, porque el canal de limpieza está ubicado en propiedad privada.
- j) Dos muros de encauzamiento de concreto ciclópeo aguas arriba del barrage que se extienden hasta 25,0 m por la margen derecha y 9,60 m por la margen izquierda. Estos muros tienen una antigüedad de 40 años aproximadamente y se encuentran en malas condiciones.
- k) Dos pozas disipadoras de energía ubicadas en serie, de 18,00 m de ancho por 11,10 m de longitud la primera y 7,72 m de longitud la segunda, con un desnivel de 2,80 m. Ambas

son de concreto armado y están en buenas condiciones porque han sido reconstruidas el año 2004.

- 1) Dos muros de encauzamiento que se extienden aguas abajo del barrage, en ambas márgenes, una longitud de 31,40 m.

#### 4.4 Datos del prototipo

Se tiene una captación con un barrage fijo de características ya mencionadas, la cual trabaja con los siguientes datos:

Tabla 8. Datos del prototipo

| DATOS PROTOTIPO                                    |          |                                |
|--|----------|--------------------------------|
| Dato   | Magnitud | Unidades                       |
| Caudal menor                                       | 0.32     | m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> |
| Caudal mayor                                       | 1.66     | m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> |
| Longitud del tramo del río                         | 50.00    | m                              |
| Ancho menor de sección del río                     | 9.70     | m                              |
| Ancho mayor de sección del río                     | 18.00    | m                              |
| Profundidad mayor de sección del río               | 3.00     | m                              |
| Pendiente del cauce antes de la colmatación        | 0.0133   | m/m                            |
| Pendiente del cauce colmatado                      | 0.0001   | m/m                            |
| d90 de grava                                       | 0.30     | m                              |
| d10 de grava                                       | 0.13     | m                              |
| Longitud del barrage de hormigón                   | 18.00    | m                              |
| Altura del barrage de hormigón                     | 2.20     | m                              |
| Talud aguas abajo del barrage (V:H)                | 01:02    | No tiene                       |
| Ancho de corona del barrage                        | 0.72     | m                              |
| Longitud del bocal                                 | 1.00     | m                              |
| Altura del bocal                                   | 1.00     | m                              |
| Longitud muro derecho, aguas arriba, de hormigón   | 25.00    | m                              |
| Longitud muro izquierdo, aguas arriba, de hormigón | 9.60     | m                              |
| Altura de muros                                    | 3.00     | m                              |
| Longitud poza disipadora de energía, de hormigón   | 17.10    | m                              |
| Ancho poza disipadora de energía, de hormigón      | 18.00    | m                              |



Tabla 9. Datos hidráulicos del prototipo

| ITEM | Fecha         | Caudal Aforado<br>(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | Ancho de Captación<br>(m) | Altura de Barraje<br>(m) | Cd    | Carga de agua | Tirante aguas Arriba del Barraje fijo |
|------|---------------|---|---------------------------|--------------------------|-------|---------------|---------------------------------------|
|      | (día/mes/año) |   |                           |                          |       | (m)           | (m)                                   |
| 1    | 23/07/2021    | 0.38  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.04          | 2.24                                  |
| 2    | 1/08/2021     | 0.32  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.04          | 2.24                                  |
| 3    | 8/08/2021     | 0.32  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.04          | 2.24                                  |
| 4    | 15/08/2021    | 0.52  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.06          | 2.26                                  |
| 5    | 22/08/2021    | 0.56  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.06          | 2.26                                  |
| 6    | 29/08/2021    | 0.69  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.07          | 2.27                                  |
| 7    | 5/09/2021     | 0.72  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.07          | 2.27                                  |
| 8    | 12/09/2021    | 0.83  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.08          | 2.28                                  |
| 9    | 19/09/2021    | 0.85  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.08          | 2.28                                  |
| 10   | 26/09/2021    | 0.88  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.08          | 2.28                                  |
| 11   | 3/10/2021     | 0.89  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.08          | 2.28                                  |
| 12   | 10/10/2021    | 0.89  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.08          | 2.28                                  |
| 13   | 17/10/2021    | 0.94  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.08          | 2.28                                  |
| 14   | 24/10/2021    | 1.03  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.09          | 2.29                                  |
| 15   | 31/10/2021    | 1.21  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.10          | 2.30                                  |
| 16   | 7/11/2021     | 1.40  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.11          | 2.31                                  |
| 17   | 14/11/2021    | 1.48  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.11          | 2.31                                  |
| 18   | 21/10/2021    | 1.59  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.12          | 2.32                                  |
| 19   | 28/11/2021    | 1.65  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.12          | 2.32                                  |
| 20   | 5/12/2021     | 1.66  | 18                        | 2.2                      | 2.200 | 0.12          | 2.32                                  |

Tabla 10. Datos de Aforo en antecanal de captación Tres Molinos.

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| Distancia total (m)          | 1.450 |
| Gravedad (m/s <sup>2</sup> ) | 9.81  |

| TRAMOS                  | Equidistancia entre sub-tramos (m) | Distancia acumulada de sub-tramos (m) | Altura Total Yi (m) | Porcentaje | 0,6 *Yi (m) | Distancia al 0,60 del Yi | ΔYi   | Velocidad                    | Área                 | Caudal                 |
|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|------------|-------------|--------------------------|-------|------------------------------|----------------------|------------------------|
|                         |                                    |                                       |                     |            |             |                          |       | Vi                           | Ai (m <sup>2</sup> ) | Qi (m <sup>3</sup> /s) |
| <b>Margen Izquierda</b> | 0                                  | 0.000                                 | 0.090               | 60%        | 0.054       | 0.074                    | 0.020 | 0.626                        | 0.000                | 0.000                  |
| 1                       | 0.1                                | 0.100                                 | 0.080               | 60%        | 0.048       | 0.188                    | 0.140 | 1.657                        | 0.008                | 0.013                  |
| 2                       | 0.1                                | 0.200                                 | 0.055               | 60%        | 0.033       | 0.233                    | 0.200 | 1.981                        | 0.006                | 0.011                  |
| 3                       | 0.1                                | 0.300                                 | 0.070               | 60%        | 0.042       | 0.158                    | 0.116 | 1.509                        | 0.007                | 0.011                  |
| 4                       | 0.1                                | 0.400                                 | 0.065               | 60%        | 0.039       | 0.189                    | 0.150 | 1.716                        | 0.007                | 0.011                  |
| 5                       | 0.1                                | 0.500                                 | 0.065               | 60%        | 0.039       | 0.139                    | 0.100 | 1.401                        | 0.007                | 0.009                  |
| 6                       | 0.1                                | 0.600                                 | 0.065               | 60%        | 0.039       | 0.189                    | 0.150 | 1.716                        | 0.007                | 0.011                  |
| 7                       | 0.1                                | 0.700                                 | 0.040               | 60%        | 0.024       | 0.124                    | 0.100 | 1.401                        | 0.004                | 0.006                  |
| 8                       | 0.1                                | 0.800                                 | 0.040               | 60%        | 0.024       | 0.124                    | 0.100 | 1.401                        | 0.004                | 0.006                  |
| 9                       | 0.1                                | 0.900                                 | 0.040               | 60%        | 0.024       | 0.094                    | 0.070 | 1.172                        | 0.004                | 0.005                  |
| 10                      | 0.1                                | 1.000                                 | 0.040               | 60%        | 0.024       | 0.094                    | 0.070 | 1.172                        | 0.004                | 0.005                  |
| 11                      | 0.1                                | 1.100                                 | 0.040               | 60%        | 0.024       | 0.064                    | 0.040 | 0.886                        | 0.004                | 0.004                  |
| 12                      | 0.1                                | 1.200                                 | 0.040               | 60%        | 0.024       | 0.064                    | 0.040 | 0.886                        | 0.004                | 0.004                  |
| 13                      | 0.1                                | 1.300                                 | 0.040               | 60%        | 0.024       | 0.064                    | 0.040 | 0.886                        | 0.004                | 0.004                  |
| 14                      | 0.1                                | 1.400                                 | 0.040               | 60%        | 0.024       | 0.029                    | 0.005 | 0.313                        | 0.004                | 0.001                  |
| <b>Margen derecha</b>   | 0.05                               | 1.450                                 | 0.040               | 60%        | 0.024       | 0.024                    | 0.000 | 0.000                        | 0.002                | 0.000                  |
| <b>Total</b>            |                                    | <b>1.450</b>                          |                     |            |             |                          |       | <b>TOTAL m<sup>3</sup>/s</b> |                      | <b>0.099</b>           |
|                         |                                    |                                       |                     |            |             |                          |       | <b>TOTAL l/s</b>             |                      | <b>98.6</b>            |

La captación Tres Molinos deriva agua para riego de 265,77 ha, las que requieren 227 L s<sup>-1</sup>; sin embargo, en los meses de estiaje los usuarios solamente tienen autorización para derivar 100 l/s, y como se muestra en los valores del aforo, el caudal de ingreso por el bocal es de 98

l/s.. Con los datos anteriores se hará el diseño de Barrage fusible a escala real, el cual será de roca y será de 1.8 m en cada lado del barrage fijo (10% del total de longitud) y de 3.6 m a cada lado del barrage fijo (20 % de longitud total). El enrocado se hará con materiales de la misma zona, lo cual facilitará el trabajo para los pobladores de las zonas aledañas.

## 4.5 Diseño del modelo

Se escogió la escala 1/25 para realizar la elaboración del modelo, de donde:

$$L_M/L_P = 1/X = 1/25$$

Esta escala nos permite tener una correcta observación de los resultados y así mismo no tiene problemas para disponibilidad de espacio en el laboratorio de recursos hídricos de la Universidad Nacional de Cajamarca.

### A. CÁLCULO DE CAUDALES EN EL MODELO

$$\text{Se tiene que : } L_M/L_P = 1/X = 1/25$$

De donde deducimos que  $X=25$

Así mismo se tiene:

$$Q_M = Q_P X^{-5/2}$$

De donde:

- $Q_M$ = Caudal del Modelo
- $Q_P$ =Caudal del Prototipo
- $X$ =Valor de la escala

Por lo tanto:

$$Q_M \left(\frac{l}{s}\right) = (\text{Valores de aforo}) * 25^{-\frac{5}{2}}$$

| Caudal                            | Caudal modelo     | caudal modelo |
|-----------------------------------|-------------------|---------------|
| (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | m <sup>3</sup> /s | l/s           |
| 0.38                              | 0.000120          | 0.120         |
| 0.32                              | 0.000103          | 0.103         |
| 0.32                              | 0.000104          | 0.104         |
| 0.52                              | 0.000167          | 0.167         |
| 0.56                              | 0.000178          | 0.178         |
| 0.69                              | 0.000220          | 0.220         |
| 0.72                              | 0.000232          | 0.232         |
| 0.83                              | 0.000266          | 0.266         |
| 0.85                              | 0.000271          | 0.271         |
| 0.88                              | 0.000282          | 0.282         |
| 0.89                              | 0.000284          | 0.284         |
| 0.89                              | 0.000284          | 0.284         |
| 0.94                              | 0.000301          | 0.301         |
| 1.03                              | 0.000331          | 0.331         |
| 1.21                              | 0.000389          | 0.389         |
| 1.40                              | 0.000447          | 0.447         |
| 1.48                              | 0.000475          | 0.475         |
| 1.59                              | 0.000510          | 0.510         |
| 1.65                              | 0.000529          | 0.529         |
| 1.66                              | 0.000531          | 0.531         |

Por lo tanto 0.531 l/s será el caudal mayor con el que se realizarán las pruebas.

## B. CÁLCULO DE CAUDAL MENOR DEL MODELO

Para ello se debe verificar que se cumpla con un flujo turbulento, es decir  $Re > 4000$ , entonces se tienen las siguientes fórmulas:

$$Re_M = \frac{V_M * D_{HM}}{\vartheta_M}$$

Donde:

- $Re_M$ = Número de Reynolds
- $V_M$ = Velocidad Media en el Modelo
- $D_{HM}$ = Diámetro Hidráulico en el modelo
- $\vartheta_M$ = viscosidad cinemática

Donde la  $V_M$  se obtiene de los ensayos en el modelo.

$$V_M = \frac{Q_M}{A_M}$$

Donde

$Q_M$  = Caudal del Modelo

$A_M$  = Area del modelo

Entonces reemplazando con los caudales y áreas del modelo se obtiene:

Tabla 9: Resultados de Velocidad del Modelo

| Caudal modelo | Tirante de modelo | Ancho de modelo | Área del modelo | Velocidad del Modelo |
|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| m3/s          | m                 | m               | m2              | m/s                  |
| 0.000120      | 0.009             | 0.72            | 0.01            | 0.0179               |
| 0.000103      | 0.007             | 0.72            | 0.01            | 0.0198               |
| 0.000104      | 0.007             | 0.72            | 0.01            | 0.0196               |
| 0.000167      | 0.015             | 0.72            | 0.01            | 0.0153               |
| 0.000178      | 0.017             | 0.72            | 0.01            | 0.0150               |
| 0.000220      | 0.021             | 0.72            | 0.02            | 0.0147               |
| 0.000232      | 0.022             | 0.72            | 0.02            | 0.0147               |
| 0.000266      | 0.025             | 0.72            | 0.02            | 0.0149               |
| 0.000271      | 0.025             | 0.72            | 0.02            | 0.0150               |
| 0.000282      | 0.026             | 0.72            | 0.02            | 0.0150               |
| 0.000284      | 0.026             | 0.72            | 0.02            | 0.0150               |
| 0.000284      | 0.026             | 0.72            | 0.02            | 0.0150               |
| 0.000301      | 0.028             | 0.72            | 0.02            | 0.0147               |
| 0.000331      | 0.030             | 0.72            | 0.02            | 0.0153               |
| 0.000389      | 0.033             | 0.72            | 0.02            | 0.0162               |
| 0.000447      | 0.038             | 0.72            | 0.03            | 0.0165               |
| 0.000475      | 0.038             | 0.72            | 0.03            | 0.0174               |
| 0.000510      | 0.040             | 0.72            | 0.03            | 0.0179               |
| 0.000529      | 0.040             | 0.72            | 0.03            | 0.0185               |
| 0.000531      | 0.040             | 0.72            | 0.03            | 0.0186               |

El diámetro hidráulico DH del modelo se obtiene con la fórmula:

$$DH_M = 4 RH$$

Donde: RH = Radio Hidráulico

Se sabe que:

$$RH = \frac{\text{área}}{\text{Perímetro mojado}}$$

Por lo tanto para los caudales y sección de aforo se obtiene:

Tabla 10. Resultados de radio hidráulico para modelo.

| Caudal modelo | Tirante de modelo | Ancho de modelo | Área del modelo | Perímetro Mojado de Modelo | Radio hidráulico de modelo |
|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| m3/s          | m                 | m               | m2              | m                          | m                          |
| 0.000120      | 0.009             | 0.72            | 0.01            | 0.739                      | 0.0091                     |
| 0.000103      | 0.007             | 0.72            | 0.01            | 0.734                      | 0.0071                     |
| 0.000104      | 0.007             | 0.72            | 0.01            | 0.735                      | 0.0072                     |
| 0.000167      | 0.015             | 0.72            | 0.01            | 0.750                      | 0.0145                     |
| 0.000178      | 0.017             | 0.72            | 0.01            | 0.753                      | 0.0158                     |
| 0.000220      | 0.021             | 0.72            | 0.02            | 0.762                      | 0.0197                     |
| 0.000232      | 0.022             | 0.72            | 0.02            | 0.764                      | 0.0206                     |
| 0.000266      | 0.025             | 0.72            | 0.02            | 0.769                      | 0.0231                     |
| 0.000271      | 0.025             | 0.72            | 0.02            | 0.770                      | 0.0235                     |
| 0.000282      | 0.026             | 0.72            | 0.02            | 0.772                      | 0.0243                     |
| 0.000284      | 0.026             | 0.72            | 0.02            | 0.772                      | 0.0245                     |
| 0.000284      | 0.026             | 0.72            | 0.02            | 0.772                      | 0.0245                     |
| 0.000301      | 0.028             | 0.72            | 0.02            | 0.777                      | 0.0264                     |
| 0.000331      | 0.030             | 0.72            | 0.02            | 0.780                      | 0.0278                     |
| 0.000389      | 0.033             | 0.72            | 0.02            | 0.787                      | 0.0305                     |
| 0.000447      | 0.038             | 0.72            | 0.03            | 0.795                      | 0.0341                     |
| 0.000475      | 0.038             | 0.72            | 0.03            | 0.796                      | 0.0343                     |
| 0.000510      | 0.040             | 0.72            | 0.03            | 0.799                      | 0.0356                     |
| 0.000529      | 0.040             | 0.72            | 0.03            | 0.799                      | 0.0358                     |
| 0.000531      | 0.040             | 0.72            | 0.03            | 0.799                      | 0.0358                     |

A continuación calculamos el Diámetro Hidráulico del modelo:

Tabla 11. Resultados de Diámetro hidráulico del modelo.

| Caudal modelo | Tirante de modelo | Ancho de modelo | Área del modelo | Perímetro Mojado de Modelo | Radio hidráulico de modelo | Diámetro Hidráulico modelo |
|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| m3/s          | m                 | m               | m2              | m                          | m                          | m                          |
| 0.000120      | 0.009             | 0.72            | 0.01            | 0.739                      | 0.0091                     | 0.0364                     |
| 0.000103      | 0.007             | 0.72            | 0.01            | 0.734                      | 0.0071                     | 0.0283                     |
| 0.000104      | 0.007             | 0.72            | 0.01            | 0.735                      | 0.0072                     | 0.0288                     |
| 0.000167      | 0.015             | 0.72            | 0.01            | 0.750                      | 0.0145                     | 0.0581                     |
| 0.000178      | 0.017             | 0.72            | 0.01            | 0.753                      | 0.0158                     | 0.0631                     |
| 0.000220      | 0.021             | 0.72            | 0.02            | 0.762                      | 0.0197                     | 0.0788                     |
| 0.000232      | 0.022             | 0.72            | 0.02            | 0.764                      | 0.0206                     | 0.0824                     |
| 0.000266      | 0.025             | 0.72            | 0.02            | 0.769                      | 0.0231                     | 0.0925                     |
| 0.000271      | 0.025             | 0.72            | 0.02            | 0.770                      | 0.0235                     | 0.0940                     |
| 0.000282      | 0.026             | 0.72            | 0.02            | 0.772                      | 0.0243                     | 0.0972                     |
| 0.000284      | 0.026             | 0.72            | 0.02            | 0.772                      | 0.0245                     | 0.0978                     |
| 0.000284      | 0.026             | 0.72            | 0.02            | 0.772                      | 0.0245                     | 0.0978                     |
| 0.000301      | 0.028             | 0.72            | 0.02            | 0.777                      | 0.0264                     | 0.1056                     |
| 0.000331      | 0.030             | 0.72            | 0.02            | 0.780                      | 0.0278                     | 0.1112                     |
| 0.000389      | 0.033             | 0.72            | 0.02            | 0.787                      | 0.0305                     | 0.1219                     |
| 0.000447      | 0.038             | 0.72            | 0.03            | 0.795                      | 0.0341                     | 0.1364                     |
| 0.000475      | 0.038             | 0.72            | 0.03            | 0.796                      | 0.0343                     | 0.1372                     |
| 0.000510      | 0.040             | 0.72            | 0.03            | 0.799                      | 0.0356                     | 0.1426                     |
| 0.000529      | 0.040             | 0.72            | 0.03            | 0.799                      | 0.0358                     | 0.1431                     |
| 0.000531      | 0.040             | 0.72            | 0.03            | 0.799                      | 0.0358                     | 0.1431                     |

A continuación se debe calcular el número de Reynolds, para eso tenemos que el fluido a utilizar en el modelo es agua; la viscosidad cinemática para una temperatura de 14 °C (temperatura media anual para la ciudad de Cajamarca, según la estación climatológica Augusto Weberbauer ubicada en el campus de la sede central de la Universidad Nacional de Cajamarca) es  $\vartheta_M = 0,0000011076 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

Por lo tanto con la siguiente ecuación:

$$R_{eM} = \frac{V_M * D_{HM}}{\vartheta_M}$$

el número de Reynold para caudal de entrada resulta:

Tabla 12. Resultados de número de Reynolds del modelo.

| Caudal modelo     | Velocidad del Modelo | Diámetro Hidráulico modelo | viscosidad cinemática | Reynolds |
|-------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------|----------|
| m <sup>3</sup> /s | m/s                  | m                          | m <sup>2</sup> /s     |          |
| 0.000120          | 0.0179               | 0.0364                     | 1.1076E-06            | 589.028  |
| 0.000103          | 0.0198               | 0.0283                     | 1.1076E-06            | 506.073  |
| 0.000104          | 0.0196               | 0.0288                     | 1.1076E-06            | 509.215  |
| 0.000167          | 0.0153               | 0.0581                     | 1.1076E-06            | 805.367  |
| 0.000178          | 0.0150               | 0.0631                     | 1.1076E-06            | 855.214  |
| 0.000220          | 0.0147               | 0.0788                     | 1.1076E-06            | 1042.654 |
| 0.000232          | 0.0147               | 0.0824                     | 1.1076E-06            | 1094.708 |
| 0.000266          | 0.0149               | 0.0925                     | 1.1076E-06            | 1247.342 |
| 0.000271          | 0.0150               | 0.0940                     | 1.1076E-06            | 1271.509 |
| 0.000282          | 0.0150               | 0.0972                     | 1.1076E-06            | 1319.887 |
| 0.000284          | 0.0150               | 0.0978                     | 1.1076E-06            | 1327.110 |
| 0.000284          | 0.0150               | 0.0978                     | 1.1076E-06            | 1328.246 |
| 0.000301          | 0.0147               | 0.1056                     | 1.1076E-06            | 1398.784 |
| 0.000331          | 0.0153               | 0.1112                     | 1.1076E-06            | 1531.586 |
| 0.000389          | 0.0162               | 0.1219                     | 1.1076E-06            | 1783.748 |
| 0.000447          | 0.0165               | 0.1364                     | 1.1076E-06            | 2030.277 |
| 0.000475          | 0.0174               | 0.1372                     | 1.1076E-06            | 2156.086 |
| 0.000510          | 0.0179               | 0.1426                     | 1.1076E-06            | 2303.155 |
| 0.000529          | 0.0185               | 0.1431                     | 1.1076E-06            | 2389.820 |
| 0.000531          | 0.0186               | 0.1431                     | 1.1076E-06            | 2400.155 |

Como podemos observar los caudales no cumplen con la condición de Reynolds mayor a 4000 al ser simulados en el modelo, por lo tanto estos flujos menores estarán en una condición de flujo laminar.

Así mismo se debe calcular el número de Froude, para saber si el flujo es subcrítico, crítico o supercrítico. Para eso tenemos que el fluido a utilizar en el modelo es agua; los tirantes fueron medidos en campo, al igual que el ancho de la sección y las velocidades. Para el modelo se procedió a escalar los caudales y medir los tirantes al ingreso del modelo

Por lo tanto con la siguiente ecuación:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g * y}}$$

Donde:

F: Número de Froude

V: Velocidad media de la sección (m/s)

y: La profundidad hidráulica (m)

g: Es la aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

El número de Froude resulta:

Tabla 13. Resultados de número de Froude del prototipo.

| Fecha<br>(día/mes/año) | Tirante promedio<br>(m) | Velocidad<br>(m/s) | Número<br>de Froude |
|------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|
| 23/07/2021             | 0.13                    | 0.46               | 0.407               |
| 1/08/2021              | 0.13                    | 0.38               | 0.339               |
| 8/08/2021              | 0.16                    | 0.31               | 0.252               |
| 15/08/2021             | 0.20                    | 0.39               | 0.280               |
| 22/08/2021             | 0.21                    | 0.39               | 0.273               |
| 29/08/2021             | 0.22                    | 0.47               | 0.323               |
| 5/09/2021              | 0.25                    | 0.46               | 0.293               |
| 12/09/2021             | 0.27                    | 0.47               | 0.289               |
| 19/09/2021             | 0.23                    | 0.55               | 0.360               |
| 26/09/2021             | 0.25                    | 0.55               | 0.352               |
| 3/10/2021              | 0.26                    | 0.51               | 0.318               |
| 10/10/2021             | 0.26                    | 0.51               | 0.318               |
| 17/10/2021             | 0.27                    | 0.53               | 0.324               |
| 24/10/2021             | 0.28                    | 0.56               | 0.338               |
| 31/10/2021             | 0.30                    | 0.63               | 0.366               |
| 7/11/2021              | 0.33                    | 0.64               | 0.356               |
| 14/11/2021             | 0.35                    | 0.66               | 0.353               |
| 21/10/2021             | 0.37                    | 0.67               | 0.352               |
| 28/11/2021             | 0.38                    | 0.67               | 0.346               |
| 5/12/2021              | 0.38                    | 0.67               | 0.346               |

Tabla 14. Resultados de número de Froude del modelo.



| Fecha         | Tirante promedio | Velocidad | Número de Froude |
|---------------|------------------|-----------|------------------|
| (día/mes/año) | (m)              | (m/s)     |                  |
| 23/07/2021    | 0.009            | 0.018     | 0.06             |
| 1/08/2021     | 0.007            | 0.020     | 0.07             |
| 8/08/2021     | 0.007            | 0.020     | 0.07             |
| 15/08/2021    | 0.015            | 0.015     | 0.04             |
| 22/08/2021    | 0.017            | 0.015     | 0.04             |
| 29/08/2021    | 0.021            | 0.015     | 0.03             |
| 5/09/2021     | 0.022            | 0.015     | 0.03             |
| 12/09/2021    | 0.025            | 0.015     | 0.03             |
| 19/09/2021    | 0.025            | 0.015     | 0.03             |
| 26/09/2021    | 0.026            | 0.015     | 0.03             |
| 3/10/2021     | 0.026            | 0.015     | 0.03             |
| 10/10/2021    | 0.026            | 0.015     | 0.03             |
| 17/10/2021    | 0.028            | 0.015     | 0.03             |
| 24/10/2021    | 0.030            | 0.015     | 0.03             |
| 31/10/2021    | 0.033            | 0.016     | 0.03             |
| 7/11/2021     | 0.038            | 0.016     | 0.03             |
| 14/11/2021    | 0.038            | 0.017     | 0.03             |
| 21/10/2021    | 0.040            | 0.018     | 0.03             |
| 28/11/2021    | 0.040            | 0.018     | 0.03             |
| 5/12/2021     | 0.040            | 0.019     | 0.03             |

Con ello podemos observar que los caudales en el prototipo pertenecen a un flujo subcrítico, al ser el número de Froude menor a 1 y en el modelo también se presenta un flujo subcrítico al ser el número de Froude menor a 1. Por lo tanto se presenta una semejanza de Froude.

### C. CÁLCULO DE GEOMETRÍA DEL MODELO

Se procede a realizar un levantamiento topográfico de la captación, donde se obtendrán los valores geométricos de la misma, estos serán utilizados para realizar el modelo a escala reducida.

Debido a que la escala a utilizar es 1/25, los factores geométricos del modelo resultarán de la división de las medidas del prototipo entre el factor de escala  $X = 25$ .

Se tienen los siguientes datos geométricos del prototipo:

Tabla 15. Datos geométricos del prototipo

| DATOS PROTOTIPO                                    |          |          |
|--|----------|----------|
| Dato   | Magnitud | Unidades |
| Longitud del tramo del río                         | 50.00    | m        |
| Ancho menor de sección del río                     | 9.70     | m        |
| Ancho mayor de sección del río                     | 18.00    | m        |
| Profundidad mayor de sección del río               | 3.00     | m        |
| Pendiente del cauce antes de la colmatación        | 0.0133   | m/m      |
| Pendiente del cauce colmatado                      | 0.0001   | m/m      |
| Longitud del barrage de hormigón                   | 18.00    | m        |
| Altura del barrage de hormigón                     | 2.20     | m        |
| Talud aguas abajo del barrage (V:H)                | 01:02    | No tiene |
| Ancho de corona del barrage                        | 0.72     | m        |
| Longitud del bocal                                 | 1.00     | m        |
| Altura del bocal                                   | 1.00     | m        |
| Longitud muro derecho, aguas arriba, de hormigón   | 25.00    | m        |
| Longitud muro izquierdo, aguas arriba, de hormigón | 9.60     | m        |
| Altura de muros                                    | 3.00     | m        |
| Longitud poza disipadora de energía, de hormigón   | 17.10    | m        |
| Ancho poza disipadora de energía, de hormigón      | 18.00    | m        |
| Ancho de abertura 10%                              | 1.80     | m        |
| ancho de abertura 20%                              | 3.60     | m        |
| ancho corona barrage fusible                       | 0.72     | m        |
| talud barrage fusible                              | 01:02    | No tiene |

Estos valores se dividen entre el factor de escala ( $X = 25$ ), y se obtienen los siguientes datos geométricos del modelo:

Tabla 16. Datos geométricos del modelo.

| DATOS MODELO                      |          |        |
|-----------------------------------|----------|--------|
| Dato para construcción del modelo | Magnitud | Unidad |
| Longitud del tramo del río        | 2        | m      |
| Ancho menor de sección del río    | 0.388    | m      |
| Ancho mayor de sección del río    | 0.72     | m      |

|   |        |          |
|---|--------|----------|
| Profundidad mayor de sección del río              | 0.12   | m        |
| Pendiente del cauce antes de la colmatación       | 0.0133 | m/m      |
| Pendiente del cauce colmatado                     | 0.0001 | m/m      |
| Longitud del barrage                              | 0.72   | m        |
| Altura del barrage                                | 0.088  | m        |
| Talud aguas abajo del barrage (V:H)               | 01:02  | No tiene |
| Ancho de corona del barrage                       | 0.0288 | m        |
| Longitud del bocal                                | 0.04   | m        |
| Altura del bocal                                  | 0.04   | m        |
| Longitud muro derecho, aguas arriba del barrage   | 1      | m        |
| Longitud muro izquierdo, aguas arriba del barrage | 0.384  | m        |
| Altura de muros                                   | 0.12   | m        |
| Longitud poza disipadora de energía               | 0.684  | m        |
| Ancho poza disipadora de energía                  | 0.72   | m        |
| Ancho de abertura 10%                             | 0.072  | m        |
| ancho de abertura 20%                             | 0.144  | m        |
| ancho corona barrage fusible                      | 0.0288 | m        |
| talud barrage fusible                             | 01:02  | No tiene |



Figura 31. Modelo de Captación Tres Molinos a Escala reducida 1/25

#### D. CÁLCULO DE TAMAÑO DE GRAVAS PARA MODELO

Después de realizar el muestreo de gravas y cantos a 200 metros aguas arriba de la captación y realizar la curva granulométrica, se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 17. Propiedades geométricas de gravas en el prototipo.

| DATOS PROTOTIPO         |          |          |
|-------------------------|----------|----------|
| Dato                    | Magnitud | Unidades |
| d90 de Gravas           | 0.30     | m        |
| d10 de Gravas           | 0.13     | m        |
| Promedio de Gravas      | 0.186    | m        |
| Tamaño máximo de Gravas | 0.38     | m        |
| Tamaño mínimo de Gravas | 0.06     | m        |

Estos valores al ser divididos entre el factor de escala ( $X=25$ ), se obtienen los datos para la elaboración del modelo, los cuales son:

Tabla 18. Propiedades geométricas de gravas en el modelo.

| DATOS MODELO                      |          |        |
|-----------------------------------|----------|--------|
| Dato para construcción del modelo | Magnitud | Unidad |
| d90 de Gravas (grava a escala)    | 12       | mm     |
| d10 de Gravas (gravas a escala)   | 5.28     | mm     |
| Promedio de Gravas                | 0.7440   | cm     |
| Tamaño máximo de Gravas           | 1.5200   | cm     |
| Tamaño mínimo de Gravas           | 0.2400   | cm     |

Con esto obtenemos las medidas de las gravas que utilizaremos en la elaboración del barrage fusible en el modelo.

#### 4.6 Construcción del modelo

La base del modelo (la estructura de la captación) fue construida por el Dr. José Francisco Huamán Vidaurre, para la realización de su tesis de doctorado: *“Efectos De La Descolmatación Inducida En La Eficiencia De Captación Y En La Morfología Del Río Grande-Cajamarca, Aguas Arriba Del Barrage”*, donde la estructura una representación a escala 1/25, cuyas medidas están indicadas en diseño del modelo. Los materiales con rugosidad escala, tanto para el río como para la captación son metal liso pintado, vidrio y

marmolina. Las paredes y fondo del río son de metal liso pintado (con rugosidad 0.010), los muros de la captación son de vidrio (con rugosidad 0.009) y la poza disipadora de energía son de marmolina (con rugosidad 0.011)

La construcción que se realizará es la parte del barrage fijo – fusible, con guijarros obtenidos de la zona de estudio para el enrocado como parte fusible y de marmolina para el barrage fijo, cuyas medidas fueron obtenidas pasos atrás.

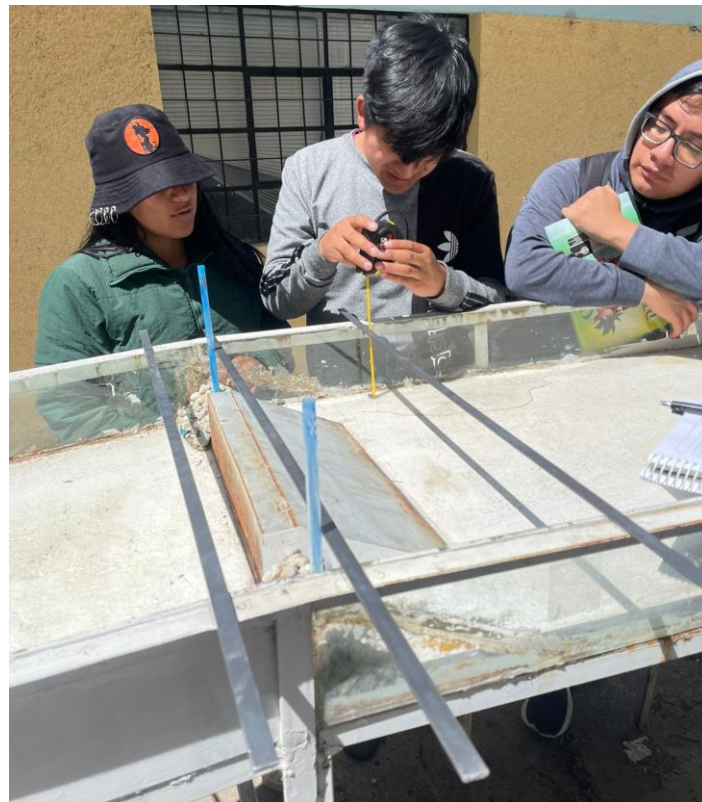


Figura 32. Modelo de Captación Tres Molinos a Escala reducida 1/25

#### **4.7 Caudales a escala para ensayo del modelo (con datos de aforos realizados)**

Después de realizar aforos y cálculos previos, los caudales del modelo a escala son los siguientes:

Tabla 18. Caudales de modelo a escala 1/25

| Caudal                            | PROF<br>MEDIA<br>Prot. | ANCHO<br>ESPEJO<br>Prot. | AREA<br>Prot.     | Vp    | Vm     | Caudal<br>modelo  | caudal<br>modelo |
|-----------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|-------|--------|-------------------|------------------|
| (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | (m)                    | (m)                      | (m <sup>2</sup> ) | m/s   | m/s    | m <sup>3</sup> /s | l/s              |
| 0.38                              | 0.1288                 | 6.11                     | 0.8058            | 0.478 | 0.0957 | 0.000120          | 0.120            |
| 0.32                              | 0.1272                 | 6.11                     | 0.79355           | 0.414 | 0.0828 | 0.000103          | 0.103            |
| 0.32                              | 0.1582                 | 6.11                     | 0.9874            | 0.335 | 0.0670 | 0.000104          | 0.104            |
| 0.52                              | 0.1960                 | 6.11                     | 1.2345            | 0.437 | 0.0873 | 0.000167          | 0.167            |
| 0.56                              | 0.2131                 | 6.11                     | 1.3425            | 0.428 | 0.0856 | 0.000178          | 0.178            |
| 0.69                              | 0.2160                 | 6.11                     | 1.3605            | 0.521 | 0.1042 | 0.000220          | 0.220            |
| 0.72                              | 0.2483                 | 6.11                     | 1.5227            | 0.477 | 0.0954 | 0.000232          | 0.232            |
| 0.83                              | 0.2698                 | 6.11                     | 1.67005           | 0.504 | 0.1008 | 0.000266          | 0.266            |
| 0.85                              | 0.2345                 | 6.11                     | 1.4528            | 0.591 | 0.1183 | 0.000271          | 0.271            |
| 0.88                              | 0.2452                 | 6.11                     | 1.5184            | 0.589 | 0.1177 | 0.000282          | 0.282            |
| 0.89                              | 0.2629                 | 6.11                     | 1.6313            | 0.552 | 0.1105 | 0.000284          | 0.284            |
| 0.89                              | 0.2643                 | 6.11                     | 1.6403            | 0.550 | 0.1100 | 0.000284          | 0.284            |
| 0.94                              | 0.2719                 | 6.11                     | 1.6864            | 0.566 | 0.1132 | 0.000301          | 0.301            |
| 1.03                              | 0.2824                 | 6.11                     | 1.7505            | 0.599 | 0.1199 | 0.000331          | 0.331            |
| 1.21                              | 0.2990                 | 6.11                     | 1.8517            | 0.664 | 0.1329 | 0.000389          | 0.389            |
| 1.40                              | 0.3333                 | 6.11                     | 2.0639            | 0.686 | 0.1372 | 0.000447          | 0.447            |
| 1.48                              | 0.3510                 | 6.11                     | 2.1654            | 0.692 | 0.1385 | 0.000475          | 0.475            |
| 1.59                              | 0.3690                 | 6.11                     | 2.2756            | 0.706 | 0.1413 | 0.000510          | 0.510            |
| 1.65                              | 0.3819                 | 6.11                     | 2.3566            | 0.708 | 0.1417 | 0.000529          | 0.529            |
| 1.66                              | 0.3814                 | 6.11                     | 2.3593            | 0.712 | 0.1425 | 0.000531          | 0.531            |

Escala = 1/25

Estos caudales servirán para realizar los ensayos en el modelo.

#### 4.8 Calibración del modelo

La calibración es el proceso por el cual se identifican los valores de los parámetros del modelo para los cuales la serie de datos simulado se ajusta de manera óptima a la serie de datos observados.

Para este ensayo se procedió a calibrar el modelo verificando medidas bien escaladas de cada parte de la estructura física, así mismo se calibraron los caudales con ensayo prueba – error, regulando la salida, para obtener los caudales deseados en el modelo. (Cabrera, 2012)





Figura 33. Calibración de modelo de Captación Tres Molinos a Escala reducida 1/25

#### 4.9 Ensayo del modelo

Los ensayos se realizaron en el modelo físico a escala reducida 1/25, se calibraron los caudales, se tomaron medidas de tirantes en 4 puntos diferentes para cada caudal según la figura 46, se aforó el caudal de salida por el bocal en los ensayos correspondientes y así mismo se calculó el volumen filtrado a través de los enrocados para cada caudal. Con estos datos obtenidos experimentalmente se procede a calcular la eficiencia de la captación y el coeficiente de descarga para el barrage fijo – fusible con porcentaje de apertura al 10 % y 20 % respectivamente.

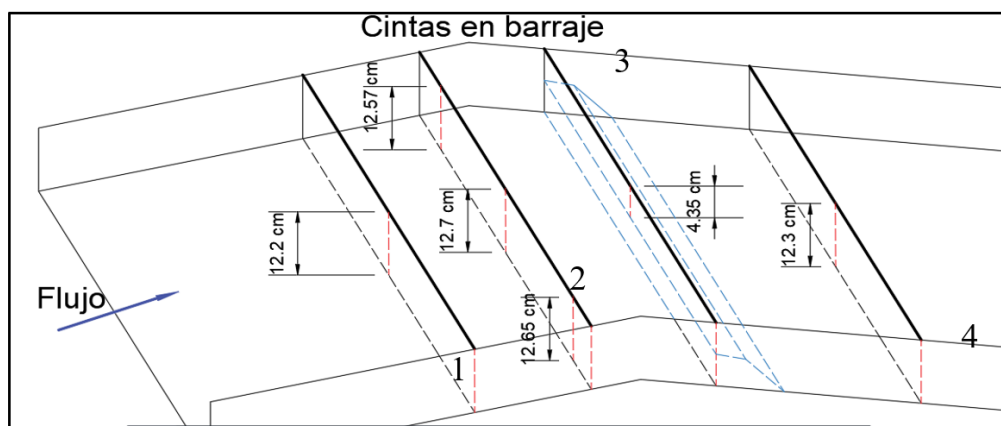


Figura 34. Ubicación de cintas metálicas en modelo de captación

La lectura de tirantes en cada cinta se realizó midiendo la distancia desde la parte inferior de la cinta hasta el borde de la capa de agua que pasa por el punto.



Figura 35. Distancia entre cintas metálicas en modelo de captación.

#### 4.9.1 Ensayo con apertura del 10%

##### Ensayo sin bocal

##### A) Geometría

Este ensayo se realizó con un barraje fijo – fusible al 10 %, es decir la apertura del barrage es un 10% de la medida total a cada lado, para este ensayo no se tiene apertura de bocal.

Con esto obtuvimos los siguientes valores en cuanto a la geometría del modelo:

Tabla 19. Datos geométricos para la construcción del modelo con un barraje fijo – fusible al 10 %, con bocal cerrado.



| DATOS MODELO                        |          |          |
|-------------------------------------|----------|----------|
| Dato para construcción del modelo   | Magnitud | Unidad   |
| Longitud del barrage                | 0.72     | m        |
| Altura del barrage                  | 0.088    | m        |
| Talud aguas abajo del barrage (V:H) | 01:02    | No tiene |
| Ancho de corona del barrage         | 0.0288   | m        |
| Ancho de abertura a cada lado 10%   | 0.072    | m        |
| ancho corona barrage fusible        | 0.0288   | m        |
| Talud barrage fusible               | 01:02    | No tiene |
| Ancho de Bocal                      | 0        | m        |
| Longitud de bocal                   | 0        | m        |



Figura 36. Barrage Fijo con apertura del 10% a cada lado más barrage fusible de enrocado

#### B) Ensayos con caudales

En este ensayo utilizaremos los caudales obtenidos en los aforos del prototipo escalados 1/25, los cuales son:

Tabla 20. Datos de caudal del Modelo en l/s

| Caudal de prototipo               | PROF MEDIA Prot. | ANCHO ESPEJO Prot. | Caudal modelo     | Caudal de modelo |
|-----------------------------------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | (m)              | (m)                | m <sup>3</sup> /s | l/s              |

|      |        |      |          |       |
|------|--------|------|----------|-------|
| 0.38 | 0.1288 | 6.11 | 0.00012  | 0.12  |
| 0.32 | 0.1272 | 6.11 | 0.000103 | 0.103 |
| 0.32 | 0.1582 | 6.11 | 0.000104 | 0.104 |
| 0.52 | 0.196  | 6.11 | 0.000167 | 0.167 |
| 0.56 | 0.2131 | 6.11 | 0.000178 | 0.178 |
| 0.69 | 0.216  | 6.11 | 0.00022  | 0.22  |
| 0.72 | 0.2483 | 6.11 | 0.000232 | 0.232 |
| 0.83 | 0.2698 | 6.11 | 0.000266 | 0.266 |
| 0.85 | 0.2345 | 6.11 | 0.000271 | 0.271 |
| 0.88 | 0.2452 | 6.11 | 0.000282 | 0.282 |
| 0.89 | 0.2629 | 6.11 | 0.000284 | 0.284 |
| 0.89 | 0.2643 | 6.11 | 0.000284 | 0.284 |
| 0.94 | 0.2719 | 6.11 | 0.000301 | 0.301 |
| 1.03 | 0.2824 | 6.11 | 0.000331 | 0.331 |
| 1.21 | 0.299  | 6.11 | 0.000389 | 0.389 |
| 1.4  | 0.3333 | 6.11 | 0.000447 | 0.447 |
| 1.48 | 0.351  | 6.11 | 0.000475 | 0.475 |
| 1.59 | 0.369  | 6.11 | 0.00051  | 0.51  |
| 1.65 | 0.3819 | 6.11 | 0.000529 | 0.529 |
| 1.66 | 0.3814 | 6.11 | 0.000531 | 0.531 |

Se procedió a calibrar el caudal de entrada al modelo, con ayuda de una llave de paso y ensayos de prueba error para obtener cada uno de los caudales.

### C. Tirantes

Para cada uno de los caudales se tomaron las medidas de los tirantes de agua en 4 puntos diferentes y obtenidos a los 2 min y 5 min donde se presentaba estabilización.

Tabla 21. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 10% y bocal cerrado a 2 min.

| ESC: 1/25 | Ensayo con apertura del 10% y bocal cerrado |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|-----------|---|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| l/s       | 2 MIN                                       |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|           | CINTA 1                                     |      |      | CINTA 2 |      |      | CINTA 3 |      |      | CINTA 4 |      |      |
|           | Izq.  | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. |
| 0.120     | 0.93  | 0.93 | 0.93 | 1.67    | 1.71 | 1.71 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.24    | 0.26 | 0.28 |
| 0.103     | 0.72  | 0.72 | 0.72 | 1.47    | 1.55 | 1.53 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.19    | 0.20 | 0.21 |
| 0.104     | 0.73  | 0.73 | 0.73 | 1.48    | 1.56 | 1.54 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.19    | 0.20 | 0.21 |
| 0.167     | 1.51  | 1.51 | 1.51 | 2.21    | 2.15 | 2.22 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.40    | 0.43 | 0.47 |

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.178 | 1.65 | 1.65 | 1.65 | 2.34 | 2.26 | 2.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.48 | 0.52 |
| 0.220 | 2.08 | 2.08 | 2.08 | 2.64 | 2.82 | 2.63 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |
| 0.232 | 2.19 | 2.19 | 2.19 | 2.73 | 2.94 | 2.68 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |
| 0.266 | 2.47 | 2.47 | 2.47 | 2.99 | 3.28 | 2.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |
| 0.271 | 2.51 | 2.51 | 2.51 | 3.03 | 3.33 | 2.83 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |
| 0.282 | 2.61 | 2.61 | 2.61 | 3.11 | 3.44 | 2.87 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |
| 0.284 | 2.62 | 2.62 | 2.62 | 3.13 | 3.46 | 2.88 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |
| 0.284 | 2.62 | 2.62 | 2.62 | 3.13 | 3.46 | 2.88 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |
| 0.301 | 2.97 | 2.79 | 2.79 | 2.94 | 2.93 | 2.68 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.60 | 0.60 | 0.60 |
| 0.331 | 3.00 | 3.02 | 3.02 | 2.97 | 3.11 | 3.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.62 | 0.62 | 0.62 |
| 0.389 | 3.06 | 3.46 | 3.46 | 3.03 | 3.47 | 3.85 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.67 | 0.67 | 0.67 |
| 0.447 | 3.77 | 3.77 | 3.77 | 4.29 | 4.43 | 4.38 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.72 | 0.72 | 0.72 |
| 0.475 | 3.80 | 3.79 | 3.79 | 4.32 | 4.48 | 4.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.74 | 0.74 | 0.74 |
| 0.510 | 3.98 | 3.94 | 3.94 | 4.55 | 4.79 | 4.74 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.92 | 0.92 | 0.92 |
| 0.529 | 4.00 | 3.96 | 3.96 | 4.57 | 4.82 | 4.77 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.93 | 0.93 | 0.93 |
| 0.531 | 4.00 | 3.96 | 3.96 | 4.57 | 4.82 | 4.77 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.93 | 0.93 | 0.93 |

Tabla 22. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 10% y bocal cerrado a 5 min.

| l/s   | 5 MIN   |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|-------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
|       | CINTA 1 |      |      | CINTA 2 |      |      | CINTA 3 |      |      | CINTA 4 |      |      |
|       | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. |
| 0.120 | 1.77    | 1.77 | 1.77 | 1.57    | 1.70 | 1.65 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.73    | 0.64 | 0.64 |
| 0.103 | 1.54    | 1.54 | 1.54 | 1.57    | 1.70 | 1.65 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.68    | 0.62 | 0.62 |
| 0.104 | 1.56    | 1.56 | 1.56 | 1.59    | 1.72 | 1.67 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.68    | 0.62 | 0.62 |
| 0.167 | 2.39    | 2.39 | 2.39 | 1.88    | 1.70 | 1.96 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.88    | 0.67 | 0.67 |
| 0.178 | 2.53    | 2.53 | 2.53 | 1.97    | 1.71 | 2.05 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.92    | 0.68 | 0.68 |
| 0.220 | 2.95    | 2.95 | 2.95 | 2.07    | 2.40 | 2.35 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.70    | 0.70 | 0.71 |
| 0.232 | 3.03    | 3.03 | 3.03 | 1.95    | 2.42 | 2.35 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.70    | 0.70 | 0.72 |
| 0.266 | 3.27    | 3.27 | 3.27 | 2.25    | 2.70 | 2.65 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.70    | 0.70 | 0.73 |
| 0.271 | 3.30    | 3.30 | 3.30 | 2.67    | 2.90 | 2.85 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.70    | 0.70 | 0.74 |
| 0.282 | 3.38    | 3.38 | 3.38 | 2.87    | 3.00 | 2.95 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.70    | 0.70 | 0.74 |
| 0.284 | 3.39    | 3.39 | 3.39 | 3.87    | 4.00 | 3.95 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.70    | 0.70 | 0.74 |
| 0.284 | 3.39    | 3.39 | 3.39 | 4.37    | 4.50 | 4.45 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.70    | 0.70 | 0.74 |
| 0.301 | 3.51    | 3.51 | 3.51 | 5.07    | 5.20 | 5.15 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.75    | 0.75 | 0.75 |
| 0.331 | 3.72    | 3.72 | 3.72 | 5.77    | 5.90 | 5.85 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.82    | 0.82 | 0.81 |
| 0.389 | 4.13    | 4.13 | 4.13 | 6.44    | 6.44 | 6.44 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.96    | 0.96 | 0.93 |
| 0.447 | 4.46    | 4.46 | 4.46 | 7.54    | 7.54 | 7.54 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 1.06    | 1.06 | 1.06 |
| 0.475 | 4.55    | 4.55 | 4.55 | 7.82    | 7.82 | 7.82 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 1.15    | 1.15 | 1.15 |
| 0.510 | 5.26    | 5.26 | 5.26 | 7.92    | 7.92 | 7.92 | 0.68    | 0.68 | 0.68 | 1.86    | 1.86 | 1.86 |
| 0.529 | 5.32    | 5.32 | 5.32 | 8.01    | 8.01 | 8.01 | 0.71    | 0.71 | 0.71 | 1.92    | 1.92 | 1.92 |

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.531 | 5.33 | 5.33 | 5.33 | 8.01 | 8.01 | 8.01 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 1.93 | 1.93 | 1.93 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|



Figura 37. Toma de medidas de tirantes en cada cinta



Figura 38. Toma de medidas de tirantes en cada cinta

D. Caudal de agua filtrada a través de enrocado

Para medir el caudal de agua filtrada a través del enrocado, se procedió a tomar la medida de tirantes aguas abajo del barraje, seguidamente se procedió a tomar la distancia entre secciones medidas, con ello se calcular el área de agua. Se hace el cálculo de la velocidad con ayuda del método de flotador, el cual es aplicable para este tipo de casos en donde el nivel de agua es bajo, el cual tiene por fórmula  $V = d / t$ , donde  $d =$  distancia y  $t =$  tiempo.

Posteriormente se calcular el caudal con la fórmula:  $Q = A \times V$ , donde  $A =$  área y  $V_m =$  Velocidad media

Se tiene un Caudal de agua filtrada a través del enrocado para cada caudal ensayado y para cada tiempo (2.0 min – 5.0 min).

Tabla 23. Aforo de caudales aguas abajo del barraje Fijo-Fusible con apertura de 10% y bocal cerrado a los 2 min.

| CAUDAL DE MODELO |              | AFORO CAUDAL AGUAS ABAJO - 10% DE BARRAGE FUSIBLE SIN BOCAL |           |           |         |         |              |      |         |          |        |  |
|------------------|--------------|---|-----------|-----------|---------|---------|--------------|------|---------|----------|--------|--|
| ESC: 1/25        |              | 2 MIN   |           |           |         |         |              |      |         |          |        |  |
| l/s              | TIEMPO (s)   | DISTANCIA   | Velocidad | TIRANTE   |         |         |              | Long | Area    | Caudal   | Caudal |  |
|                  | Tiempo prom. | m   | m/s       | Izquierda | Centro  | Derecha | Tirante Prom | m    | m2      | m3/s     | l/s    |  |
| 0.120            | 18.67        | 0.5   | 0.027     | 0.00242   | 0.00260 | 0.00278 | 0.00260      | 0.72 | 0.00187 | 5.01E-05 | 0.050  |  |
| 0.103            | 19.50        | 0.5   | 0.026     | 0.00186   | 0.00197 | 0.00207 | 0.00197      | 0.72 | 0.00142 | 3.63E-05 | 0.036  |  |
| 0.104            | 18.50        | 0.5   | 0.027     | 0.00189   | 0.00200 | 0.00211 | 0.00200      | 0.72 | 0.00144 | 3.90E-05 | 0.039  |  |
| 0.167            | 18.33        | 0.5   | 0.027     | 0.00397   | 0.00434 | 0.00472 | 0.00434      | 0.72 | 0.00313 | 8.53E-05 | 0.085  |  |
| 0.178            | 18.17        | 0.5   | 0.028     | 0.00434   | 0.00475 | 0.00517 | 0.00475      | 0.72 | 0.00342 | 9.42E-05 | 0.094  |  |
| 0.220            | 18.00        | 0.5   | 0.028     | 0.00600   | 0.00600 | 0.00600 | 0.00600      | 0.72 | 0.00432 | 1.20E-04 | 0.120  |  |
| 0.232            | 17.50        | 0.5   | 0.029     | 0.00600   | 0.00600 | 0.00600 | 0.00600      | 0.72 | 0.00432 | 1.23E-04 | 0.123  |  |
| 0.266            | 17.33        | 0.5   | 0.029     | 0.00600   | 0.00600 | 0.00600 | 0.00600      | 0.72 | 0.00432 | 1.25E-04 | 0.125  |  |
| 0.271            | 17.27        | 0.5   | 0.029     | 0.00600   | 0.00600 | 0.00600 | 0.00600      | 0.72 | 0.00432 | 1.25E-04 | 0.125  |  |
| 0.282            | 17.20        | 0.5   | 0.029     | 0.00600   | 0.00600 | 0.00600 | 0.00600      | 0.72 | 0.00432 | 1.26E-04 | 0.126  |  |
| 0.284            | 17.17        | 0.5   | 0.029     | 0.00600   | 0.00600 | 0.00600 | 0.00600      | 0.72 | 0.00432 | 1.26E-04 | 0.126  |  |
| 0.284            | 17.17        | 0.5   | 0.029     | 0.00600   | 0.00600 | 0.00600 | 0.00600      | 0.72 | 0.00432 | 1.26E-04 | 0.126  |  |
| 0.301            | 17.07        | 0.5   | 0.029     | 0.00601   | 0.00601 | 0.00601 | 0.00601      | 0.72 | 0.00433 | 1.27E-04 | 0.127  |  |
| 0.331            | 17.03        | 0.5   | 0.029     | 0.00624   | 0.00624 | 0.00624 | 0.00624      | 0.72 | 0.00450 | 1.32E-04 | 0.132  |  |
| 0.389            | 17.00        | 0.5   | 0.029     | 0.00670   | 0.00670 | 0.00670 | 0.00670      | 0.72 | 0.00483 | 1.42E-04 | 0.142  |  |
| 0.447            | 16.83        | 0.5   | 0.030     | 0.00716   | 0.00716 | 0.00716 | 0.00716      | 0.72 | 0.00516 | 1.53E-04 | 0.153  |  |
| 0.475            | 16.87        | 0.5   | 0.030     | 0.00738   | 0.00738 | 0.00738 | 0.00738      | 0.72 | 0.00531 | 1.58E-04 | 0.158  |  |
| 0.510            | 16.80        | 0.5   | 0.030     | 0.00915   | 0.00915 | 0.00915 | 0.00915      | 0.72 | 0.00659 | 1.96E-04 | 0.196  |  |
| 0.529            | 16.73        | 0.5   | 0.030     | 0.00930   | 0.00930 | 0.00930 | 0.00930      | 0.72 | 0.00670 | 2.00E-04 | 0.200  |  |
| 0.531            | 16.67        | 0.5   | 0.030     | 0.00932   | 0.00932 | 0.00932 | 0.00932      | 0.72 | 0.00671 | 2.01E-04 | 0.201  |  |



Tabla 24. Aforo de caudales aguas abajo del barrage Fijo-Fusible con apertura de 10% y bocal cerrado a los 5 min.

| AFORO CAUDAL AGUAS ABAJO - 10% DE BARRAGE FUSIBLE SIN BOCAL |              |           |           |           |         |         |              |      |            |            |        |
|---|--------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|--------------|------|------------|------------|--------|
| 5 MIN   |              |           |           |           |         |         |              |      |            |            |        |
| CAUDAL DE MODELO<br>ESC: 1/25<br>I/s                        | TIEMPO (s)   | DISTANCIA | Velocidad | TIRANTE   |         |         |              | Long | Area       | Caudal     | Caudal |
|   | Tiempo prom. | m         | m/s       | Izquierda | Centro  | Derecha | Tirante Prom | m    | m2         | m3/s       | l/s    |
| 0.120   | 23.33        | 0.5       | 0.021     | 0.00735   | 0.00636 | 0.00636 | 0.00669      | 0.72 | 0.00481427 | 0.00010316 | 0.103  |
| 0.103   | 24.00        | 0.5       | 0.021     | 0.00682   | 0.00621 | 0.00621 | 0.00642      | 0.72 | 0.00461886 | 9.6226E-05 | 0.096  |
| 0.104   | 23.33        | 0.5       | 0.021     | 0.00685   | 0.00622 | 0.00622 | 0.00643      | 0.72 | 0.00463036 | 9.9222E-05 | 0.099  |
| 0.167   | 23.00        | 0.5       | 0.022     | 0.00882   | 0.00674 | 0.00674 | 0.00744      | 0.72 | 0.00535452 | 0.0001164  | 0.116  |
| 0.178   | 22.67        | 0.5       | 0.022     | 0.00917   | 0.00683 | 0.00683 | 0.00761      | 0.72 | 0.00548096 | 0.0001209  | 0.121  |
| 0.220   | 22.33        | 0.5       | 0.022     | 0.00700   | 0.00700 | 0.00711 | 0.00704      | 0.72 | 0.00506579 | 0.00011341 | 0.113  |
| 0.232   | 22.00        | 0.5       | 0.023     | 0.00700   | 0.00700 | 0.00717 | 0.00706      | 0.72 | 0.00507992 | 0.00011545 | 0.115  |
| 0.266   | 21.33        | 0.5       | 0.023     | 0.00700   | 0.00700 | 0.00733 | 0.00711      | 0.72 | 0.00511996 | 0.00012    | 0.120  |
| 0.271   | 21.00        | 0.5       | 0.024     | 0.00700   | 0.00700 | 0.00736 | 0.00712      | 0.72 | 0.00512585 | 0.00012204 | 0.122  |
| 0.282   | 20.33        | 0.5       | 0.025     | 0.00700   | 0.00700 | 0.00741 | 0.00714      | 0.72 | 0.0051388  | 0.00012636 | 0.126  |
| 0.284   | 19.67        | 0.5       | 0.025     | 0.00700   | 0.00700 | 0.00742 | 0.00714      | 0.72 | 0.00514116 | 0.00013071 | 0.131  |
| 0.284   | 19.00        | 0.5       | 0.026     | 0.00700   | 0.00700 | 0.00742 | 0.00714      | 0.72 | 0.00514116 | 0.00013529 | 0.135  |
| 0.301   | 18.67        | 0.5       | 0.027     | 0.00752   | 0.00752 | 0.00752 | 0.00752      | 0.72 | 0.00541611 | 0.00014507 | 0.145  |
| 0.331   | 18.00        | 0.5       | 0.028     | 0.00823   | 0.00823 | 0.00811 | 0.00819      | 0.72 | 0.00589953 | 0.00016388 | 0.164  |
| 0.389   | 17.97        | 0.5       | 0.028     | 0.00961   | 0.00961 | 0.00926 | 0.00949      | 0.72 | 0.00683412 | 0.00019019 | 0.190  |
| 0.447   | 17.93        | 0.5       | 0.028     | 0.01064   | 0.01064 | 0.01064 | 0.01064      | 0.72 | 0.00766189 | 0.00021362 | 0.214  |
| 0.475   | 17.83        | 0.5       | 0.028     | 0.01152   | 0.01152 | 0.01152 | 0.01152      | 0.72 | 0.00829585 | 0.00023259 | 0.233  |
| 0.510   | 17.70        | 0.5       | 0.028     | 0.01860   | 0.01860 | 0.01860 | 0.01860      | 0.72 | 0.01339472 | 0.00037838 | 0.378  |
| 0.529   | 17.67        | 0.5       | 0.028     | 0.01920   | 0.01920 | 0.01920 | 0.01920      | 0.72 | 0.01382491 | 0.00039127 | 0.391  |
| 0.531   | 17.67        | 0.5       | 0.028     | 0.01926   | 0.01926 | 0.01926 | 0.01926      | 0.72 | 0.01387019 | 0.00039255 | 0.393  |



Figura 39. Agua a través de enrocado



Figura 40.. Aforo por método de flotador con ayuda de pequeña esponja

#### E. Caudal de salida por bocal

En este caso al no presentar el bocal abierto, el caudal de salida por el bocal es igual a cero.

#### Ensayo con bocal

##### A) Geometría

Este ensayo se realizó con un barraje fijo – fusible al 10 %, es decir la apertura del barrage es un 10% de la medida total a cada lado, para este ensayo si se tiene apertura de bocal.

Con esto obtuvimos los siguientes valores en cuanto a la geometría del modelo:

Tabla 25. Datos geométricos para la construcción del modelo con un barraje fijo – fusible al 10 %, con bocal abierto.

| DATOS MODELO                        |          |          |
|-------------------------------------|----------|----------|
| Dato para construcción del modelo   | Magnitud | Unidad   |
| Longitud del barrage                | 0.72     | m        |
| Altura del barrage                  | 0.088    | m        |
| Talud aguas abajo del barrage (V:H) | 01:02    | No tiene |
| Ancho de corona del barrage         | 0.0288   | m        |
| Ancho de abertura 10%               | 0.072    | m        |

|                              |        |          |
|------------------------------|--------|----------|
| ancho corona barrage fusible | 0.0288 | m        |
| talud barrage fusible        | 01:02  | No tiene |
| Alto de bocal                | 0.015  | m        |
| Longitud de Bocal            | 0.02   | m        |
| Distancia de Barrage a Bocal | 0.03   | m        |

## B) Ensayos con caudales

En este ensayo utilizaremos los caudales obtenidos en los aforos del prototipo escalados 1/25,

los cuales son:

Tabla 22. Datos de caudal del Modelo en l/s

| Caudal de prototipo               | PROF MEDIA Prot. | ANCHO ESPEJO Prot. | Caudal modelo     | Caudal de modelo |
|-----------------------------------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | (m)              | (m)                | m <sup>3</sup> /s | l/s              |
| 0.38                              | 0.1288           | 6.11               | 0.00012           | 0.12             |
| 0.32                              | 0.1272           | 6.11               | 0.000103          | 0.103            |
| 0.32                              | 0.1582           | 6.11               | 0.000104          | 0.104            |
| 0.52                              | 0.196            | 6.11               | 0.000167          | 0.167            |
| 0.56                              | 0.2131           | 6.11               | 0.000178          | 0.178            |
| 0.69                              | 0.216            | 6.11               | 0.00022           | 0.22             |
| 0.72                              | 0.2483           | 6.11               | 0.000232          | 0.232            |
| 0.83                              | 0.2698           | 6.11               | 0.000266          | 0.266            |
| 0.85                              | 0.2345           | 6.11               | 0.000271          | 0.271            |
| 0.88                              | 0.2452           | 6.11               | 0.000282          | 0.282            |
| 0.89                              | 0.2629           | 6.11               | 0.000284          | 0.284            |
| 0.89                              | 0.2643           | 6.11               | 0.000284          | 0.284            |
| 0.94                              | 0.2719           | 6.11               | 0.000301          | 0.301            |
| 1.03                              | 0.2824           | 6.11               | 0.000331          | 0.331            |
| 1.21                              | 0.299            | 6.11               | 0.000389          | 0.389            |
| 1.4                               | 0.3333           | 6.11               | 0.000447          | 0.447            |
| 1.48                              | 0.351            | 6.11               | 0.000475          | 0.475            |
| 1.59                              | 0.369            | 6.11               | 0.00051           | 0.51             |
| 1.65                              | 0.3819           | 6.11               | 0.000529          | 0.529            |
| 1.66                              | 0.3814           | 6.11               | 0.000531          | 0.531            |



Se procedió a calibrar el caudal de entrada al modelo, con ayuda de una llave de paso y ensayos de prueba error para obtener cada uno de los caudales.

### C. Tirantes

Para cada uno de los caudales se tomaron las medidas de los tirantes de agua en 4 puntos diferentes y obtenidos a los 2 min y 5 min donde se presentaba estabilización.

Tabla 26. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 10% y bocal abierto a 2 min.

| ESC: 1/25 | <b>Ensayo con apertura del 10% y bocal abierto</b> |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|-----------|--|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| l/s       | 2 MIN  |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|           | CINTA 1  |      |      | CINTA 2 |      |      | CINTA 3 |      |      | CINTA 4 |      |      |
|           | Izq.   | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. |
| 0.120     | 0.43   | 0.43 | 0.43 | 1.84    | 1.97 | 1.78 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.15    | 0.16 | 0.19 |
| 0.103     | 0.39   | 0.39 | 0.39 | 1.85    | 1.98 | 1.85 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.13    | 0.14 | 0.15 |
| 0.104     | 0.40   | 0.40 | 0.40 | 1.85    | 1.98 | 1.85 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.13    | 0.14 | 0.16 |
| 0.167     | 0.52   | 0.52 | 0.52 | 1.80    | 1.93 | 1.58 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.20    | 0.24 | 0.30 |
| 0.178     | 0.54   | 0.54 | 0.54 | 1.79    | 1.92 | 1.53 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.21    | 0.25 | 0.33 |
| 0.220     | 0.85   | 0.85 | 0.85 | 1.55    | 1.68 | 1.47 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.40    | 0.40 | 0.39 |
| 0.232     | 1.10   | 1.10 | 1.10 | 1.79    | 1.92 | 1.53 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.41    | 0.41 | 0.38 |
| 0.266     | 1.81   | 1.81 | 1.81 | 2.46    | 2.59 | 1.72 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.41    | 0.41 | 0.34 |
| 0.271     | 1.92   | 1.92 | 1.92 | 2.56    | 2.69 | 1.75 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.42    | 0.42 | 0.34 |
| 0.282     | 2.15   | 2.15 | 2.15 | 2.77    | 2.90 | 1.81 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.42    | 0.42 | 0.33 |
| 0.284     | 2.19   | 2.19 | 2.19 | 2.81    | 2.94 | 1.82 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.42    | 0.42 | 0.33 |
| 0.284     | 2.19   | 2.19 | 2.19 | 2.81    | 2.94 | 1.82 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.42    | 0.42 | 0.33 |
| 0.301     | 2.36   | 2.36 | 2.36 | 1.83    | 1.96 | 1.99 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.42    | 0.42 | 0.33 |
| 0.331     | 2.50   | 2.50 | 2.50 | 1.97    | 2.10 | 2.36 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.42    | 0.42 | 0.33 |
| 0.389     | 2.50   | 2.50 | 2.50 | 1.89    | 2.07 | 2.07 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.42    | 0.42 | 0.33 |
| 0.447     | 3.55   | 3.55 | 3.55 | 3.70    | 3.84 | 3.81 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.42    | 0.42 | 0.33 |
| 0.475     | 3.87   | 3.87 | 3.87 | 3.90    | 4.12 | 4.16 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.45    | 0.45 | 0.42 |
| 0.510     | 4.26   | 4.26 | 4.26 | 4.15    | 4.47 | 4.61 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.50    | 0.50 | 0.45 |
| 0.529     | 4.47   | 4.47 | 4.47 | 4.28    | 4.65 | 4.85 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.52    | 0.52 | 0.46 |
| 0.531     | 4.50   | 4.50 | 4.50 | 4.29    | 4.67 | 4.87 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.52    | 0.52 | 0.46 |

Tabla 27. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 10% y bocal abierto a 5 min.

| ESC: 1/25 | <b>Ensayo con apertura del 10% y bocal abierto</b> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

| l/s   | 5 MIN   |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|-------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
|       | CINTA 1 |      |      | CINTA 2 |      |      | CINTA 3 |      |      | CINTA 4 |      |      |
|       | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. |
| 0.120 | 0.96    | 0.96 | 0.96 | 1.23    | 1.45 | 1.40 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.22    | 0.25 | 0.26 |
| 0.103 | 0.89    | 0.89 | 0.89 | 1.16    | 1.34 | 1.29 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.21    | 0.23 | 0.24 |
| 0.104 | 0.89    | 0.89 | 0.89 | 1.16    | 1.35 | 1.30 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.21    | 0.23 | 0.24 |
| 0.167 | 1.14    | 1.14 | 1.14 | 1.41    | 1.74 | 1.69 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.23    | 0.30 | 0.34 |
| 0.178 | 1.18    | 1.18 | 1.18 | 1.45    | 1.81 | 1.76 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.24    | 0.31 | 0.35 |
| 0.220 | 1.52    | 1.52 | 1.52 | 2.05    | 2.23 | 2.13 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.41    | 0.41 | 0.41 |
| 0.232 | 1.74    | 1.74 | 1.74 | 2.22    | 2.46 | 2.30 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.41    | 0.41 | 0.41 |
| 0.266 | 2.37    | 2.37 | 2.37 | 2.72    | 3.10 | 2.80 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.44    | 0.44 | 0.44 |
| 0.271 | 2.46    | 2.46 | 2.46 | 2.80    | 3.20 | 2.88 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.44    | 0.44 | 0.44 |
| 0.282 | 2.66    | 2.66 | 2.66 | 2.96    | 3.41 | 3.04 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.45    | 0.45 | 0.45 |
| 0.284 | 2.70    | 2.70 | 2.70 | 2.99    | 3.45 | 3.07 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.45    | 0.45 | 0.45 |
| 0.284 | 2.70    | 2.70 | 2.70 | 2.99    | 3.45 | 3.07 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.45    | 0.45 | 0.45 |
| 0.301 | 2.89    | 2.89 | 2.89 | 3.18    | 3.25 | 3.25 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.46    | 0.46 | 0.46 |
| 0.331 | 3.13    | 3.13 | 3.13 | 3.48    | 3.38 | 3.50 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.48    | 0.48 | 0.48 |
| 0.389 | 3.03    | 3.03 | 3.03 | 3.29    | 3.45 | 3.45 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.48    | 0.48 | 0.48 |
| 0.447 | 4.46    | 4.46 | 4.46 | 5.03    | 5.16 | 5.13 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.70    | 0.70 | 0.71 |
| 0.475 | 4.83    | 4.83 | 4.83 | 5.38    | 5.56 | 5.60 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.72    | 0.72 | 0.79 |
| 0.510 | 5.30    | 5.30 | 5.30 | 5.83    | 6.05 | 6.19 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.75    | 0.75 | 0.89 |
| 0.529 | 5.56    | 5.56 | 5.56 | 6.07    | 6.32 | 6.51 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.76    | 0.76 | 0.94 |
| 0.531 | 5.58    | 5.58 | 5.58 | 6.09    | 6.35 | 6.55 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.76    | 0.76 | 0.95 |



Figura 41. Medición de tirantes de agua en cintas metálicas en modelo de captación.



Figura 42 Medición de tirantes de agua en cintas metálicas en modelo de captación

A. Caudal de agua filtrada a través de enrocado

Para medir el caudal de agua filtrada a través del enrocado, se procedió a tomar la medida de tirantes aguas abajo del barraje, seguidamente se procedió a tomar la distancia entre secciones medidas, con ello se calcular el área de agua. Se hace el cálculo de la velocidad con ayuda del método de flotador, el cual es aplicable para este tipo de casos en donde el nivel de agua es bajo, el cual tiene por fórmula  $V = d / t$ , donde  $d$  = distancia y  $t$  = tiempo.

Posteriormente se calcular el caudal con la fórmula:  $Q = A \times V$ , donde  $A$ = área y  $V_m$ =Velocidad media

Se tiene un Caudal de agua filtrada a través del enrocado para cada caudal ensayado y para cada tiempo (2.0 min – 5.0 min).

Tabla 28. Aforo de caudales aguas abajo del barrage Fijo-Fusible con apertura de 10% y bocal abierto a los 2 min.

| CAUDAL DE MODELO | AFORO CAUDAL AGUAS ABAJO - 10% DE BARRAGE FUSIBLE CON BOCAL |           |           |           |         |         |              |      |        |          |        |
|------------------|---|-----------|-----------|-----------|---------|---------|--------------|------|--------|----------|--------|
| ESC: 1/25        | 2 MIN   |           |           |           |         |         |              |      |        |          |        |
| l/s              | TIEMPO (s)  | DISTANCIA | Velocidad | TIRANTE   |         |         |              | Long | Area   | Caudal   | Caudal |
|                  | Tiempo prom.  | m         | m/s       | Izquierda | Centro  | Derecha | Tirante Prom | m    | m2     | m3/s     | l/s    |
| 0.120            | 20.67   | 0.5       | 0.024     | 0.00147   | 0.00162 | 0.00193 | 0.00167      | 0.72 | 0.0012 | 2.91E-05 | 0.029  |
| 0.103            | 19.17   | 0.5       | 0.026     | 0.00127   | 0.00135 | 0.00153 | 0.00138      | 0.72 | 0.0010 | 2.60E-05 | 0.026  |
| 0.104            | 18.00   | 0.5       | 0.028     | 0.00128   | 0.00137 | 0.00155 | 0.00140      | 0.72 | 0.0010 | 2.80E-05 | 0.028  |
| 0.167            | 18.00   | 0.5       | 0.028     | 0.00202   | 0.00236 | 0.00303 | 0.00247      | 0.72 | 0.0018 | 4.94E-05 | 0.049  |
| 0.178            | 17.83   | 0.5       | 0.028     | 0.00215   | 0.00253 | 0.00329 | 0.00266      | 0.72 | 0.0019 | 5.36E-05 | 0.054  |
| 0.220            | 17.67   | 0.5       | 0.028     | 0.00403   | 0.00403 | 0.00388 | 0.00398      | 0.72 | 0.0029 | 8.11E-05 | 0.081  |
| 0.232            | 17.33   | 0.5       | 0.029     | 0.00406   | 0.00406 | 0.00376 | 0.00396      | 0.72 | 0.0029 | 8.23E-05 | 0.082  |
| 0.266            | 17.17   | 0.5       | 0.029     | 0.00414   | 0.00414 | 0.00343 | 0.00391      | 0.72 | 0.0028 | 8.19E-05 | 0.082  |
| 0.271            | 17.00   | 0.5       | 0.029     | 0.00415   | 0.00415 | 0.00338 | 0.00390      | 0.72 | 0.0028 | 8.25E-05 | 0.083  |
| 0.282            | 16.93   | 0.5       | 0.030     | 0.00418   | 0.00418 | 0.00327 | 0.00388      | 0.72 | 0.0028 | 8.25E-05 | 0.082  |
| 0.284            | 16.77   | 0.5       | 0.030     | 0.00419   | 0.00419 | 0.00325 | 0.00388      | 0.72 | 0.0028 | 8.32E-05 | 0.083  |
| 0.284            | 16.67   | 0.5       | 0.030     | 0.00419   | 0.00419 | 0.00325 | 0.00388      | 0.72 | 0.0028 | 8.37E-05 | 0.084  |
| 0.301            | 16.60   | 0.5       | 0.030     | 0.00419   | 0.00419 | 0.00325 | 0.00388      | 0.72 | 0.0028 | 8.40E-05 | 0.084  |
| 0.331            | 16.43   | 0.5       | 0.030     | 0.00419   | 0.00419 | 0.00325 | 0.00388      | 0.72 | 0.0028 | 8.49E-05 | 0.085  |
| 0.389            | 16.33   | 0.5       | 0.031     | 0.00419   | 0.00419 | 0.00325 | 0.00388      | 0.72 | 0.0028 | 8.54E-05 | 0.085  |
| 0.447            | 16.27   | 0.5       | 0.031     | 0.00419   | 0.00419 | 0.00325 | 0.00388      | 0.72 | 0.0028 | 8.58E-05 | 0.086  |
| 0.475            | 16.17   | 0.5       | 0.031     | 0.00446   | 0.00446 | 0.00423 | 0.00438      | 0.72 | 0.0032 | 9.76E-05 | 0.098  |
| 0.510            | 16.10   | 0.5       | 0.031     | 0.00495   | 0.00495 | 0.00448 | 0.00479      | 0.72 | 0.0035 | 1.07E-04 | 0.107  |
| 0.529            | 16.00   | 0.5       | 0.031     | 0.00522   | 0.00522 | 0.00461 | 0.00502      | 0.72 | 0.0036 | 1.13E-04 | 0.113  |
| 0.531            | 15.97   | 0.5       | 0.031     | 0.00525   | 0.00525 | 0.00462 | 0.00504      | 0.72 | 0.0036 | 1.14E-04 | 0.114  |

Tabla 29. Aforo de caudales aguas abajo del barrage Fijo-Fusible con apertura de 10% y bocal abierto a los 5 min.

| CAUDAL DE MODELO | AFORO CAUDAL AGUAS ABAJO - 10% DE BARRAGE FUSIBLE CON BOCAL |           |           |           |         |         |              |      |         |          |        |
|------------------|---|-----------|-----------|-----------|---------|---------|--------------|------|---------|----------|--------|
| ESC: 1/25        | 5 MIN   |           |           |           |         |         |              |      |         |          |        |
| l/s              | TIEMPO (s)  | DISTANCIA | Velocidad | TIRANTE   |         |         |              | Long | Area    | Caudal   | Caudal |
|                  | Tiempo prom.  | m         | m/s       | Izquierda | Centro  | Derecha | Tirante Prom | m    | m2      | m3/s     | l/s    |
| 0.120            | 19.67   | 0.5       | 0.025     | 0.00216   | 0.00247 | 0.00262 | 0.00241      | 0.72 | 0.00174 | 4.42E-05 | 0.044  |
| 0.103            | 19.83   | 0.5       | 0.025     | 0.00209   | 0.00227 | 0.00235 | 0.00224      | 0.72 | 0.00161 | 4.06E-05 | 0.041  |
| 0.104            | 18.50   | 0.5       | 0.027     | 0.00209   | 0.00228 | 0.00237 | 0.00225      | 0.72 | 0.00162 | 4.37E-05 | 0.044  |
| 0.167            | 18.33   | 0.5       | 0.027     | 0.00234   | 0.00302 | 0.00336 | 0.00290      | 0.72 | 0.00209 | 5.70E-05 | 0.057  |
| 0.178            | 18.17   | 0.5       | 0.028     | 0.00238   | 0.00315 | 0.00353 | 0.00302      | 0.72 | 0.00217 | 5.98E-05 | 0.060  |
| 0.220            | 18.00   | 0.5       | 0.028     | 0.00407   | 0.00407 | 0.00407 | 0.00407      | 0.72 | 0.00293 | 8.15E-05 | 0.081  |
| 0.232            | 17.50   | 0.5       | 0.029     | 0.00415   | 0.00415 | 0.00415 | 0.00415      | 0.72 | 0.00299 | 8.53E-05 | 0.085  |
| 0.266            | 17.33   | 0.5       | 0.029     | 0.00436   | 0.00436 | 0.00436 | 0.00436      | 0.72 | 0.00314 | 9.05E-05 | 0.090  |
| 0.271            | 17.27   | 0.5       | 0.029     | 0.00439   | 0.00439 | 0.00439 | 0.00439      | 0.72 | 0.00316 | 9.15E-05 | 0.091  |
| 0.282            | 17.20   | 0.5       | 0.029     | 0.00445   | 0.00445 | 0.00445 | 0.00445      | 0.72 | 0.00321 | 9.32E-05 | 0.093  |
| 0.284            | 17.17   | 0.5       | 0.029     | 0.00447   | 0.00447 | 0.00447 | 0.00447      | 0.72 | 0.00322 | 9.37E-05 | 0.094  |
| 0.284            | 17.17   | 0.5       | 0.029     | 0.00447   | 0.00447 | 0.00447 | 0.00447      | 0.72 | 0.00322 | 9.37E-05 | 0.094  |
| 0.301            | 17.07   | 0.5       | 0.029     | 0.00457   | 0.00457 | 0.00457 | 0.00457      | 0.72 | 0.00329 | 9.64E-05 | 0.096  |
| 0.331            | 17.03   | 0.5       | 0.029     | 0.00475   | 0.00475 | 0.00475 | 0.00475      | 0.72 | 0.00342 | 1.00E-04 | 0.100  |
| 0.389            | 17.00   | 0.5       | 0.029     | 0.00475   | 0.00475 | 0.00475 | 0.00475      | 0.72 | 0.00342 | 1.01E-04 | 0.101  |
| 0.447            | 16.83   | 0.5       | 0.030     | 0.00703   | 0.00703 | 0.00713 | 0.00706      | 0.72 | 0.00509 | 1.51E-04 | 0.151  |
| 0.475            | 16.20   | 0.5       | 0.031     | 0.00723   | 0.00723 | 0.00792 | 0.00746      | 0.72 | 0.00537 | 1.66E-04 | 0.166  |
| 0.510            | 16.13   | 0.5       | 0.031     | 0.00748   | 0.00748 | 0.00890 | 0.00795      | 0.72 | 0.00572 | 1.77E-04 | 0.177  |
| 0.529            | 16.07   | 0.5       | 0.031     | 0.00761   | 0.00761 | 0.00944 | 0.00822      | 0.72 | 0.00592 | 1.84E-04 | 0.184  |
| 0.531            | 16.00   | 0.5       | 0.031     | 0.00762   | 0.00762 | 0.00949 | 0.00825      | 0.72 | 0.00594 | 1.86E-04 | 0.186  |

### B. Caudal de salida por bocal

Para calcular el caudal de salida por el bocal se utilizó el método volumétrico, el cual consiste en calcular el tiempo en que tarda en llenarse una probeta de 500ml. Luego el caudal será calculado con la fórmula:  $Q = V/t$ , donde  $V$  = volumen y  $t$  = tiempo.

Tabla 30. Caudal de salida por bocal para ensayo al 10 % de apertura de barrage fusible.

| CAUDAL DE MODELO | AFORO CAUDAL BOCAL - 10% DE BARRAGE FUSIBLE |         |        | AFORO CAUDAL BOCAL - 10% DE BARRAGE FUSIBLE |         |        |
|------------------|---|---------|--------|---|---------|--------|
|                  | 2 min                                       |         |        | 5 min                                       |         |        |
| ESC: 1/25        | TIEMPO (s)                                  | VOLUMEN | CAUDAL | TIEMPO (s)                                  | VOLUMEN | CAUDAL |
| l/s              | Tiempo prom.                                | l       | l/s    | Tiempo prom.                                | l       | l/s    |
| 0.120            | 28.50                                       | 0.5     | 0.0175 | 13.00                                       | 0.5     | 0.0385 |
| 0.103            | 28.97                                       | 0.5     | 0.0173 | 14.67                                       | 0.5     | 0.0341 |
| 0.104            | 27.33                                       | 0.5     | 0.0183 | 13.67                                       | 0.5     | 0.0366 |
| 0.167            | 26.67                                       | 0.5     | 0.0188 | 13.33                                       | 0.5     | 0.0375 |
| 0.178            | 24.67                                       | 0.5     | 0.0203 | 12.67                                       | 0.5     | 0.0395 |
| 0.220            | 21.85                                       | 0.5     | 0.0229 | 12.33                                       | 0.5     | 0.0405 |
| 0.232            | 19.07                                       | 0.5     | 0.0262 | 12.00                                       | 0.5     | 0.0417 |
| 0.266            | 16.83                                       | 0.5     | 0.0297 | 11.67                                       | 0.5     | 0.0429 |
| 0.271            | 15.10                                       | 0.5     | 0.0331 | 9.70  | 0.5     | 0.0515 |
| 0.282            | 14.70                                       | 0.5     | 0.0340 | 7.70  | 0.5     | 0.0649 |
| 0.284            | 13.10                                       | 0.5     | 0.0382 | 6.17  | 0.5     | 0.0811 |
| 0.284            | 12.20                                       | 0.5     | 0.0410 | 5.77  | 0.5     | 0.0867 |
| 0.301            | 11.48                                       | 0.5     | 0.0436 | 5.57  | 0.5     | 0.0898 |
| 0.331            | 10.03                                       | 0.5     | 0.0498 | 5.37  | 0.5     | 0.0932 |
| 0.389            | 9.27  | 0.5     | 0.0540 | 5.17  | 0.5     | 0.0968 |
| 0.447            | 8.17  | 0.5     | 0.0612 | 4.99  | 0.5     | 0.1001 |
| 0.475            | 6.53  | 0.5     | 0.0765 | 4.67  | 0.5     | 0.1071 |
| 0.510            | 5.27  | 0.5     | 0.0949 | 4.27  | 0.5     | 0.1172 |
| 0.529            | 4.70  | 0.5     | 0.1064 | 3.90  | 0.5     | 0.1282 |
| 0.531            | 4.53  | 0.5     | 0.1103 | 3.50  | 0.5     | 0.1429 |



Figura 43. Aforo de bocal de modelo de captación con apertura de barrage al 10%

#### 4.9.2 Ensayo con apertura del 20%

##### Ensayo sin bocal

##### A) Geometría

Este ensayo se realizó con un barrage fijo – fusible al 20 %, es decir la apertura del barrage es un 20% de la medida total a cada lado, para este ensayo no se tiene apertura de bocal.

Con esto obtuvimos los siguientes valores en cuanto a la geometría del modelo:

Tabla 31. Datos geométricos para la construcción del modelo con un barrage fijo – fusible al 20 %, con bocal cerrado

| DATOS MODELO                        |          |          |
|-------------------------------------|----------|----------|
| Dato para construcción del modelo   | Magnitud | Unidad   |
| Longitud del barrage                | 0.72     | m        |
| Altura del barrage                  | 0.088    | m        |
| Talud aguas abajo del barrage (V:H) | 01:02    | No tiene |
| Ancho de corona del barrage         | 0.0288   | m        |



|                                   |        |          |
|-----------------------------------|--------|----------|
| Ancho de abertura a cada lado 20% | 0.144  | m        |
| ancho corona barrage fusible      | 0.0288 | m        |
| Talud barrage fusible             | 01:02  | No tiene |
| Ancho de Bocal                    | 0      | m        |
| Longitud de bocal                 | 0      | m        |



Figura 44. Construcción de barrage Fijo con apertura del 20% a cada lado, más barrage fusible de enrocado

#### B) Ensayos con caudales

En este ensayo utilizaremos los caudales obtenidos en los aforos del prototipo escalados 1/25, los cuales son:

Tabla 22. Datos de Caudal de modelo en l/s.

| Caudal de prototipo               | PROF MEDIA Prot. | ANCHO ESPEJO Prot. | Caudal modelo     | Caudal de modelo |
|-----------------------------------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | (m)              | (m)                | m <sup>3</sup> /s | l/s              |
| 0.38                              | 0.1288           | 6.11               | 0.00012           | 0.12             |
| 0.32                              | 0.1272           | 6.11               | 0.000103          | 0.103            |
| 0.32                              | 0.1582           | 6.11               | 0.000104          | 0.104            |
| 0.52                              | 0.196            | 6.11               | 0.000167          | 0.167            |
| 0.56                              | 0.2131           | 6.11               | 0.000178          | 0.178            |

|      |        |      |          |       |
|------|--------|------|----------|-------|
| 0.69 | 0.216  | 6.11 | 0.00022  | 0.22  |
| 0.72 | 0.2483 | 6.11 | 0.000232 | 0.232 |
| 0.83 | 0.2698 | 6.11 | 0.000266 | 0.266 |
| 0.85 | 0.2345 | 6.11 | 0.000271 | 0.271 |
| 0.88 | 0.2452 | 6.11 | 0.000282 | 0.282 |
| 0.89 | 0.2629 | 6.11 | 0.000284 | 0.284 |
| 0.89 | 0.2643 | 6.11 | 0.000284 | 0.284 |
| 0.94 | 0.2719 | 6.11 | 0.000301 | 0.301 |
| 1.03 | 0.2824 | 6.11 | 0.000331 | 0.331 |
| 1.21 | 0.299  | 6.11 | 0.000389 | 0.389 |
| 1.4  | 0.3333 | 6.11 | 0.000447 | 0.447 |
| 1.48 | 0.351  | 6.11 | 0.000475 | 0.475 |
| 1.59 | 0.369  | 6.11 | 0.00051  | 0.51  |
| 1.65 | 0.3819 | 6.11 | 0.000529 | 0.529 |
| 1.66 | 0.3814 | 6.11 | 0.000531 | 0.531 |

Se procedió a calibrar el caudal de entrada al modelo, con ayuda de una llave de paso y ensayos de prueba error para obtener cada uno de los caudales.

### C. Tirantes

Para cada uno de los caudales se tomaron las medidas de los tirantes de agua en 4 puntos diferentes y obtenidos a los 2 min y 5 min donde se presentaba estabilización.

Tabla 32. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 20% y bocal cerrado a 2 min.

| ESC: 1/25 | Ensayo con apertura del 20% y bocal cerrado |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|-----------|---|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| l/s       | 2 MIN                                       |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|           | CINTA 1                                     |      |      | CINTA 2 |      |      | CINTA 3 |      |      | CINTA 4 |      |      |
|           | Izq.  | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. |
| 0.120     | 0.46  | 0.46 | 0.46 | 0.44    | 0.79 | 0.64 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.25    | 0.25 | 0.26 |
| 0.103     | 0.18  | 0.18 | 0.18 | 0.04    | 0.22 | 0.14 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.17    | 0.17 | 0.18 |
| 0.104     | 0.20  | 0.20 | 0.20 | 0.06    | 0.25 | 0.17 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.18    | 0.18 | 0.18 |
| 0.167     | 1.23  | 1.23 | 1.23 | 1.55    | 2.38 | 2.01 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.47    | 0.47 | 0.50 |
| 0.178     | 1.41  | 1.41 | 1.41 | 1.80    | 2.75 | 2.34 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.52    | 0.52 | 0.56 |
| 0.220     | 1.75  | 1.75 | 1.75 | 2.94    | 2.92 | 2.83 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.67    | 0.63 | 0.57 |
| 0.232     | 1.77  | 1.77 | 1.77 | 3.02    | 2.94 | 2.81 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.69    | 0.61 | 0.52 |
| 0.266     | 1.84  | 1.84 | 1.84 | 3.26    | 2.97 | 2.78 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.72    | 0.58 | 0.41 |



|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.271 | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 3.29 | 2.97 | 2.78 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.72 | 0.58 | 0.39 |
| 0.282 | 1.87 | 1.87 | 1.87 | 3.37 | 2.99 | 2.76 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.74 | 0.56 | 0.35 |
| 0.284 | 1.87 | 1.87 | 1.87 | 3.38 | 2.99 | 2.76 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.74 | 0.56 | 0.34 |
| 0.284 | 1.87 | 1.87 | 1.87 | 3.38 | 2.99 | 2.76 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.74 | 0.56 | 0.34 |
| 0.301 | 1.93 | 1.90 | 1.90 | 2.67 | 2.81 | 2.78 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.74 | 0.56 | 0.34 |
| 0.331 | 2.13 | 1.93 | 1.93 | 2.70 | 2.92 | 2.98 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.74 | 0.56 | 0.34 |
| 0.389 | 2.52 | 1.99 | 1.99 | 2.76 | 3.14 | 3.37 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.74 | 0.56 | 0.34 |
| 0.447 | 2.92 | 2.05 | 2.05 | 2.82 | 3.35 | 3.77 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.76 | 0.54 | 0.46 |
| 0.475 | 3.11 | 2.08 | 2.08 | 2.85 | 3.45 | 3.96 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.78 | 0.56 | 0.49 |
| 0.510 | 3.35 | 2.11 | 2.11 | 2.88 | 3.58 | 4.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.79 | 0.58 | 0.52 |
| 0.529 | 3.47 | 2.13 | 2.13 | 2.90 | 3.65 | 4.32 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.80 | 0.59 | 0.54 |
| 0.531 | 3.49 | 2.13 | 2.13 | 2.90 | 3.65 | 4.34 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.84 | 0.62 | 0.54 |

Tabla 33. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 20% y bocal cerrado a 5 min.

| ESC: 1/25 | Ensayo con apertura del 20% y bocal cerrado |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|-----------|---|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| l/s       | 5 MIN                                       |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|           | CINTA 1                                     |      |      | CINTA 2 |      |      | CINTA 3 |      |      | CINTA 4 |      |      |
|           | Izq.  | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. |
| 0.120     | 1.51  | 1.51 | 1.51 | 2.43    | 2.63 | 2.43 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.62    | 0.62 | 0.62 |
| 0.103     | 1.88  | 1.27 | 1.27 | 2.23    | 2.37 | 2.29 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.61    | 0.61 | 0.61 |
| 0.104     | 1.90  | 1.28 | 1.28 | 2.24    | 2.39 | 2.30 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.61    | 0.61 | 0.61 |
| 0.167     | 2.93  | 2.19 | 2.19 | 2.98    | 3.32 | 2.82 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.67    | 0.67 | 0.67 |
| 0.178     | 3.11  | 2.35 | 2.35 | 3.11    | 3.49 | 2.91 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.68    | 0.68 | 0.68 |
| 0.220     | 2.65  | 2.70 | 2.70 | 2.97    | 3.05 | 3.12 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.72    | 0.72 | 0.72 |
| 0.232     | 2.67  | 2.74 | 2.74 | 2.97    | 3.03 | 3.16 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.74    | 0.74 | 0.74 |
| 0.266     | 2.74  | 2.88 | 2.88 | 2.97    | 2.96 | 3.26 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.77    | 0.77 | 0.77 |
| 0.271     | 2.75  | 2.90 | 2.90 | 2.97    | 2.95 | 3.27 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.77    | 0.77 | 0.77 |
| 0.282     | 2.77  | 2.94 | 2.94 | 2.97    | 2.93 | 3.31 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.79    | 0.79 | 0.79 |
| 0.284     | 2.77  | 2.95 | 2.95 | 2.97    | 2.93 | 3.31 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.79    | 0.79 | 0.79 |
| 0.284     | 2.77  | 2.95 | 2.95 | 2.97    | 2.93 | 3.31 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.79    | 0.79 | 0.79 |
| 0.301     | 2.93  | 3.03 | 3.03 | 3.29    | 3.42 | 3.38 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.80    | 0.80 | 0.80 |
| 0.331     | 3.13  | 3.21 | 3.21 | 3.47    | 3.60 | 3.56 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.82    | 0.82 | 0.82 |
| 0.389     | 3.52  | 3.58 | 3.58 | 3.80    | 3.93 | 3.93 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.85    | 0.85 | 0.85 |
| 0.447     | 3.92  | 3.94 | 3.94 | 4.13    | 4.26 | 4.29 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.88    | 0.88 | 0.88 |
| 0.475     | 4.11  | 4.11 | 4.11 | 4.29    | 4.42 | 4.46 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.89    | 0.89 | 0.89 |
| 0.510     | 4.35  | 4.33 | 4.33 | 4.49    | 4.62 | 4.68 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.91    | 0.91 | 0.91 |
| 0.529     | 4.47  | 4.45 | 4.45 | 4.60    | 4.73 | 4.80 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.92    | 0.92 | 0.92 |
| 0.531     | 4.49  | 4.47 | 4.47 | 4.61    | 4.74 | 4.82 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.92    | 0.92 | 0.92 |



Figura 45. Toma de medidas de tirantes de agua en cada cinta con apertura de barrage al 20%

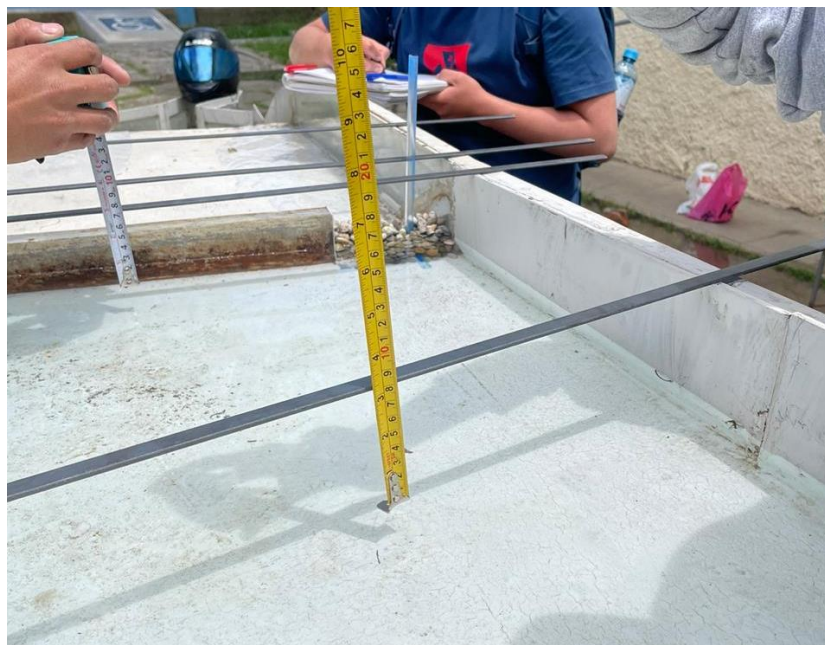


Figura 46. Toma de medidas de tirantes de agua en cada cinta con apertura de barrage al 20%

#### F. Caudal de agua filtrada a través de enrocado

Para medir el caudal de agua filtrada a través del enrocado, se procedió a tomar la medida de tirantes aguas abajo del barraje, seguidamente se procedió a tomar la distancia entre secciones medidas, con ello se calcular el área de agua. Se hace el cálculo de la velocidad con ayuda del método de flotador, el cual es aplicable para este tipo de casos en donde el nivel de agua es bajo, el cual tiene por fórmula  $V = d / t$ , donde  $d =$  distancia y  $t =$  tiempo.

Posteriormente se calcular el caudal con la fórmula:  $Q = A \times V$ , donde  $A =$  área y  $V_m =$  Velocidad media

Se tiene un Caudal de agua filtrada a través del enrocado para cada caudal ensayado y para cada tiempo (2.0 min – 5.0 min).

Tabla 34. Aforo de caudales aguas abajo del barraje Fijo-Fusible con apertura de 20% y bocal cerrado a los 2 min.

| CAUDAL DE MODELO | AFORO CAUDAL AGUAS ABAJO - 20% DE BARRAGE FUSIBLE SIN BOCAL |           |           |           |         |         |              |      |                |                   |        |
|------------------|---|-----------|-----------|-----------|---------|---------|--------------|------|----------------|-------------------|--------|
|                  | 2 MIN   |           |           |           |         |         |              |      |                |                   |        |
| ESC: 1/25        | TIEMPO (s)  | DISTANCIA | Velocidad | TIRANTE   |         |         |              | Long | Area           | Caudal            | Caudal |
| I/s              | Tiempo prom.  | m         | m/s       | Izquierda | Centro  | Derecha | Tirante Prom | m    | m <sup>2</sup> | m <sup>3</sup> /s | I/s    |
| 0.120            | 20.67   | 0.5       | 0.024     | 0.00251   | 0.00251 | 0.00262 | 0.00255      | 0.72 | 0.00184        | 4.44E-05          | 0.044  |
| 0.103            | 19.17   | 0.5       | 0.026     | 0.00173   | 0.00173 | 0.00175 | 0.00174      | 0.72 | 0.00125        | 3.26E-05          | 0.033  |
| 0.104            | 18.33   | 0.5       | 0.027     | 0.00177   | 0.00177 | 0.00180 | 0.00178      | 0.72 | 0.00128        | 3.50E-05          | 0.035  |
| 0.167            | 18.00   | 0.5       | 0.028     | 0.00468   | 0.00468 | 0.00503 | 0.00480      | 0.72 | 0.00345        | 9.60E-05          | 0.096  |
| 0.178            | 17.83   | 0.5       | 0.028     | 0.00519   | 0.00519 | 0.00560 | 0.00532      | 0.72 | 0.00383        | 1.07E-04          | 0.107  |
| 0.220            | 17.67   | 0.5       | 0.028     | 0.00674   | 0.00626 | 0.00566 | 0.00622      | 0.72 | 0.00448        | 1.27E-04          | 0.127  |
| 0.232            | 17.33   | 0.5       | 0.029     | 0.00686   | 0.00614 | 0.00524 | 0.00608      | 0.72 | 0.00438        | 1.26E-04          | 0.126  |
| 0.266            | 17.17   | 0.5       | 0.029     | 0.00719   | 0.00581 | 0.00407 | 0.00569      | 0.72 | 0.00410        | 1.19E-04          | 0.119  |
| 0.271            | 17.00   | 0.5       | 0.029     | 0.00724   | 0.00576 | 0.00390 | 0.00563      | 0.72 | 0.00405        | 1.19E-04          | 0.119  |
| 0.282            | 16.87   | 0.5       | 0.030     | 0.00735   | 0.00565 | 0.00352 | 0.00551      | 0.72 | 0.00396        | 1.17E-04          | 0.117  |
| 0.284            | 16.67   | 0.5       | 0.030     | 0.00737   | 0.00563 | 0.00345 | 0.00548      | 0.72 | 0.00395        | 1.18E-04          | 0.118  |
| 0.284            | 16.50   | 0.5       | 0.030     | 0.00737   | 0.00563 | 0.00345 | 0.00548      | 0.72 | 0.00395        | 1.20E-04          | 0.120  |
| 0.301            | 16.33   | 0.5       | 0.031     | 0.00737   | 0.00563 | 0.00345 | 0.00548      | 0.72 | 0.00395        | 1.21E-04          | 0.121  |
| 0.331            | 16.17   | 0.5       | 0.031     | 0.00737   | 0.00563 | 0.00345 | 0.00548      | 0.72 | 0.00395        | 1.22E-04          | 0.122  |
| 0.389            | 16.00   | 0.5       | 0.031     | 0.00737   | 0.00563 | 0.00345 | 0.00548      | 0.72 | 0.00395        | 1.23E-04          | 0.123  |
| 0.447            | 15.33   | 0.5       | 0.033     | 0.00760   | 0.00540 | 0.00460 | 0.00587      | 0.72 | 0.00422        | 1.38E-04          | 0.138  |
| 0.475            | 15.30   | 0.5       | 0.033     | 0.00780   | 0.00560 | 0.00486 | 0.00609      | 0.72 | 0.00438        | 1.43E-04          | 0.143  |
| 0.510            | 15.23   | 0.5       | 0.033     | 0.00790   | 0.00580 | 0.00522 | 0.00631      | 0.72 | 0.00454        | 1.49E-04          | 0.149  |
| 0.529            | 15.20   | 0.5       | 0.033     | 0.00800   | 0.00590 | 0.00542 | 0.00644      | 0.72 | 0.00464        | 1.53E-04          | 0.153  |
| 0.531            | 15.17   | 0.5       | 0.033     | 0.00840   | 0.00620 | 0.00544 | 0.00668      | 0.72 | 0.00481        | 1.59E-04          | 0.159  |

Tabla 35. Aforo de caudales aguas abajo del barraje Fijo-Fusible con apertura de 20% y bocal cerrado a los 5 min.

| CAUDAL DE MODELO | AFORO CAUDAL AGUAS ABAJO - 20% DE BARRAGE FUSIBLE SIN BOCAL |           |           |           |         |         |              |      |         |          |        |
|------------------|---|-----------|-----------|-----------|---------|---------|--------------|------|---------|----------|--------|
| ESC: 1/25        | 5 MIN   |           |           |           |         |         |              |      |         |          |        |
| l/s              | TIEMPO (s)  | DISTANCIA | Velocidad | TIRANTE   |         |         |              | Long | Area    | Caudal   | Caudal |
|                  | Tiempo prom.  | m         | m/s       | Izquierda | Centro  | Derecha | Tirante Prom | m    | m2      | m3/s     | l/s    |
| 0.120            | 17.33   | 0.5       | 0.029     | 0.00622   | 0.00622 | 0.00622 | 0.00622      | 0.72 | 0.00448 | 0.000129 | 0.129  |
| 0.103            | 17.50   | 0.5       | 0.029     | 0.00605   | 0.00605 | 0.00605 | 0.00605      | 0.72 | 0.00436 | 0.000124 | 0.124  |
| 0.104            | 16.17   | 0.5       | 0.031     | 0.00606   | 0.00606 | 0.00606 | 0.00606      | 0.72 | 0.00436 | 0.000135 | 0.135  |
| 0.167            | 16.00   | 0.5       | 0.031     | 0.00671   | 0.00671 | 0.00671 | 0.00671      | 0.72 | 0.00483 | 0.000151 | 0.151  |
| 0.178            | 15.83   | 0.5       | 0.032     | 0.00682   | 0.00682 | 0.00682 | 0.00682      | 0.72 | 0.00491 | 0.000155 | 0.155  |
| 0.220            | 15.67   | 0.5       | 0.032     | 0.00724   | 0.00724 | 0.00724 | 0.00724      | 0.72 | 0.00521 | 0.000166 | 0.166  |
| 0.232            | 15.17   | 0.5       | 0.033     | 0.00736   | 0.00736 | 0.00736 | 0.00736      | 0.72 | 0.00530 | 0.000175 | 0.175  |
| 0.266            | 15.00   | 0.5       | 0.033     | 0.00769   | 0.00769 | 0.00769 | 0.00769      | 0.72 | 0.00554 | 0.000185 | 0.185  |
| 0.271            | 14.93   | 0.5       | 0.033     | 0.00774   | 0.00774 | 0.00774 | 0.00774      | 0.72 | 0.00558 | 0.000187 | 0.187  |
| 0.282            | 14.87   | 0.5       | 0.034     | 0.00785   | 0.00785 | 0.00785 | 0.00785      | 0.72 | 0.00565 | 0.000190 | 0.190  |
| 0.284            | 14.83   | 0.5       | 0.034     | 0.00787   | 0.00787 | 0.00787 | 0.00787      | 0.72 | 0.00567 | 0.000191 | 0.191  |
| 0.284            | 14.83   | 0.5       | 0.034     | 0.00787   | 0.00787 | 0.00787 | 0.00787      | 0.72 | 0.00567 | 0.000191 | 0.191  |
| 0.301            | 14.73   | 0.5       | 0.034     | 0.00802   | 0.00802 | 0.00802 | 0.00802      | 0.72 | 0.00578 | 0.000196 | 0.196  |
| 0.331            | 14.70   | 0.5       | 0.034     | 0.00818   | 0.00818 | 0.00818 | 0.00818      | 0.72 | 0.00589 | 0.000200 | 0.200  |
| 0.389            | 14.67   | 0.5       | 0.034     | 0.00848   | 0.00848 | 0.00848 | 0.00848      | 0.72 | 0.00611 | 0.000208 | 0.208  |
| 0.447            | 14.50   | 0.5       | 0.034     | 0.00878   | 0.00878 | 0.00878 | 0.00878      | 0.72 | 0.00632 | 0.000218 | 0.218  |
| 0.475            | 13.87   | 0.5       | 0.036     | 0.00893   | 0.00893 | 0.00893 | 0.00893      | 0.72 | 0.00643 | 0.000232 | 0.232  |
| 0.510            | 13.80   | 0.5       | 0.036     | 0.00911   | 0.00911 | 0.00911 | 0.00911      | 0.72 | 0.00656 | 0.000238 | 0.238  |
| 0.529            | 13.73   | 0.5       | 0.036     | 0.00921   | 0.00921 | 0.00921 | 0.00921      | 0.72 | 0.00663 | 0.000241 | 0.241  |
| 0.531            | 13.67   | 0.5       | 0.037     | 0.00922   | 0.00922 | 0.00922 | 0.00922      | 0.72 | 0.00664 | 0.000243 | 0.243  |

### G. Caudal de salida por bocal

En este caso al no presentar el bocal abierto, el caudal de salida por el bocal es igual a cero.

### Ensayo con bocal

#### A) Geometría

Este ensayo se realizó con un barrage fijo – fusible al 20 %, es decir la apertura del barrage es un 20% de la medida total a cada lado, para este ensayo si se tiene apertura de bocal.

Con esto obtuvimos los siguientes valores en cuanto a la geometría del modelo:

Tabla . Datos geométricos para la construcción del modelo con un barrage fijo – fusible al 20 %, con bocal abierto.

Tabla 36. Datos geométricos para la construcción del modelo con un barrage fijo – fusible al 20 %, con bocal abierto.

| DATOS MODELO                      |          |        |
|-----------------------------------|----------|--------|
| Dato para construcción del modelo | Magnitud | Unidad |
| Longitud del barrage              | 0.72     | m      |
| Altura del barrage                | 0.088    | m      |

|                                     |        |          |
|-------------------------------------|--------|----------|
| Talud aguas abajo del barrage (V:H) | 01:02  | No tiene |
| Ancho de corona del barrage         | 0.0288 | m        |
| Ancho de abertura 20%               | 0.144  | m        |
| ancho corona barrage fusible        | 0.0288 | m        |
| talud barrage fusible               | 01:02  | No tiene |
| Alto de bocal                       | 0.015  | m        |
| Longitud de Bocal                   | 0.02   | m        |
| Distancia de Barrage a Bocal        | 0.03   | m        |

## B) Ensayos con caudales

En este ensayo utilizaremos los caudales obtenidos en los aforos del prototipo escalados 1/25,

los cuales son:

Tabla 22. Caudales para modelo en l/s

| Caudal de prototipo               | PROF MEDIA Prot. | ANCHO ESPEJO Prot. | Caudal modelo     | Caudal de modelo |
|-----------------------------------|------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | (m)              | (m)                | m <sup>3</sup> /s | l/s              |
| 0.38                              | 0.1288           | 6.11               | 0.00012           | 0.12             |
| 0.32                              | 0.1272           | 6.11               | 0.000103          | 0.103            |
| 0.32                              | 0.1582           | 6.11               | 0.000104          | 0.104            |
| 0.52                              | 0.196            | 6.11               | 0.000167          | 0.167            |
| 0.56                              | 0.2131           | 6.11               | 0.000178          | 0.178            |
| 0.69                              | 0.216            | 6.11               | 0.00022           | 0.22             |
| 0.72                              | 0.2483           | 6.11               | 0.000232          | 0.232            |
| 0.83                              | 0.2698           | 6.11               | 0.000266          | 0.266            |
| 0.85                              | 0.2345           | 6.11               | 0.000271          | 0.271            |
| 0.88                              | 0.2452           | 6.11               | 0.000282          | 0.282            |
| 0.89                              | 0.2629           | 6.11               | 0.000284          | 0.284            |
| 0.89                              | 0.2643           | 6.11               | 0.000284          | 0.284            |
| 0.94                              | 0.2719           | 6.11               | 0.000301          | 0.301            |
| 1.03                              | 0.2824           | 6.11               | 0.000331          | 0.331            |
| 1.21                              | 0.299            | 6.11               | 0.000389          | 0.389            |
| 1.4                               | 0.3333           | 6.11               | 0.000447          | 0.447            |
| 1.48                              | 0.351            | 6.11               | 0.000475          | 0.475            |
| 1.59                              | 0.369            | 6.11               | 0.00051           | 0.51             |
| 1.65                              | 0.3819           | 6.11               | 0.000529          | 0.529            |
| 1.66                              | 0.3814           | 6.11               | 0.000531          | 0.531            |

Se procedió a calibrar el caudal de entrada al modelo, con ayuda de una llave de paso y ensayos de prueba error para obtener cada uno de los caudales.

### C. Tirantes

Para cada uno de los caudales se tomaron las medidas de los tirantes de agua en 4 puntos diferentes y obtenidos a los 2 min y 5 min donde se presentaba estabilización.

Tabla 37. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 20% y bocal abierto a 2 min.

| ESC: 1/25 | <b>Ensayo con apertura del 20% y bocal abierto</b> |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|-----------|--|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| l/s       | 2 MIN  |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|           | CINTA 1  |      |      | CINTA 2 |      |      | CINTA 3 |      |      | CINTA 4 |      |      |
|           | Izq.   | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. |
| 0.120     | 1.09   | 1.09 | 1.09 | 1.18    | 1.35 | 1.19 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.22    | 0.29 | 0.22 |
| 0.103     | 0.94   | 0.94 | 0.94 | 1.10    | 1.25 | 1.14 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.19    | 0.24 | 0.19 |
| 0.104     | 0.95   | 0.95 | 0.95 | 1.10    | 1.26 | 1.14 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.19    | 0.24 | 0.19 |
| 0.167     | 1.52   | 1.52 | 1.52 | 1.42    | 1.62 | 1.35 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.30    | 0.45 | 0.30 |
| 0.178     | 1.62   | 1.62 | 1.62 | 1.47    | 1.68 | 1.38 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.32    | 0.48 | 0.32 |
| 0.220     | 1.89   | 1.89 | 1.89 | 1.56    | 1.63 | 1.69 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.38    | 0.37 | 0.37 |
| 0.232     | 1.93   | 1.93 | 1.93 | 1.67    | 1.70 | 1.82 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.40    | 0.38 | 0.38 |
| 0.266     | 2.07   | 2.07 | 2.07 | 1.97    | 1.90 | 2.18 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.45    | 0.42 | 0.42 |
| 0.271     | 2.09   | 2.09 | 2.09 | 2.01    | 1.93 | 2.24 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.46    | 0.42 | 0.42 |
| 0.282     | 2.13   | 2.13 | 2.13 | 2.11    | 1.99 | 2.36 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.47    | 0.43 | 0.43 |
| 0.284     | 2.14   | 2.14 | 2.14 | 2.13    | 2.01 | 2.38 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.48    | 0.43 | 0.43 |
| 0.284     | 2.14   | 2.14 | 2.14 | 2.13    | 2.01 | 2.38 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.48    | 0.43 | 0.43 |
| 0.301     | 2.20   | 2.20 | 2.20 | 2.47    | 2.60 | 2.55 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.48    | 0.43 | 0.43 |
| 0.331     | 2.22   | 2.22 | 2.22 | 2.57    | 2.71 | 2.60 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.48    | 0.43 | 0.43 |
| 0.389     | 2.27   | 2.27 | 2.27 | 2.75    | 2.92 | 2.69 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.48    | 0.43 | 0.43 |
| 0.447     | 2.40   | 2.40 | 2.40 | 2.70    | 2.80 | 2.78 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.48    | 0.43 | 0.43 |
| 0.475     | 2.53   | 2.53 | 2.53 | 2.75    | 2.80 | 2.83 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.49    | 0.49 | 0.49 |
| 0.510     | 3.59   | 3.59 | 3.59 | 3.10    | 2.90 | 3.18 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.67    | 0.67 | 0.67 |
| 0.529     | 3.68   | 3.68 | 3.68 | 3.13    | 2.90 | 3.21 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.68    | 0.68 | 0.68 |
| 0.531     | 3.69   | 3.69 | 3.69 | 3.13    | 2.90 | 3.21 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.68    | 0.68 | 0.68 |

Tabla 38. Datos de tirantes de agua para Ensayo con apertura del 20% y bocal abierto a 5 min.

| ESC: 1/25 | <b>Ensayo con apertura del 20% y bocal abierto</b> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



| l/s   | 5 MIN   |      |      |         |      |      |         |      |      |         |      |      |
|-------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
|       | CINTA 1 |      |      | CINTA 2 |      |      | CINTA 3 |      |      | CINTA 4 |      |      |
|       | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. | Izq.    | Cen. | Der. |
| 0.120 | 1.65    | 1.65 | 1.65 | 1.49    | 1.44 | 1.57 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.34    | 0.37 | 0.37 |
| 0.103 | 1.55    | 1.55 | 1.55 | 1.36    | 1.39 | 1.44 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.32    | 0.34 | 0.34 |
| 0.104 | 1.56    | 1.56 | 1.56 | 1.37    | 1.39 | 1.45 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.32    | 0.34 | 0.34 |
| 0.167 | 1.92    | 1.92 | 1.92 | 1.84    | 1.60 | 1.92 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.37    | 0.45 | 0.45 |
| 0.178 | 1.98    | 1.98 | 1.98 | 1.92    | 1.63 | 2.00 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.38    | 0.47 | 0.47 |
| 0.220 | 2.16    | 2.16 | 2.16 | 1.99    | 2.34 | 2.28 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.54    | 0.49 | 0.49 |
| 0.232 | 2.20    | 2.20 | 2.20 | 1.95    | 2.42 | 2.35 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.57    | 0.48 | 0.48 |
| 0.266 | 2.30    | 2.30 | 2.30 | 1.84    | 2.63 | 2.55 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.63    | 0.47 | 0.47 |
| 0.271 | 2.31    | 2.31 | 2.31 | 1.82    | 2.67 | 2.58 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.64    | 0.46 | 0.46 |
| 0.282 | 2.35    | 2.35 | 2.35 | 1.78    | 2.74 | 2.64 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.66    | 0.46 | 0.46 |
| 0.284 | 2.35    | 2.35 | 2.35 | 1.77    | 2.75 | 2.66 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.67    | 0.46 | 0.46 |
| 0.284 | 2.35    | 2.35 | 2.35 | 1.77    | 2.75 | 2.66 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.67    | 0.46 | 0.46 |
| 0.301 | 2.40    | 2.40 | 2.40 | 2.67    | 2.80 | 2.75 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.67    | 0.46 | 0.46 |
| 0.331 | 2.45    | 2.45 | 2.45 | 2.76    | 2.86 | 2.80 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.67    | 0.46 | 0.46 |
| 0.389 | 2.54    | 2.54 | 2.54 | 2.92    | 2.98 | 2.89 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.67    | 0.46 | 0.46 |
| 0.447 | 2.70    | 2.70 | 2.70 | 3.25    | 3.13 | 3.17 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.67    | 0.46 | 0.46 |
| 0.475 | 2.83    | 2.83 | 2.83 | 3.78    | 3.30 | 3.48 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.67    | 0.46 | 0.46 |
| 0.510 | 3.89    | 3.89 | 3.89 | 7.53    | 5.02 | 5.96 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.72    | 0.72 | 0.72 |
| 0.529 | 3.98    | 3.98 | 3.98 | 7.89    | 5.14 | 6.17 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.73    | 0.73 | 0.73 |
| 0.531 | 3.99    | 3.99 | 3.99 | 7.93    | 5.15 | 6.19 | 0.00    | 0.00 | 0.00 | 0.73    | 0.73 | 0.73 |



Figura 47. Toma de medidas de tirantes en modelo de captación con apertura de barrage al

20%



Figura 48. Toma de medidas de tirantes en modelo de captación con apertura de barrage al

20%

### C. Caudal de agua filtrada a través de enrocado

Para medir el caudal de agua filtrada a través del enrocado, se procedió a tomar la medida de tirantes aguas abajo del barrage, seguidamente se procedió a tomar la distancia entre secciones medidas, con ello se calcular el área de agua. Se hace el cálculo de la velocidad con ayuda del método de flotador, el cual es aplicable para este tipo de casos en donde el nivel de agua es bajo, el cual tiene por fórmula  $V = d / t$ , donde  $d$  = distancia y  $t$  = tiempo.

Posteriormente se calcular el caudal con la fórmula:  $Q = A \times V$ , donde  $A$ = área y  $V_m$ =Velocidad media

Se tiene un Caudal de agua filtrada a través del enrocado para cada caudal ensayado y para cada tiempo (2.0 min – 5.0 min).



Tabla 39. Aforo de caudales aguas abajo del barrage Fijo-Fusible con apertura de 20% y bocal abierto a los 2 min.

| CAUDAL DE MODELO | AFORO CAUDAL AGUAS ABAJO - 20% DE BARRAGE FUSIBLE CON BOCAL |           |           |           |         |         |              |      |         |          |        |  |
|------------------|---|-----------|-----------|-----------|---------|---------|--------------|------|---------|----------|--------|--|
| ESC: 1/25        | 2 MIN   |           |           |           |         |         |              |      |         |          |        |  |
| I/s              | TIEMPO (s)  | DISTANCIA | Velocidad | TIRANTE   |         |         |              | Long | Area    | Caudal   | Caudal |  |
|                  | Tiempo prom.  | m         | m/s       | Izquierda | Centro  | Derecha | Tirante Prom | m    | m2      | m3/s     | I/s    |  |
| 0.120            | 21.00   | 0.5       | 0.024     | 0.00221   | 0.00292 | 0.00221 | 0.00245      | 0.72 | 0.00176 | 4.19E-05 | 0.042  |  |
| 0.103            | 19.50   | 0.5       | 0.026     | 0.00193   | 0.00236 | 0.00193 | 0.00207      | 0.72 | 0.00149 | 3.83E-05 | 0.038  |  |
| 0.104            | 18.50   | 0.5       | 0.027     | 0.00195   | 0.00239 | 0.00195 | 0.00209      | 0.72 | 0.00151 | 4.08E-05 | 0.041  |  |
| 0.167            | 18.33   | 0.5       | 0.027     | 0.00299   | 0.00447 | 0.00299 | 0.00348      | 0.72 | 0.00251 | 6.84E-05 | 0.068  |  |
| 0.178            | 18.17   | 0.5       | 0.028     | 0.00317   | 0.00484 | 0.00317 | 0.00372      | 0.72 | 0.00268 | 7.38E-05 | 0.074  |  |
| 0.220            | 18.00   | 0.5       | 0.028     | 0.00382   | 0.00371 | 0.00371 | 0.00375      | 0.72 | 0.00270 | 7.50E-05 | 0.075  |  |
| 0.232            | 17.50   | 0.5       | 0.029     | 0.00400   | 0.00383 | 0.00383 | 0.00389      | 0.72 | 0.00280 | 8.00E-05 | 0.080  |  |
| 0.266            | 17.33   | 0.5       | 0.029     | 0.00450   | 0.00417 | 0.00417 | 0.00428      | 0.72 | 0.00308 | 8.88E-05 | 0.089  |  |
| 0.271            | 17.27   | 0.5       | 0.029     | 0.00457   | 0.00422 | 0.00422 | 0.00433      | 0.72 | 0.00312 | 9.04E-05 | 0.090  |  |
| 0.282            | 17.20   | 0.5       | 0.029     | 0.00474   | 0.00432 | 0.00432 | 0.00446      | 0.72 | 0.00321 | 9.34E-05 | 0.093  |  |
| 0.284            | 17.17   | 0.5       | 0.029     | 0.00476   | 0.00434 | 0.00434 | 0.00448      | 0.72 | 0.00323 | 9.40E-05 | 0.094  |  |
| 0.284            | 17.17   | 0.5       | 0.029     | 0.00476   | 0.00434 | 0.00434 | 0.00448      | 0.72 | 0.00323 | 9.40E-05 | 0.094  |  |
| 0.301            | 17.07   | 0.5       | 0.029     | 0.00476   | 0.00434 | 0.00434 | 0.00448      | 0.72 | 0.00323 | 9.46E-05 | 0.095  |  |
| 0.331            | 17.03   | 0.5       | 0.029     | 0.00476   | 0.00434 | 0.00434 | 0.00448      | 0.72 | 0.00323 | 9.48E-05 | 0.095  |  |
| 0.389            | 17.00   | 0.5       | 0.029     | 0.00476   | 0.00434 | 0.00434 | 0.00448      | 0.72 | 0.00323 | 9.49E-05 | 0.095  |  |
| 0.447            | 16.83   | 0.5       | 0.030     | 0.00476   | 0.00434 | 0.00434 | 0.00448      | 0.72 | 0.00323 | 9.59E-05 | 0.096  |  |
| 0.475            | 16.87   | 0.5       | 0.030     | 0.00488   | 0.00488 | 0.00488 | 0.00488      | 0.72 | 0.00351 | 1.04E-04 | 0.104  |  |
| 0.510            | 16.80   | 0.5       | 0.030     | 0.00665   | 0.00665 | 0.00665 | 0.00665      | 0.72 | 0.00479 | 1.43E-04 | 0.143  |  |
| 0.529            | 16.73   | 0.5       | 0.030     | 0.00680   | 0.00680 | 0.00680 | 0.00680      | 0.72 | 0.00490 | 1.46E-04 | 0.146  |  |
| 0.531            | 16.67   | 0.5       | 0.030     | 0.00682   | 0.00682 | 0.00682 | 0.00682      | 0.72 | 0.00491 | 1.47E-04 | 0.147  |  |

Tabla 40. Aforo de caudales aguas abajo del barrage Fijo-Fusible con apertura de 20% y bocal abierto a los 5 min.

| CAUDAL DE MODELO | AFORO CAUDAL AGUAS ABAJO - 20% DE BARRAGE FUSIBLE CON BOCAL |           |           |           |         |         |              |      |         |          |        |  |
|------------------|---|-----------|-----------|-----------|---------|---------|--------------|------|---------|----------|--------|--|
| ESC: 1/25        | 5 MIN   |           |           |           |         |         |              |      |         |          |        |  |
| I/s              | TIEMPO (s)  | DISTANCIA | Velocidad | TIRANTE   |         |         |              | Long | Area    | Caudal   | Caudal |  |
|                  | Tiempo prom.  | m         | m/s       | Izquierda | Centro  | Derecha | Tirante Prom | m    | m2      | m3/s     | I/s    |  |
| 0.120            | 17.33   | 0.5       | 0.029     | 0.00336   | 0.00371 | 0.00371 | 0.00359      | 0.72 | 0.00259 | 7.46E-05 | 0.075  |  |
| 0.103            | 17.50   | 0.5       | 0.029     | 0.00321   | 0.00343 | 0.00343 | 0.00336      | 0.72 | 0.00242 | 6.91E-05 | 0.069  |  |
| 0.104            | 16.17   | 0.5       | 0.031     | 0.00322   | 0.00345 | 0.00345 | 0.00337      | 0.72 | 0.00243 | 7.51E-05 | 0.075  |  |
| 0.167            | 16.00   | 0.5       | 0.031     | 0.00374   | 0.00449 | 0.00449 | 0.00424      | 0.72 | 0.00305 | 9.54E-05 | 0.095  |  |
| 0.178            | 15.83   | 0.5       | 0.032     | 0.00383   | 0.00467 | 0.00467 | 0.00439      | 0.72 | 0.00316 | 9.98E-05 | 0.100  |  |
| 0.220            | 15.67   | 0.5       | 0.032     | 0.00543   | 0.00489 | 0.00489 | 0.00507      | 0.72 | 0.00365 | 1.17E-04 | 0.117  |  |
| 0.232            | 15.17   | 0.5       | 0.033     | 0.00567   | 0.00483 | 0.00483 | 0.00511      | 0.72 | 0.00368 | 1.21E-04 | 0.121  |  |
| 0.266            | 15.00   | 0.5       | 0.033     | 0.00633   | 0.00467 | 0.00467 | 0.00522      | 0.72 | 0.00376 | 1.25E-04 | 0.125  |  |
| 0.271            | 14.93   | 0.5       | 0.033     | 0.00643   | 0.00464 | 0.00464 | 0.00524      | 0.72 | 0.00377 | 1.26E-04 | 0.126  |  |
| 0.282            | 14.87   | 0.5       | 0.034     | 0.00665   | 0.00459 | 0.00459 | 0.00527      | 0.72 | 0.00380 | 1.28E-04 | 0.128  |  |
| 0.284            | 14.83   | 0.5       | 0.034     | 0.00669   | 0.00458 | 0.00458 | 0.00528      | 0.72 | 0.00380 | 1.28E-04 | 0.128  |  |
| 0.284            | 14.83   | 0.5       | 0.034     | 0.00669   | 0.00458 | 0.00458 | 0.00528      | 0.72 | 0.00380 | 1.28E-04 | 0.128  |  |
| 0.301            | 14.73   | 0.5       | 0.034     | 0.00669   | 0.00458 | 0.00458 | 0.00528      | 0.72 | 0.00380 | 1.29E-04 | 0.129  |  |
| 0.331            | 14.70   | 0.5       | 0.034     | 0.00669   | 0.00458 | 0.00458 | 0.00528      | 0.72 | 0.00380 | 1.29E-04 | 0.129  |  |
| 0.389            | 14.67   | 0.5       | 0.034     | 0.00669   | 0.00458 | 0.00458 | 0.00528      | 0.72 | 0.00380 | 1.30E-04 | 0.130  |  |
| 0.447            | 14.50   | 0.5       | 0.034     | 0.00669   | 0.00458 | 0.00458 | 0.00528      | 0.72 | 0.00380 | 1.31E-04 | 0.131  |  |
| 0.475            | 13.87   | 0.5       | 0.036     | 0.00669   | 0.00458 | 0.00458 | 0.00528      | 0.72 | 0.00380 | 1.37E-04 | 0.137  |  |
| 0.510            | 13.80   | 0.5       | 0.036     | 0.00715   | 0.00715 | 0.00715 | 0.00715      | 0.72 | 0.00515 | 1.87E-04 | 0.187  |  |
| 0.529            | 13.73   | 0.5       | 0.036     | 0.00730   | 0.00730 | 0.00730 | 0.00730      | 0.72 | 0.00526 | 1.91E-04 | 0.191  |  |
| 0.531            | 13.67   | 0.5       | 0.037     | 0.00732   | 0.00732 | 0.00732 | 0.00732      | 0.72 | 0.00527 | 1.93E-04 | 0.193  |  |

D. Caudal de salida por bocal

Para calcular el caudal de salida por el bocal se utilizó el método volumétrico, el cual consiste en calcular el tiempo en que tarda en llenarse una probeta de 500ml. Luego el caudal será calculado con la fórmula:  $Q = V/t$ , donde V = volumen y t = tiempo.

Tabla 41. Caudal de salida por bocal para ensayo al 20 % de apertura de barrage fusible.

| CAUDAL DE MODELO | AFORO CAUDAL BOCAL - 20% DE BARRAGE FUSIBLE |         |        | AFORO CAUDAL BOCAL - 20% DE BARRAGE FUSIBLE |         |        |
|------------------|---|---------|--------|---|---------|--------|
|                  | 2 min                                       |         |        | 5 min                                       |         |        |
| ESC: 1/25        | TIEMPO (s)                                  | VOLUMEN | CAUDAL | TIEMPO (s)                                  | VOLUMEN | CAUDAL |
| I/s              | Tiempo prom.                                | l       | l/s    | Tiempo prom.                                | l       | l/s    |
| 0.120            | 25.33                                       | 0.5     | 0.020  | 13.33                                       | 0.5     | 0.0375 |
| 0.103            | 29.07                                       | 0.5     | 0.017  | 15.00                                       | 0.5     | 0.0333 |
| 0.104            | 27.67                                       | 0.5     | 0.018  | 14.00                                       | 0.5     | 0.0357 |
| 0.167            | 27.00                                       | 0.5     | 0.019  | 13.67                                       | 0.5     | 0.0366 |
| 0.178            | 25.00                                       | 0.5     | 0.020  | 13.00                                       | 0.5     | 0.0385 |
| 0.220            | 21.90                                       | 0.5     | 0.023  | 12.67                                       | 0.5     | 0.0395 |
| 0.232            | 19.40                                       | 0.5     | 0.026  | 12.33                                       | 0.5     | 0.0405 |
| 0.266            | 17.07                                       | 0.5     | 0.029  | 12.00                                       | 0.5     | 0.0417 |
| 0.271            | 15.30                                       | 0.5     | 0.033  | 10.03                                       | 0.5     | 0.0498 |
| 0.282            | 14.87                                       | 0.5     | 0.034  | 8.03  | 0.5     | 0.0622 |
| 0.284            | 13.37                                       | 0.5     | 0.037  | 6.50  | 0.5     | 0.0769 |
| 0.284            | 12.50                                       | 0.5     | 0.040  | 6.10  | 0.5     | 0.0820 |
| 0.301            | 12.05                                       | 0.5     | 0.041  | 5.90  | 0.5     | 0.0847 |
| 0.331            | 10.20                                       | 0.5     | 0.049  | 5.70  | 0.5     | 0.0877 |
| 0.389            | 9.43  | 0.5     | 0.053  | 5.50  | 0.5     | 0.0909 |
| 0.447            | 8.67  | 0.5     | 0.058  | 5.33  | 0.5     | 0.0939 |
| 0.475            | 6.67  | 0.5     | 0.075  | 5.00  | 0.5     | 0.1000 |
| 0.510            | 5.60  | 0.5     | 0.089  | 4.60  | 0.5     | 0.1087 |
| 0.529            | 4.83  | 0.5     | 0.103  | 4.23  | 0.5     | 0.1181 |
| 0.531            | 4.49  | 0.5     | 0.111  | 3.83  | 0.5     | 0.1304 |



Figura 49. Aforo de bocal de modelo de captación con apertura de barrage al 20%

#### **4.10 Eficiencia de captación Tres Molinos con Barrage fijo-fusible**

Para calcular la eficiencia de captación con barrage Fijo-Fusible, es necesario saber cuánta agua debe derivar, dicha captación, al canal. Para ello se procedió a realizar la visita a la junta de usuarios, los cuales cuentan con una resolución que indica que se debe derivar 100 l/s a través del canal.



## RESOLUCION DIRECTORAL N° 847 -2015-ANA-AAA-M

Cajamarca, 01 SET. 2015

### VISTO:

El Expediente Administrativo ingresado con CUT N° 134323 - 2013, tramitado ante la Administración Local de Agua Cajamarca, organizado por la Junta de Usuarios del Rio Mashcón, sobre Autorización de Ejecución de Obra para el desarrollo del proyecto "Mejoramiento del Servicio de Agua de Riego del Canal Tres Molinos, en la localidad Tres Molinos, distrito Baños del Inca, provincia y departamento Cajamarca", y;

### CONSIDERANDO:

Que, según establece el artículo 212° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Decreto Supremo N° 001-2010-AG, la Autoridad Administrativa del Agua autoriza la ejecución de estudios y la ejecución de obras de proyectos de infraestructura hidráulica que se proyecten en las fuentes naturales de agua. Así mismo señala que las obras se ejecutan conforme a los estudios previamente aprobados por los organismos correspondientes y deben contar con la certificación ambiental respectiva;

Que, mediante escrito del visto, la Junta de Usuarios del Rio Mashcón, solicita Autorización de Ejecución de Obras para el desarrollo del proyecto "Mejoramiento del Servicio de Agua de Riego del Canal Tres Molinos, en la localidad Tres Molinos, distrito Baños del Inca, provincia y departamento Cajamarca";

Que, mediante Resolución Directoral N° 158-93-SRVI-A.C/ATDRC, de fecha 06.09.1993, se otorga licencia en vía de regularización para el uso de las aguas de hasta 0,500 m<sup>3</sup>/s provenientes del río Mashcón y afluentes: ríos Porcón y Llushcapampa, captados a través de 09 canales de irrigación entre ellos, el Canal de Riego Tres Molinos, por un caudal de 100 l/s;

Que, mediante Resolución Directoral N° 773-2013-MINAGRI-PSI, de fecha 26.11.2013, el Ministerio de Agricultura y Riego - Programa Subsectorial de Irrigaciones, aprueba el Expediente Técnico para la ejecución del proyecto "Mejoramiento del Servicio de Agua de Riego del Sistema de Riego Canal Tres Molinos, en la localidad Tres Molinos, distrito Baños del Inca, provincia Cajamarca y departamento Cajamarca";

Que, la Dirección de Gestión Ambiental Agraria del Ministerio de Agricultura y Riego, elabora el Informe N° 751-13-MINAGRI-DGAA/JEJ-32836-12 del proyecto "Mejoramiento del Servicio de Agua de Riego del Sistema de Riego Canal Tres Molinos, en la localidad Tres Molinos, distrito Baños del Inca, provincia Cajamarca y departamento Cajamarca", en el que concluye que la ejecución de la obra por las características particulares de la obra y la pequeña envergadura física de la infraestructura, no generará efectos negativos significantes relevantes en el medio ambiente;

Que, mediante el Informe Técnico N° 222-2015-ANA-AAA-M/SDARH.M/EVS, la Sub Dirección de Administración de Recursos Hídricos, de esta autoridad, concluye que es factible autorizar al Programa Subsectorial de Irrigaciones – PSI, la Ejecución de Obra del Proyecto "Mejoramiento del Servicio de Agua de Riego del Sistema de Riego Canal Tres Molinos, en la localidad Tres Molinos, distrito Baños del Inca, provincia Cajamarca y departamento Cajamarca", según las especificaciones técnicas contenidas en el expediente técnico. Según el cronograma, la de ejecución de Obras es por un plazo de noventa (90) días calendario;

Figura 50. Resolución 847-2015-ANA-AAA-M

Con este valor como referencia, se procede a convertir el caudal, que pasa a través del bocal del modelo de captación Tres Molinos, a su escala natural y verificar que el caudal de salida por el bocal, sea mayor o igual a 100 l/s, para obtener una eficiencia del 100%.

A. Caudal de bocal con apertura del 10% de barrage.

Tabla 42. Eficiencia de captación, al 10% de barrage fusible, según aforo volumétrico de bocal.

| CAUDAL DE INGRESO A MODELO | AFORO CAUDAL BOCAL - 10% DE BARRAGE FUSIBLE |            |         |          |        |                 |            |
|----------------------------|---|------------|---------|----------|--------|-----------------|------------|
|                            | ESC: 1/25                                   |            |         | ESC: 1:1 |        | CAUDAL ESPERADO | EFICIENCIA |
|                            | I/s   | TIEMPO (s) | VOLUMEN | CAUDAL   | CAUDAL |                 |            |
|                            | Tiempo prom.                                | l          | l/s     | l/s      | l/s    | %               |            |
| 0.120                      | 13.00                                       | 0.5        | 0.0385  | 120.192  | 100    | 120%            |            |
| 0.103                      | 14.67                                       | 0.5        | 0.0341  | 106.534  | 100    | 107%            |            |
| 0.104                      | 13.67                                       | 0.5        | 0.0366  | 114.329  | 100    | 114%            |            |
| 0.167                      | 13.33                                       | 0.5        | 0.0375  | 117.188  | 100    | 117%            |            |
| 0.178                      | 12.67                                       | 0.5        | 0.0395  | 123.355  | 100    | 123%            |            |
| 0.220                      | 12.33                                       | 0.5        | 0.0405  | 126.689  | 100    | 127%            |            |
| 0.232                      | 12.00                                       | 0.5        | 0.0417  | 130.208  | 100    | 130%            |            |
| 0.266                      | 11.67                                       | 0.5        | 0.0429  | 133.929  | 100    | 134%            |            |
| 0.271                      | 9.70  | 0.5        | 0.0515  | 161.082  | 100    | 161%            |            |
| 0.282                      | 7.70  | 0.5        | 0.0649  | 202.922  | 100    | 203%            |            |
| 0.284                      | 6.17  | 0.5        | 0.0811  | 253.378  | 100    | 253%            |            |
| 0.284                      | 5.77  | 0.5        | 0.0867  | 270.954  | 100    | 271%            |            |
| 0.301                      | 5.57  | 0.5        | 0.0898  | 280.689  | 100    | 281%            |            |
| 0.331                      | 5.37  | 0.5        | 0.0932  | 291.149  | 100    | 291%            |            |
| 0.389                      | 5.17  | 0.5        | 0.0968  | 302.419  | 100    | 302%            |            |
| 0.447                      | 4.99  | 0.5        | 0.1001  | 312.917  | 100    | 313%            |            |
| 0.475                      | 4.67  | 0.5        | 0.1071  | 334.821  | 100    | 335%            |            |
| 0.510                      | 4.27  | 0.5        | 0.1172  | 366.211  | 100    | 366%            |            |
| 0.529                      | 3.90  | 0.5        | 0.1282  | 400.641  | 100    | 401%            |            |
| 0.531                      | 3.50  | 0.5        | 0.1429  | 446.429  | 100    | 446%            |            |

B. Caudal de bocal con apertura del 20% de barrage.

Tabla 43. Eficiencia de captación, al 20% de barrage fusible, según aforo volumétrico de bocal.

| CAUDAL DE MODELO | AFORO CAUDAL BOCAL - 20% DE BARRAGE FUSIBLE |            |         |         |        |                 |            |
|------------------|---|------------|---------|---------|--------|-----------------|------------|
|                  | ESC: 1/25                                   |            |         | ESC 1:1 |        | CAUDAL ESPERADO | EFICIENCIA |
|                  | I/s   | TIEMPO (s) | VOLUMEN | CAUDAL  | CAUDAL |                 |            |
|                  | Tiempo prom.                                | l          | l/s     | l/s     | l/s    | %               |            |
| 0.120            | 13.33                                       | 0.5        | 0.0375  | 117.188 | 100    | 117%            |            |
| 0.103            | 15.00                                       | 0.5        | 0.0333  | 104.167 | 100    | 104%            |            |
| 0.104            | 14.00                                       | 0.5        | 0.0357  | 111.607 | 100    | 112%            |            |
| 0.167            | 13.67                                       | 0.5        | 0.0366  | 114.329 | 100    | 114%            |            |
| 0.178            | 13.00                                       | 0.5        | 0.0385  | 120.192 | 100    | 120%            |            |
| 0.220            | 12.67                                       | 0.5        | 0.0395  | 123.355 | 100    | 123%            |            |
| 0.232            | 12.33                                       | 0.5        | 0.0405  | 126.689 | 100    | 127%            |            |

|       |       |     |        |         |     |      |
|-------|-------|-----|--------|---------|-----|------|
| 0.266 | 12.00 | 0.5 | 0.0417 | 130.208 | 100 | 130% |
| 0.271 | 10.03 | 0.5 | 0.0498 | 155.731 | 100 | 156% |
| 0.282 | 8.03  | 0.5 | 0.0622 | 194.502 | 100 | 195% |
| 0.284 | 6.50  | 0.5 | 0.0769 | 240.385 | 100 | 240% |
| 0.284 | 6.10  | 0.5 | 0.0820 | 256.148 | 100 | 256% |
| 0.301 | 5.90  | 0.5 | 0.0847 | 264.831 | 100 | 265% |
| 0.331 | 5.70  | 0.5 | 0.0877 | 274.123 | 100 | 274% |
| 0.389 | 5.50  | 0.5 | 0.0909 | 284.091 | 100 | 284% |
| 0.447 | 5.33  | 0.5 | 0.0939 | 293.335 | 100 | 293% |
| 0.475 | 5.00  | 0.5 | 0.1000 | 312.500 | 100 | 313% |
| 0.510 | 4.60  | 0.5 | 0.1087 | 339.674 | 100 | 340% |
| 0.529 | 4.23  | 0.5 | 0.1181 | 369.094 | 100 | 369% |
| 0.531 | 3.83  | 0.5 | 0.1304 | 407.609 | 100 | 408% |

#### 4.11 Cálculos de coeficiente de descarga

La ecuación del coeficiente de descarga ( $C_d$ ) es una formulación de la ecuación tradicional utilizada en la mecánica de fluidos para describir la eficiencia con la que un fluido fluye a través de una abertura o estructura. La ecuación general del coeficiente de descarga es una simplificación de las ecuaciones más fundamentales de la mecánica de fluidos y se deriva a través de análisis y experimentación empírica, se utiliza comúnmente en la hidráulica e ingeniería de fluidos para describir la eficiencia de dispositivos como compuertas, válvulas, barrajes y otros elementos en la gestión del flujo de líquidos.

La derivación básica se basa en los principios de la mecánica de fluidos y utiliza la ecuación de Bernoulli y la ecuación de continuidad.

Algunas de las situaciones en las que esta ecuación se puede aplicar son:

1. Compuertas y Válvulas: Cuando se trabaja con compuertas o válvulas en sistemas hidráulicos y se desea entender cómo el caudal se relaciona con la geometría de la abertura y las condiciones del flujo.

2. Barrages y Estructuras de Control de Flujo: En el caso de barrages u otras estructuras que controlan el flujo de agua, se puede usar esta ecuación para relacionar el caudal que pasa a través del barrage con su geometría y las características del flujo.

La ecuación para este caso es:

$$Q = Cd * b * h^{3/2}$$

Donde:

Q = es el caudal aforado.

b = es el ancho del barrage

h = es la carga de agua obtenida en cada ensayo.

Cd = Coeficiente de descarga

- Datos de campo:

Según los datos obtenidos de laboratorio, solo se presentó caudal sobre barrage a partir de caudales mayores a 0.000540 m<sup>3</sup>/s, la cual en prototipo es 1.6875 m<sup>3</sup>/s, además solo se presentó en el ensayo con barrage fusible del 10%, por lo que, usando la fórmula ya mencionada, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 44. Cálculo de coeficiente de descarga en barrage Fijo-Fusible con apertura del 10%,.

| CALCULO DE COEFICIENTE DE DESCARGA |   |                                |                                    |                             |      |
|------------------------------------|---|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------|
| FECHA                              | Caudal de Entrada - PROTOTIPO (m <sup>3</sup> /s) | Ancho de barrage prototipo (m) | Carga de agua modelo (m) Esc. 1/25 | Carga de agua prototipo (m) | Cd   |
| 12/12/2021                         | 1.687500  | 18                             | 0.0019                             | 0.05                        | 9.06 |
| 19/12/2021                         | 1.718750  | 18                             | 0.0068                             | 0.17                        | 1.36 |
| 26/12/2021                         | 1.746875  | 18                             | 0.0070                             | 0.17                        | 1.33 |
| 2/01/2022                          | 1.846875  | 18                             | 0.0094                             | 0.24                        | 0.89 |
| 9/01/2022                          | 2.046875  | 18                             | 0.0224                             | 0.56                        | 0.27 |
| 16/01/2022                         | 2.446875  | 18                             | 0.0395                             | 0.99                        | 0.14 |



## 4.12 Gráficas de caudal unitario vs tirante aguas arriba de barrage Fijo-fusible

Llamando  $Q_r$  al caudal de estiaje del río (conocido), esta época va desde julio a diciembre, y sabiendo que  $B$  es la longitud total del barrage fusible (también conocido), entonces se desea obtener la carga  $h_1$  que ocurrirá aguas arriba del barrage fijo - fusible.

Para ello, con los datos obtenidos del modelo (tanto con bocal abierto y después para bocal cerrado), al 20 % y 10 % de apertura de barrage, se procede a elaborar una gráfica tal que en el eje horizontal de registren valores adimensionales de  $Q_r/B$  y en el eje vertical valores adimensionales de  $h_1/B$ . De esta manera se obtiene las cuatro gráficas siguientes:

### A. PORCENTAJE DE APERTURA 10 % Y BOCAL CERRADO

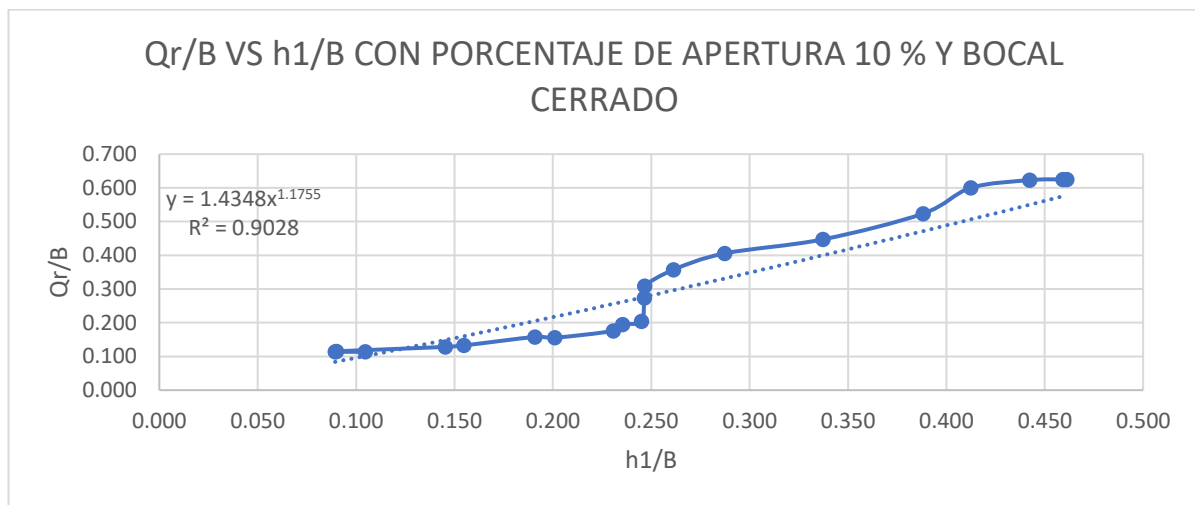
Para esto se procedió a tomar datos de caudal de entrada y tirantes aguas arriba del barrage Fijo-Fusible, luego se provino a generar curvas con ayuda de la herramienta Microsoft Excel, a estas curvas se les proporcionó la línea de tendencia y se calculó la ecuación correspondiente.

Tabla 45. Caudal unitario y tirante antes de barrage Fijo-Fusible con apertura de 10% y bocal cerrado.

| CAUDAL DE PROTOTIPO (Barraje fijo-fusible) | PORCENTAJE DE APERTURA 10 % Y BOCAL CERRADO |        |         |         |
|--|---|--------|---------|---------|
|  | B (m)                                       | $h_1$  | $Q_r/B$ | $h_1/B$ |
| m <sup>3</sup> /s                          |   |        |         |         |
| 0.376486                                   | 3.6   | 0.4100 | 0.105   | 0.114   |
| 0.321620                                   | 3.6   | 0.4100 | 0.089   | 0.114   |
| 0.323726                                   | 3.6   | 0.4150 | 0.090   | 0.115   |
| 0.522877                                   | 3.6   | 0.4617 | 0.145   | 0.128   |
| 0.557256                                   | 3.6   | 0.4775 | 0.155   | 0.133   |
| 0.687215                                   | 3.6   | 0.5683 | 0.191   | 0.158   |
| 0.723440                                   | 3.6   | 0.5600 | 0.201   | 0.156   |
| 0.830495                                   | 3.6   | 0.6333 | 0.231   | 0.176   |
| 0.847513                                   | 3.6   | 0.7017 | 0.235   | 0.195   |
| 0.881877                                   | 3.6   | 0.7350 | 0.245   | 0.204   |
| 0.887091                                   | 3.6   | 0.9850 | 0.246   | 0.274   |
| 0.887849                                   | 3.6   | 1.1100 | 0.247   | 0.308   |



|          |     |        |       |       |
|----------|-----|--------|-------|-------|
| 0.940469 | 3.6 | 1.2850 | 0.261 | 0.357 |
| 1.034080 | 3.6 | 1.4600 | 0.287 | 0.406 |
| 1.214064 | 3.6 | 1.6100 | 0.337 | 0.447 |
| 1.397290 | 3.6 | 1.8850 | 0.388 | 0.524 |
| 1.484771 | 3.6 | 2.1600 | 0.412 | 0.600 |
| 1.592587 | 3.6 | 2.2425 | 0.442 | 0.623 |
| 1.653188 | 3.6 | 2.2500 | 0.459 | 0.625 |
| 1.660408 | 3.6 | 2.2508 | 0.461 | 0.625 |



Esta curva arroja como ecuación la siguiente:

$$y = 1.4348 * X^{1.1755}$$

$$R^2 = 0.9028$$

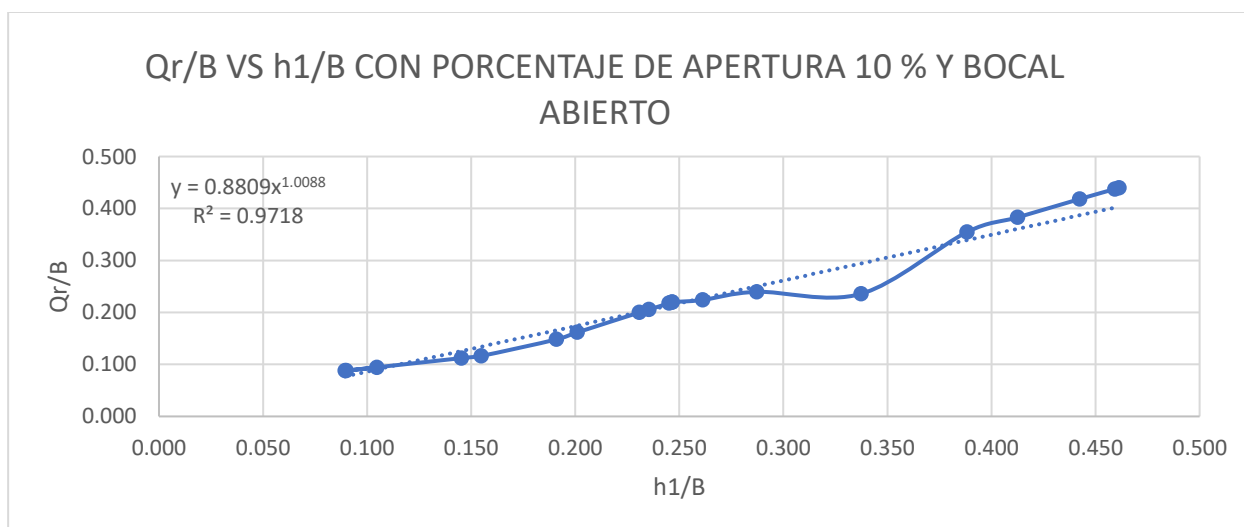
$R^2$  es el coeficiente de determinación ( se calcula mediante deducción matemática por estimaciones que se ajusten a la variable real) y muestra cuánto se ajusta la línea de tendencia a los datos. Cuanto más cerca esté de  $R^2$  de 1, más se ajustará la ecuación. Se recomiendan valores de  $R^2$  por encima de 0.9.

#### **B. PORCENTAJE DE APERTURA 10 % Y BOCAL ABIERTO**

Para esto se procedió a tomar datos de caudal de entrada y tirantes aguas arriba del barrage Fijo-Fusible, luego se provino a generar curvas con ayuda de la herramienta Microsoft Excel, a estas curvas se les proporcionó la línea de tendencia y se calculó la ecuación correspondiente.

Tabla 46. Caudal unitario y tirante antes de barrage Fijo-Fusible con apertura de 10% y bocal abierto.

| CAUDAL DE PROTOTIPO<br>m3/s | PORCENTAJE DE APERTURA 10 % Y BOCAL ABIERTO |        |       |       |
|-----------------------------|---|--------|-------|-------|
|                             | B (m)                                       | h1     | Qr/B  | h1/B  |
| 0.376486                    | 3.6   | 0.3393 | 0.105 | 0.094 |
| 0.321620                    | 3.6   | 0.3160 | 0.089 | 0.088 |
| 0.323726                    | 3.6   | 0.3173 | 0.090 | 0.088 |
| 0.522877                    | 3.6   | 0.4037 | 0.145 | 0.112 |
| 0.557256                    | 3.6   | 0.4188 | 0.155 | 0.116 |
| 0.687215                    | 3.6   | 0.5332 | 0.191 | 0.148 |
| 0.723440                    | 3.6   | 0.5818 | 0.201 | 0.162 |
| 0.830495                    | 3.6   | 0.7194 | 0.231 | 0.200 |
| 0.847513                    | 3.6   | 0.7397 | 0.235 | 0.205 |
| 0.881877                    | 3.6   | 0.7842 | 0.245 | 0.218 |
| 0.887091                    | 3.6   | 0.7923 | 0.246 | 0.220 |
| 0.887849                    | 3.6   | 0.7923 | 0.247 | 0.220 |
| 0.940469                    | 3.6   | 0.8068 | 0.261 | 0.224 |
| 1.034080                    | 3.6   | 0.8631 | 0.287 | 0.240 |
| 1.214064                    | 3.6   | 0.8487 | 0.337 | 0.236 |
| 1.397290                    | 3.6   | 1.2764 | 0.388 | 0.355 |
| 1.484771                    | 3.6   | 1.3783 | 0.412 | 0.383 |
| 1.592587                    | 3.6   | 1.5056 | 0.442 | 0.418 |
| 1.653188                    | 3.6   | 1.5747 | 0.459 | 0.437 |
| 1.660408                    | 3.6   | 1.5820 | 0.461 | 0.439 |



Esta curva arroja como ecuación la siguiente:

$$y = 0.8809 * X^{1.0088}$$

$$R^2 = 0.9686$$

$R^2$  muestra cuánto se ajusta la línea de tendencia a los datos. Cuanto más cerca esté de  $R^2$  de 1, más se ajustará la ecuación. Se recomiendan valores de  $R^2$  por encima de 0.9.

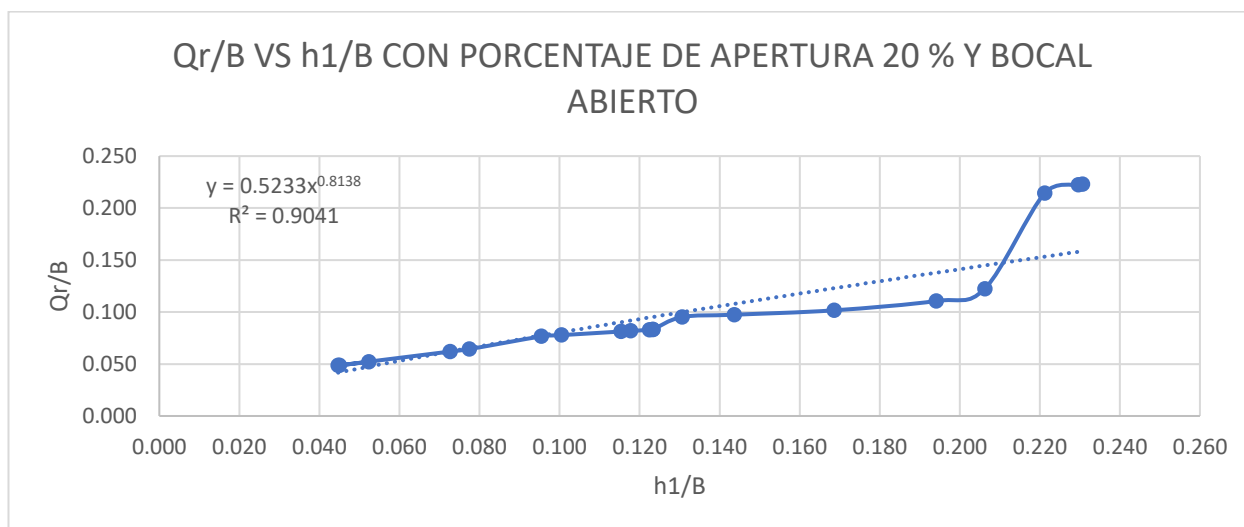
### C. PORCENTAJE DE APERTURA 20 % Y BOCAL CERRADO

Para esto se procedió a tomar datos de caudal de entrada y tirantes aguas arriba del barrage Fijo-Fusible, luego se provino a generar curvas con ayuda de la herramienta Microsoft Excel, a estas curvas se les proporcionó la línea de tendencia y se calculó la ecuación correspondiente.

Tabla 47. Caudal unitario y tirante antes de barrage Fijo-Fusible con apertura de 20% y bocal cerrado.

| CAUDAL DE PROTOTIPO | PORCENTAJE DE APERTURA 20 % Y BOCAL CERRADO |        |       |       |
|---------------------|---|--------|-------|-------|
|                     | B (m)                                       | h1     | Qr/B  | h1/B  |
| m3/s                |   |        |       |       |
| 0.376486            | 7.2   | 0.3751 | 0.052 | 0.052 |
| 0.321620            | 7.2   | 0.3494 | 0.045 | 0.049 |
| 0.323726            | 7.2   | 0.3509 | 0.045 | 0.049 |
| 0.522877            | 7.2   | 0.4463 | 0.073 | 0.062 |
| 0.557256            | 7.2   | 0.4629 | 0.077 | 0.064 |
| 0.687215            | 7.2   | 0.5511 | 0.095 | 0.077 |
| 0.723440            | 7.2   | 0.5600 | 0.100 | 0.078 |
| 0.830495            | 7.2   | 0.5850 | 0.115 | 0.081 |
| 0.847513            | 7.2   | 0.5887 | 0.118 | 0.082 |
| 0.881877            | 7.2   | 0.5968 | 0.122 | 0.083 |
| 0.887091            | 7.2   | 0.5982 | 0.123 | 0.083 |
| 0.887849            | 7.2   | 0.5982 | 0.123 | 0.083 |
| 0.940469            | 7.2   | 0.6855 | 0.131 | 0.095 |
| 1.034080            | 7.2   | 0.7013 | 0.144 | 0.097 |
| 1.214064            | 7.2   | 0.7319 | 0.169 | 0.102 |
| 1.397290            | 7.2   | 0.7965 | 0.194 | 0.111 |
| 1.484771            | 7.2   | 0.8809 | 0.206 | 0.122 |
| 1.592587            | 7.2   | 1.5429 | 0.221 | 0.214 |
| 1.653188            | 7.2   | 1.6001 | 0.230 | 0.222 |

|          |     |        |       |       |
|----------|-----|--------|-------|-------|
| 1.660408 | 7.2 | 1.6061 | 0.231 | 0.223 |
|----------|-----|--------|-------|-------|



Esta curva arroja como ecuación la siguiente:

$$y = 0.5233 * X^{0.8138}$$

$$R^2 = 0.9041$$

$R^2$  muestra cuánto se ajusta la línea de tendencia a los datos. Cuanto más cerca esté de  $R^2$  de 1, más se ajustará la ecuación. Se recomiendan valores de  $R^2$  por encima de 0.9.

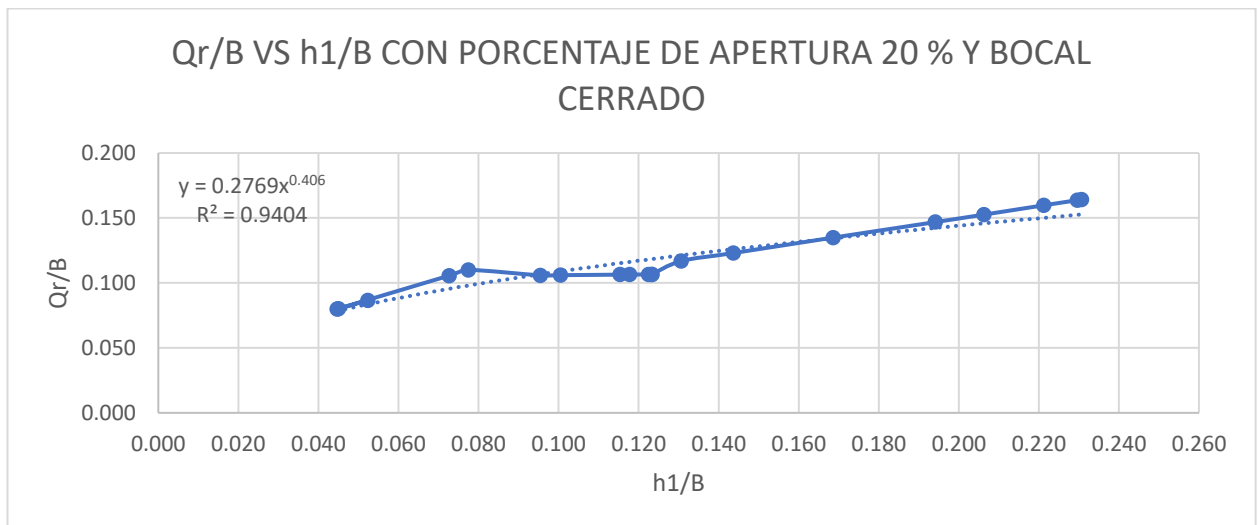
#### **D. PORCENTAJE DE APERTURA 20 % Y BOCAL ABIERTO**

Para esto se procedió a tomar datos de caudal de entrada y tirantes aguas arriba del barrage Fijo-Fusible, luego se provino a generar curvas con ayuda de la herramienta Microsoft Excel, a estas curvas se les proporcionó la línea de tendencia y se calculó la ecuación correspondiente.

Tabla 48. Caudal unitario y tirante antes de barrage Fijo-Fusible con apertura de 20% y bocal abierto.

| CAUDAL DE PROTOTIPO | PORCENTAJE DE APERTURA 20 % Y BOCAL ABIERTO |        |       |       |
|---------------------|---|--------|-------|-------|
|                     | B (m)                                       | h1     | Qr/B  | h1/B  |
| 0.376486            | 7.2   | 0.6237 | 0.052 | 0.087 |
| 0.321620            | 7.2   | 0.5743 | 0.045 | 0.080 |

|          |     |        |       |       |
|----------|-----|--------|-------|-------|
| 0.323726 | 7.2 | 0.5772 | 0.045 | 0.080 |
| 0.522877 | 7.2 | 0.7602 | 0.073 | 0.106 |
| 0.557256 | 7.2 | 0.7922 | 0.077 | 0.110 |
| 0.687215 | 7.2 | 0.7620 | 0.095 | 0.106 |
| 0.723440 | 7.2 | 0.7630 | 0.100 | 0.106 |
| 0.830495 | 7.2 | 0.7658 | 0.115 | 0.106 |
| 0.847513 | 7.2 | 0.7662 | 0.118 | 0.106 |
| 0.881877 | 7.2 | 0.7671 | 0.122 | 0.107 |
| 0.887091 | 7.2 | 0.7673 | 0.123 | 0.107 |
| 0.887849 | 7.2 | 0.7673 | 0.123 | 0.107 |
| 0.940469 | 7.2 | 0.8410 | 0.131 | 0.117 |
| 1.034080 | 7.2 | 0.8854 | 0.144 | 0.123 |
| 1.214064 | 7.2 | 0.9711 | 0.169 | 0.135 |
| 1.397290 | 7.2 | 1.0568 | 0.194 | 0.147 |
| 1.484771 | 7.2 | 1.0982 | 0.206 | 0.153 |
| 1.592587 | 7.2 | 1.1500 | 0.221 | 0.160 |
| 1.653188 | 7.2 | 1.1780 | 0.230 | 0.164 |
| 1.660408 | 7.2 | 1.1810 | 0.231 | 0.164 |



Esta curva arroja como ecuación la siguiente:

$$y = 0.2769 * X^{0.406}$$

$$R^2 = 0.9404$$

$R^2$  muestra cuánto se ajusta la línea de tendencia a los datos. Cuanto más cerca esté de  $R^2$  de 1, más se ajustará la ecuación. Se recomiendan valores de  $R^2$  por encima de 0.9.

Todas las gráficas halladas podrán ser utilizadas con las siguientes condiciones de entorno:

- La captación deberá ser de alta montaña
- El tamaño medio de las gravas del enrocado deberá ser de 14.00 cm.
- La conductividad del barrage fusible deberá comprender valores de buen drenaje, es decir:  $k = 10^{-1} \text{ m/s}$
- El Talud del barrage fusible (enrocado colocado a mano) deberá ser 1:1

#### **4.13 Cálculos de caudal de salida con la ecuación de Dupuit**

La ecuación de Dupuit se utiliza para calcular tasas de filtración a través de estructuras permeables, como un enrocado vertical. La ecuación de Dupuit es:

$$Q = K * B * (h1 - h2)$$

Donde:

- ✓ Q es la tasa de flujo de agua a través del enrocado (volumen por unidad de tiempo).
- ✓ K es la conductividad hidráulica del medio (unidad de velocidad de flujo).
- ✓ B es la anchura de la zona de flujo (ancho del enrocado) en la dirección del flujo (unidad de longitud).
- ✓ h1 es la altura de la lámina de agua aguas arriba del enrocado (unidad de longitud).
- ✓ h2 es la altura de la lámina de agua aguas abajo del enrocado (unidad de longitud).

Según Roy Whitlow (1999), podemos utilizar un valor para  $K = 0.1 \text{ m/s}$

#### **Calculo de caudal con datos de modelo**

$$Q = K * B * (h1 - h2)$$

#### **A. CAUDAL CON PORCENTAJE DE APERTURA 10 % Y BOCAL CERRADO**

Tabla 49. Caudal que filtra a través de barrage Fijo-Fusible al 10% de apertura y bocal cerrado, con fórmula de Dupuit.

| PORCENTAJE DE APERTURA 10 % Y BOCAL CERRADO |         |       |        |        |                          |                  |
|---|---------|-------|--------|--------|--------------------------|------------------|
| CAUDAL DE MODELO INGRESANTE (m3/s)          | K (m/s) | B (m) | h1     | h2     | Q teórico de modelo (m3) | Q prototipo (m3) |
| 0.000120                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0164 | 0.0067 | 0.000104906              | 0.328            |
| 0.000103                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0164 | 0.0064 | 0.000107837              | 0.337            |
| 0.000104                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0166 | 0.0064 | 0.000109825              | 0.343            |
| 0.000167                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0185 | 0.0074 | 0.000119122              | 0.372            |
| 0.000178                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0191 | 0.0076 | 0.000124066              | 0.388            |
| 0.000220                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0227 | 0.0070 | 0.000169533              | 0.530            |
| 0.000232                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0224 | 0.0071 | 0.000165700              | 0.518            |
| 0.000266                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0253 | 0.0071 | 0.000196801              | 0.615            |
| 0.000271                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0281 | 0.0071 | 0.000226232              | 0.707            |
| 0.000282                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0294 | 0.0071 | 0.000240438              | 0.751            |
| 0.000284                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0394 | 0.0071 | 0.000348403              | 1.089            |
| 0.000284                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0444 | 0.0071 | 0.000402403              | 1.258            |
| 0.000301                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0514 | 0.0075 | 0.000394899              | 1.234            |
| 0.000331                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0584 | 0.0082 | 0.000451856              | 1.412            |
| 0.000389                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0644 | 0.0095 | 0.000494173              | 1.544            |
| 0.000447                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0754 | 0.0106 | 0.000582826              | 1.821            |
| 0.000475                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0864 | 0.0115 | 0.000673902              | 2.106            |
| 0.000510                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0897 | 0.0186 | 0.000639883              | 2.000            |
| 0.000529                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0900 | 0.0192 | 0.000637194              | 1.991            |
| 0.000531                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0900 | 0.0193 | 0.000636911              | 1.990            |

#### B. CAUDAL CON PORCENTAJE DE APERTURA 10 % Y BOCAL ABIERTO

Tabla 50. Caudal que filtra a través de barrage Fijo-Fusible al 10% de apertura y bocal abierto, con fórmula de Dupuit.

| PORCENTAJE DE APERTURA 10 % Y BOCAL ABIERTO |         |       |        |        |                |                  |
|---|---------|-------|--------|--------|----------------|------------------|
| CAUDAL DE MODELO INGRESANTE (m3/s)          | K (m/s) | B (m) | h1     | h2     | Q teórico (m3) | Q prototipo (m3) |
| 0.000120                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0136 | 0.0024 | 0.000100415    | 0.314            |
| 0.000103                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0126 | 0.0022 | 0.000093626    | 0.293            |
| 0.000104                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0127 | 0.0022 | 0.000094025    | 0.294            |
| 0.000167                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0161 | 0.0029 | 0.000119186    | 0.372            |
| 0.000178                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0168 | 0.0030 | 0.000123579    | 0.386            |
| 0.000220                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0213 | 0.0041 | 0.000155286    | 0.485            |

|          |     |      |        |        |             |       |
|----------|-----|------|--------|--------|-------------|-------|
| 0.000232 | 0.1 | 0.09 | 0.0233 | 0.0041 | 0.000172113 | 0.538 |
| 0.000266 | 0.1 | 0.09 | 0.0288 | 0.0044 | 0.000219788 | 0.687 |
| 0.000271 | 0.1 | 0.09 | 0.0296 | 0.0044 | 0.000226799 | 0.709 |
| 0.000282 | 0.1 | 0.09 | 0.0314 | 0.0045 | 0.000242224 | 0.757 |
| 0.000284 | 0.1 | 0.09 | 0.0317 | 0.0045 | 0.000245028 | 0.766 |
| 0.000284 | 0.1 | 0.09 | 0.0317 | 0.0045 | 0.000245028 | 0.766 |
| 0.000301 | 0.1 | 0.09 | 0.0323 | 0.0046 | 0.000249306 | 0.779 |
| 0.000331 | 0.1 | 0.09 | 0.0345 | 0.0048 | 0.000267942 | 0.837 |
| 0.000389 | 0.1 | 0.09 | 0.0339 | 0.0048 | 0.000262742 | 0.821 |
| 0.000447 | 0.1 | 0.09 | 0.0511 | 0.0071 | 0.000395924 | 1.237 |
| 0.000475 | 0.1 | 0.09 | 0.0551 | 0.0075 | 0.000429051 | 1.341 |
| 0.000510 | 0.1 | 0.09 | 0.0602 | 0.0080 | 0.000470459 | 1.470 |
| 0.000529 | 0.1 | 0.09 | 0.0630 | 0.0082 | 0.000492938 | 1.540 |
| 0.000531 | 0.1 | 0.09 | 0.0633 | 0.0082 | 0.000495304 | 1.548 |

### C. CAUDAL CON PORCENTAJE DE APERTURA 20 % Y BOCAL CERRADO

Tabla 51. Caudal que filtra a través de barrage Fijo-Fusible al 20% de apertura y bocal cerrado, con fórmula de Dupuit.

| PORCENTAJE DE APERTURA 20 % Y BOCAL CERRADO |         |       |        |        |                |                  |
|---|---------|-------|--------|--------|----------------|------------------|
| CAUDAL DE MODELO INGRESANTE (m3/s)          | K (m/s) | B (m) | h1     | h2     | Q teórico (m3) | Q prototipo (m3) |
| 0.000120                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0150 | 0.0036 | 0.000102709    | 0.321            |
| 0.000103                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0140 | 0.0034 | 0.000095550    | 0.299            |
| 0.000104                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0140 | 0.0034 | 0.000095971    | 0.300            |
| 0.000167                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0179 | 0.0042 | 0.000122503    | 0.383            |
| 0.000178                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0185 | 0.0044 | 0.000127135    | 0.397            |
| 0.000220                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0220 | 0.0051 | 0.000152758    | 0.477            |
| 0.000232                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0224 | 0.0051 | 0.000155584    | 0.486            |
| 0.000266                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0234 | 0.0052 | 0.000163592    | 0.511            |
| 0.000271                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0235 | 0.0052 | 0.000164770    | 0.515            |
| 0.000282                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0239 | 0.0053 | 0.000167361    | 0.523            |
| 0.000284                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0239 | 0.0053 | 0.000167832    | 0.524            |
| 0.000284                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0239 | 0.0053 | 0.000167832    | 0.524            |
| 0.000301                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0274 | 0.0053 | 0.000199261    | 0.623            |
| 0.000331                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0281 | 0.0053 | 0.000204948    | 0.640            |
| 0.000389                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0293 | 0.0053 | 0.000215943    | 0.675            |
| 0.000447                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0319 | 0.0053 | 0.000239203    | 0.748            |
| 0.000475                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0352 | 0.0053 | 0.000269580    | 0.842            |



|          |     |      |        |        |             |       |
|----------|-----|------|--------|--------|-------------|-------|
| 0.000510 | 0.1 | 0.09 | 0.0617 | 0.0072 | 0.000491072 | 1.535 |
| 0.000529 | 0.1 | 0.09 | 0.0640 | 0.0073 | 0.000510341 | 1.595 |
| 0.000531 | 0.1 | 0.09 | 0.0642 | 0.0073 | 0.000512369 | 1.601 |

#### D. CAUDAL CON PORCENTAJE DE APERTURA 20 % Y BOCAL ABIERTO

Tabla 52. Caudal que filtra a través de barrage Fijo-Fusible al 20% de apertura y bocal abierto, con fórmula de Dupuit.

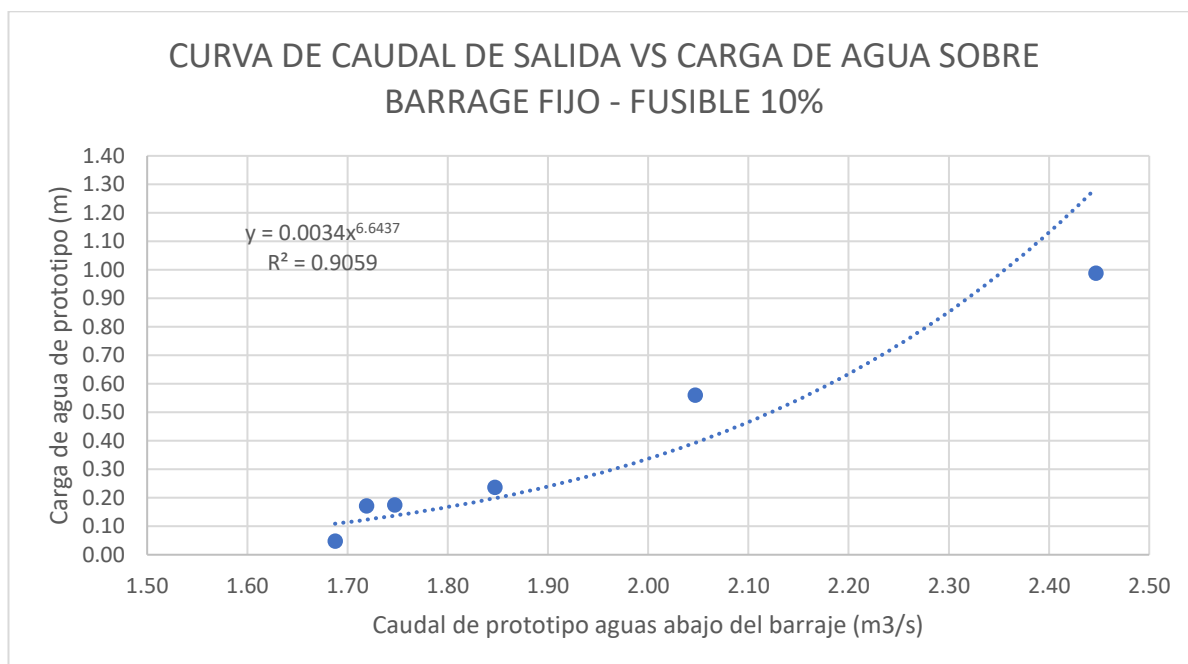
| PORCENTAJE DE APERTURA 20 % Y BOCAL ABIERTO     |         |       |        |        |                             |                               |
|---|---------|-------|--------|--------|-----------------------------|-------------------------------|
| CAUDAL DE MODELO INGRESANTE (m <sup>3</sup> /s) | K (m/s) | B (m) | h1     | h2     | Q teórico (m <sup>3</sup> ) | Q prototipo (m <sup>3</sup> ) |
| 0.000120  | 0.1     | 0.09  | 0.0249 | 0.0062 | 0.000168499                 | 0.527                         |
| 0.000103  | 0.1     | 0.09  | 0.0230 | 0.0061 | 0.000152285                 | 0.476                         |
| 0.000104  | 0.1     | 0.09  | 0.0231 | 0.0061 | 0.000153239                 | 0.479                         |
| 0.000167  | 0.1     | 0.09  | 0.0304 | 0.0067 | 0.000213324                 | 0.667                         |
| 0.000178  | 0.1     | 0.09  | 0.0317 | 0.0068 | 0.000223815                 | 0.699                         |
| 0.000220  | 0.1     | 0.09  | 0.0305 | 0.0072 | 0.000209155                 | 0.654                         |
| 0.000232  | 0.1     | 0.09  | 0.0305 | 0.0074 | 0.000208444                 | 0.651                         |
| 0.000266  | 0.1     | 0.09  | 0.0306 | 0.0077 | 0.000206431                 | 0.645                         |
| 0.000271  | 0.1     | 0.09  | 0.0306 | 0.0077 | 0.000206135                 | 0.644                         |
| 0.000282  | 0.1     | 0.09  | 0.0307 | 0.0079 | 0.000205483                 | 0.642                         |
| 0.000284  | 0.1     | 0.09  | 0.0307 | 0.0079 | 0.000205365                 | 0.642                         |
| 0.000284  | 0.1     | 0.09  | 0.0307 | 0.0079 | 0.000205365                 | 0.642                         |
| 0.000301  | 0.1     | 0.09  | 0.0336 | 0.0080 | 0.000230583                 | 0.721                         |
| 0.000331  | 0.1     | 0.09  | 0.0354 | 0.0082 | 0.000245138                 | 0.766                         |
| 0.000389  | 0.1     | 0.09  | 0.0388 | 0.0085 | 0.000273278                 | 0.854                         |
| 0.000447  | 0.1     | 0.09  | 0.0423 | 0.0088 | 0.000301417                 | 0.942                         |
| 0.000475  | 0.1     | 0.09  | 0.0439 | 0.0089 | 0.000315002                 | 0.984                         |
| 0.000510  | 0.1     | 0.09  | 0.0460 | 0.0091 | 0.000331983                 | 1.037                         |
| 0.000529  | 0.1     | 0.09  | 0.0471 | 0.0092 | 0.000341201                 | 1.066                         |
| 0.000531  | 0.1     | 0.09  | 0.0472 | 0.0092 | 0.000342171                 | 1.069                         |

#### 4.14 Gráfica de caudal aguas abajo vs carga de agua sobre barrage fijo-fusible

Para esto se procedió a tomar datos de caudal de salida y cargas de agua sobre el barrage Fijo-Fusible, luego se provino a generar curvas con ayuda de la herramienta Microsoft Excel, a estas curvas se les proporcionó la línea de tendencia y se calculó la ecuación correspondiente.

Tabla 53. Carga de agua en prototipo

| CAUDAL DE MODELO (m3/s) | CAUDAL DE PROTOTIPO (m3/s) | carga de agua de modelo (m) | carga de agua en prototipo (m) |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 0.000540                | 1.687500                   | 0.00                        | 0.05                           |
| 0.000550                | 1.718750                   | 0.01                        | 0.17                           |
| 0.000559                | 1.746875                   | 0.01                        | 0.17                           |
| 0.000591                | 1.846875                   | 0.01                        | 0.24                           |
| 0.000655                | 2.046875                   | 0.02                        | 0.56                           |
| 0.000783                | 2.446875                   | 0.04                        | 0.99                           |



Esta curva arroja como ecuación la siguiente:

$$y = 0.0034 * X^{6.6437}$$

$$R^2 = 0.9059$$

$R^2$  muestra cuánto se ajusta la línea de tendencia a los datos. Cuanto más cerca esté de  $R^2$  de 1, más se ajustará la ecuación. Se recomiendan valores de  $R^2$  por encima de 0.9.

La gráfica hallada podrá ser utilizadas con las siguientes condiciones de entorno:

- La captación deberá ser de alta montaña
- El tamaño medio de las gravas del enrocado deberá ser de 14.00 cm, puesto que se realizaron los ensayos con porosidad para este tamaño medio.
- La conductividad del barrage fusible deberá comprender valores de buen drenaje, es decir:  $k = 10^{-1} \text{m/s}$ .
- El Talud del barrage fusible (enrocado colocado a mano) deberá ser 1:1
- El porcentaje de apertura de barrage fusible deberá ser de 10%.
- Los caudales de entrada no deberán ser los de época de estiaje, puesto que en los ensayos se demostró que no existe presencia de agua sobre el barrage para esta época.

# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

#### 5.1.1. Conclusión general:

Se estima que en época de estiaje la captación de derivación, Tres Molinos, ubicada en el río Grande de la cuenca del mismo nombre, con la longitud variable del barraje fijo-fusible, tiene un comportamiento hidráulico similar al del barraje fijo, lo cual permite la captación de agua necesaria de dotación a través del bocal.

#### 5.1.2. Conclusiones específicas.

- A. La captación Tres Molinos es una captación de alta montaña, en la cual se evidencia que la época de estiaje se presenta a partir del mes de julio hasta el mes de noviembre y la época de crecida de agua se evidencia a partir de diciembre.
- B. En los aforos realizados con método físico intrusivo (Tubo de Pitot) en el río Grande, para la época de estiaje, a 200 metros aguas arriba del barraje, se logró obtener datos de caudales que tienen valores desde 0.38 m<sup>3</sup>/s hasta 1.66 m<sup>3</sup>/s, los cuales se llevaron a escala 1/25 para ser utilizados en el modelo, por lo que se trabajó con caudales que van desde 0.00012m<sup>3</sup>/s hasta 0.000531m<sup>3</sup>/s.
- C. Con el muestreo de gravas y cantos del río Grande, se logró realizar la curva granulométrica, con ella se pudo evidenciar que el D90 de gravas es 0.3m, el promedio es 0.18m y el D10 es 0.10m, esto llevado a escala para el modelo 1/25 resulta D90 es igual a 0.012m, el promedio es 0.00744m y el D10 es 0.0058m, con estos valores se seleccionó el material para construir el modelo a escala reducida.

- D. Se determinó la profundidad de agua frente al bocal del barrage fijo-fusible, con longitud de 10% del total en la parte fusible, ambos extremos, mediante modelo físico a escala 1/25, para caudales aforados. Estos tirantes van desde 0.0178m hasta 0.0429m, en un tiempo de 2 min, y de 0.0140m hasta 0.0655m, lo cual llevado a prototipo nos da que para un tiempo de 2 min los tirantes oscilan entre 0.44m hasta 1.22m y para un tiempo de 5 min, los tirantes oscilan entre 0.35 m y 1.64m. Estos tirantes van aumentando a medida que el caudal de entrada es mayor.
- E. Se determinó la profundidad de agua frente al bocal del barrage fijo-fusible, con longitud de 20% del total en la parte fusible, ambos extremos, mediante modelo físico a escala 1/25, para caudales aforados. Estos tirantes van desde 0.019m hasta 0.0321m, en un tiempo de 2 min, y de 0.0157m hasta 0.0619m, lo cual llevado a prototipo nos da que para un tiempo de 2 min los tirantes oscilan entre 0.3m hasta 0.8m y para un tiempo de 5 min, los tirantes oscilan entre 0.39 m y 1.55m. Estos tirantes van aumentando a medida que el caudal de entrada es mayor.
- F. Con los resultados obtenidos en los tirantes frente al bocal del prototipo, se puede evidenciar que es preferible utilizar un barrage fijo-fusible con una apertura del 10%, pues los tirantes son mayores, lo que provoca un mayor ingreso de agua hacia el bocal.
- G. Se logró determinar el coeficiente de descarga del barrage fijo-fusible, con longitud de 10% del total en la parte fusible, ambos extremos, mediante modelo físico a escala 1/25, para caudales aforados de diciembre a enero, estos valores de  $C_d$  van desde 0.14 hasta 9.06

- H. Se logró determinar en el modelo el caudal que filtra aguas abajo del barrage fijo-fusible, con longitud de 10% del total en la parte fusible, ambos extremos, y bocal cerrado, mediante la ecuación de Dupuit, estos valores oscilan entre 0.000105 m<sup>3</sup>/s hasta 0.000369 m<sup>3</sup>/s, estas cifras llevadas a prototipo van desde 0.328m<sup>3</sup>/s hasta 1.99 m<sup>3</sup>/s, para época de estiaje y con un barrage fusible construido con grava de diámetro d90, de acuerdo a la curva granulométrica.
- I. Se logró determinar en el modelo el caudal que filtra aguas abajo del barrage fijo-fusible, con longitud de 10% del total en la parte fusible, ambos extremos, y bocal abierto, mediante la ecuación de Dupuit, estos valores oscilan entre 0.000101 m<sup>3</sup>/s hasta 0.000495 m<sup>3</sup>/s, estas cifras llevadas a prototipo van desde 0.314m<sup>3</sup>/s hasta 1.548 m<sup>3</sup>/s.
- J. Se logró determinar en el modelo el caudal que filtra aguas abajo del barrage fijo-fusible, con longitud de 20% del total en la parte fusible, ambos extremos, y bocal cerrado, mediante la ecuación de Dupuit, estos valores oscilan entre 0.000123 m<sup>3</sup>/s hasta 0.000512 m<sup>3</sup>/s, estas cifras llevadas a prototipo van desde 0.321 m<sup>3</sup>/s hasta 1.601 m<sup>3</sup>/s.
- K. Se logró determinar en el modelo el caudal que filtra aguas abajo del barrage fijo-fusible, con longitud de 20% del total en la parte fusible, ambos extremos, y bocal abierto, mediante la ecuación de Dupuit, estos valores oscilan entre 0.000169 m<sup>3</sup>/s hasta 0.000342 m<sup>3</sup>/s, estas cifras llevadas a prototipo van desde 0.527 m<sup>3</sup>/s hasta 1.069 m<sup>3</sup>/s.
- L. Con los datos obtenidos se logró realizar curvas, para con ellas obtener la línea de tendencia y ecuación de cada una de ellas, tales como:
- Para un barrage fijo-fusible de apertura 10% y bocal cerrado:

$$y = 1.4348 * X^{1.1755}$$

- Para un barrage fijo-fusible de apertura 10% y bocal abierto:

$$y = 0.8809 * X^{1.0088}$$

- Para un barrage fijo-fusible de apertura 20% y bocal abierto.

$$y = 0.5233 * X^{0.8138}$$

- Para un barrage fijo-fusible de apertura 20% y bocal cerrado:

$$y = 0.5233 * X^{0.8138}$$

En cada una de estas ecuaciones, Y representa el tirante/ancho y X el caudal unitario.

Esto contribuirá a futuras investigaciones.

M. Se puede observar, con los resultados obtenidos, que la eficiencia del barrage fijo-fusible en época de estiaje es óptima, y dicha estructura no tiene impedimentos en cuanto a funcionamiento en esta época, pues los tirantes que se alcanzan superan los 30 cm de altura, lo que permite que por el bocal ingrese, hacia el canal, un caudal mayor a 100 l/s.

N. Se observa que es factible la construcción de un barrage fijo-fusible en la captación tres molinos, el enrocado puede ser construido con material de la misma zona, el cual tiene buenas características para el funcionamiento óptimo de la captación.

O. El Barraje-fijo fusible, en la captación tres molinos, cuenta con descarga aguas abajo, en época de estiaje, a través del enrocado y no sobre la estructura.

P. El Barraje-fijo fusible, en la captación tres molinos, cuenta con descarga, aguas abajo, sobre la estructura desde la época de crecida de caudal.

## **5.2 Recomendaciones**

- A. Al momento de aforar el caudal del río, se recomienda que se realice los aforos en una sección del río definida, la cual deberá ser aguas arriba del barrage y no deberá presentar rastros de intervención humana.
- B. Cuando se realice las mediciones de tirantes en el modelo, es recomendable utilizar una cinta metálica que atraviese la estructura, y medir desde la cinta hasta el nivel de agua, para poder tomar datos precisos.
- C. Se recomienda utilizar una electrobomba con mayor potencia a 1 HP, para conseguir caudales de entrada mayores y hacer las pruebas en época de máximas avenidas.
- D. Al momento de construir la parte del enrocado de barrage, se recomienda hacerlo de manera ordenada, para evitar la desestabilidad en dicha estructura.



## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

#### A. Bibliografía

1. Apacla, R. (2014). *Hidráulica Fluvial*. Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú: UNALM
2. Azevedo, N. y Acosta, A. (1976). *Manual de Hidráulica*. México: Harla.
3. Bear, J. (1972). *Dynamics of Fluid in Porous Media*. Canada: Elsevier.
4. Chanson, H. (2002). *Hidráulica del flujo en canales abiertos*. Colombia: Mc Graw Hill.
5. Chow, V. T. (1994). *Hidraulica de canales abiertos*. Colombia: McGraw-Hill.
6. French, R. (1988). *Hidráulica de Canales Abiertos*. México: Mc Graw Hill.
7. Martín, J. (2002). *Ingeniería de Ríos*. Barcelona: Ediciones de la Universidad Politécnica de Catalunya.
8. Montero, L. (1985). *Uso de enrocados en obras hidráulicas*. Chile: Universitaria.
9. Novak, P., Moffat, A. y Nalluri, C. (2001). *Estructuras Hidráulicas*. Colombia: McGraw-Hill.
10. Ochoa, T. (2011). *Hidráulica de ríos y procesos morfológicos*. Colombia: Ecoe Ediciones.
11. Ordoñez, M. (1982). *Clasificaciones de granulometría*. Venezuela: Mérida
12. Rocha, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica Fluvial*. Lima, Perú: Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería.
13. Rocha, A. (2006). *La Problemática de la Sedimentación de Embalses en el Aprovechamiento de los Ríos Peruanos, Aplicada al Embalse de Poechos*. Primer Congreso Internacional de Hidráulica, Hidrología, Saneamiento y Medio Ambiente. Lima, Perú.

14. Salager, J. (2007) *Granulometría teórica*. Mérida, Venezuela: Universidad de los Andes.
15. Sotelo, A. (1994), *Hidráulica general*. México: LIMUSA S.A.
16. Swanston, G. (2006). *Topografía: mensaje gráfico geoespacial*. Venezuela: ISBN.
17. Torres, A., Villate, E. (2001). *Topografía*. Bogotá, Colombia: Alfabeta.
18. Vergara, M. (1995). *Técnicas de Modelación en Hidráulica*. México: Alfaomega.
19. Whitman, R. y Lambe, W. (2004). *Mecánica de suelos*. México: Limusa.
20. Wolf, P. y Brinker, R. (1997). *Topografía*. México: Alfaomega.

## **B. Linkografía**

1. Hamed, N. (2016). *Hidráulica de canales*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/riego-drenaje/Hidraulica-de-canales.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/riego-drenaje/Hidraulica-de-canales.pdf)
2. Manual de la Universidad del Cauca (2009). Estudio y patronamiento de vertederos. Colombia. Facultad de Hidráulica: [https://repositorio.udc.edu.co/9102704/DEPARTAMENTO\\_DE\\_HIDR%C3%81ULICA](https://repositorio.udc.edu.co/9102704/DEPARTAMENTO_DE_HIDR%C3%81ULICA)
3. Marbello, R. (2005), *Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica*, Universidad de Colombia, sede Medellín, Escuela de Geociencias y Medio ambiente.  
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/21725/3353962.2005.Parte%2013.pdf?sequence=11&isAllowed=y>
4. Senamhi (2018). *Manual de Hidrometría*.  
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/00701SENA-924.pdf>

### C. Artículos

1. Cabrera, J. (2012). *Calibración de Modelos Hidrológicos*. Perú: repositorio institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería:  
[https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/modhidro\\_2.pdf](https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf)
2. Pachas, L. (2009). *El levantamiento topográfico: Uso del GPS y estación total*. Venezuela: repositorio institucional ULA:  
<http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/30397/articulo3.pdf;jsessionid=D0CFBAED7ED08F49A42D04E6E2186F0F?sequence=1>
3. Padilla, J. (2001). *Manual del Curso de Topografía Moderna. Procesos Cartográficos Automatizados*. México: repositorio institucional Universidad central de Ecuador: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/985/1/T-UCE-0011-7.pdf>

### D. Tesis

1. Huamán, F. (2003). *Captación de Agua Superficial, en condiciones de Alta Montaña*. [Trabajo de fin de Magister, Universidad Nacional de Cajamarca]; Repositorio de la Universidad nacional de Cajamarca.
2. Huamán, F. (2016). *Efectos de la descolmatación inducida en la eficiencia de captación y en la morfología del río grande-Cajamarca, aguas arriba del barrage*. [Trabajo de fin de Doctorado, Universidad nacional de Cajamarca]; Repositorio de investigación de la Universidad Nacional de Cajamarca;  
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1362>.
3. Puga, M. A. (2010). *Modelo hidráulico físico de vertederos como ayuda de aprendizaje de la materia de hidráulica*. [Trabajo de fin de Grado, Universidad Politécnica del Ejército]; Repositorio de investigación de la Universidad Politécnica

del Ejército; <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1681/1/T-ESPE-029265.pdf>.

4. Tapia, C. (2009) *Análisis numérico del proceso de filtración en presas de escollera*, [Trabajo de fin de Magister, Universidad de Catalunya]; Repositorio de la Universidad de Catalunya.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8670/00.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## ANEXO

### ANEXO N°1: TÉRMINOS BÁSICOS

- **Captación:** Estructura encargada del proceso de recolección y almacenamiento de agua de fuentes naturales, como ríos, arroyos, lagos o pozos para su posterior uso. Este proceso puede incluir la construcción de estructuras como represas, embalses, pozos o sistemas de canalización para asegurar un suministro de agua constante y seguro para actividades como consumo, agricultura, industria y otros usos. La captación de agua es esencial para garantizar el acceso a agua potable y para fines de riego y producción de alimentos.
- **Barrage fijo-fusible:** Un barrage es una estructura construida en un cuerpo de agua, como río o arroyo, con el propósito de regular o controlar el flujo de agua. Por lo general, los barrages son construidos para fines como: irrigación, generación de energía, control de inundaciones y suministro de agua potable. La característica principal de un barrage fijo-fusible es que contiene secciones o partes que están diseñadas para romperse o abrirse en caso de que el nivel de agua alcance un punto crítico. Estas partes fusibles están diseñadas de modo que, al romperse o abrirse, permitan el paso de agua a través del barrage de manera controlada.
- **Bocal:** Es una entrada de agua en una estructura diseñada para la captación de agua. Esta parte de la captación se encarga de dirigir el fluido hacia el sistema de almacenamiento o canales. La ubicación y diseño correcto es esencial para el buen funcionamiento de la captación de agua.
- **Modelo hidráulico:** Es una representación a escala de un sistema hidráulico real, y es utilizado con fines de estudio, diseño o prueba. Estos modelos se crean para comprender y simular el comportamiento de sistemas hidráulicos más grandes y

complejos, como ríos, canales, sistemas de tuberías, presas, embalses o redes de distribución de agua. Pueden ser modelos hidráulicos físicos o matemáticos.

- **Eficiencia:** Se refiere a la medida en que un sistema cumple de forma efectiva con la función asignada, es importante maximizar la eficiencia de captaciones de agua en zonas donde el agua es escasa o se enfrenta a periodos de sequía.
- **Río de alta montaña:** Es un río que tiene su origen en las elevadas regiones montañosas. Estos ríos suelen fluir a través de terrenos con pendientes pronunciadas, cañones, cascadas y tienen un rápido descenso en altitud. Generalmente tienen las siguientes características:
  - Fuentes de agua: Suelen nacer de fuentes naturales en las cimas de montañas, glaciares, lagos de alta montaña o de aguas subterráneas que emergen en zonas montañosas, como es el caso de la Captación Tres Molinos.
  - Flujo rápido: Debido a la pendiente pronunciada del terreno, suelen tener un flujo de agua rápido y turbulento.
  - Erosión: A menudo desgastan el paisaje circundante.
  - Agua fresca y clara: Esto los hace importantes para la vida silvestre y el abastecimiento de agua potable.
  - Clima variable: Estos ríos pueden experimentar cambios estacionales significativos en su caudal y muchas veces puede resultar en crecidas temporales.
- **R<sup>2</sup>:** El coeficiente de determinación es la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión. refleja la bondad del ajuste de un modelo a la variable que pretende explicar. Su valor oscila entre 0-1 y mientras más cerca de 1 se encuentre, quiere decir que la ecuación más se ajusta al valor que se desea obtener.

Se calcula mediante la ecuación:

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{N-1}{N-k-1} [1 - R^2]$$

En la fórmula, N es el tamaño de la muestra y k el número de variables explicativas.

Por deducción matemática, a valores más altos de k, más alejado estará el R cuadrado ajustado del R cuadrado normal.

## ANEXO N°2: Tablas de Resultados

Tabla 54: Datos de geométricos en Captación Tres Molinos

| DATOS PROTOTIPO                                  |          |          |
|--|----------|----------|
| Dato   | Magnitud | Unidades |
| Longitud del tramo del río                       | 50.00    | m        |
| Ancho menor de sección del río                   | 9.70     | m        |
| Ancho mayor de sección del río                   | 18.00    | m        |
| Profundidad mayor de sección del río             | 3.00     | m        |
| Pendiente del cauce antes de la colmatación      | 0.0133   | m/m      |
| Pendiente del cauce colmatado                    | 0.0001   | m/m      |
| Longitud del barrage de hormigón                 | 18.00    | m        |
| Altura del barrage de hormigón                   | 2.20     | m        |
| Talud aguas abajo del barrage (V:H)              | 01:02    | No tiene |
| Ancho de corona del barrage                      | 0.72     | m        |
| Longitud del bocal                               | 1.00     | m        |
| Altura del bocal                                 | 1.00     | m        |
| Longitud muro derecho, aguas arriba, de hormigón | 25.00    | m        |

|  |       |          |
|--|-------|----------|
| Longitud muro izquierdo, aguas arriba, de hormigón | 9.60  | m        |
| Altura de muros                                    | 3.00  | m        |
| Longitud poza disipadora de energía, de hormigón   | 17.10 | m        |
| Ancho poza disipadora de energía, de hormigón      | 18.00 | m        |
| Ancho de abertura 10%                              | 1.80  | m        |
| ancho de abertura 20%                              | 3.60  | m        |
| ancho corona barrage fusible                       | 0.72  | m        |
| talud barrage fusible                              | 01:02 | No tiene |

Tabla 55 :Tamaño de gravas en prototipo

| DATOS PROTOTIPO         |          |          |
|-------------------------|----------|----------|
| Dato                    | Magnitud | Unidades |
| d90 de Gravas           | 0.30     | m        |
| d10 de Gravas           | 0.13     | m        |
| Promedio de Gravas      | 0.186    | m        |
| Tamaño máximo de Gravas | 0.38     | m        |
| Tamaño mínimo de Gravas | 0.06     | m        |

Tabla 56: Datos de hidráulica en el prototipo

| ITEM | Fecha         | Caudal                            | Duración<br>estimada | PROF<br>MEDIA<br>Prot. | ANCHO<br>ESPEJO<br>Prot. | AREA<br>Prot.     | Velocidad<br>del<br>prototipo |
|------|---------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------|
|      | (día/mes/año) | (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ) | (días)               | (m)                    | (m)                      | (m <sup>2</sup> ) | m/s                           |



|    |            |      |    |        |      |         |       |
|----|------------|------|----|--------|------|---------|-------|
| 1  | 23/07/2021 | 0.38 | 10 | 0.1288 | 6.11 | 0.8058  | 0.478 |
| 2  | 1/08/2021  | 0.32 | 7  | 0.1272 | 6.11 | 0.79355 | 0.414 |
| 3  | 8/08/2021  | 0.32 | 7  | 0.1582 | 6.11 | 0.9874  | 0.335 |
| 4  | 15/08/2021 | 0.52 | 7  | 0.1960 | 6.11 | 1.2345  | 0.437 |
| 5  | 22/08/2021 | 0.56 | 7  | 0.2131 | 6.11 | 1.3425  | 0.428 |
| 6  | 29/08/2021 | 0.69 | 7  | 0.2160 | 6.11 | 1.3605  | 0.521 |
| 7  | 5/09/2021  | 0.72 | 7  | 0.2483 | 6.11 | 1.5227  | 0.477 |
| 8  | 12/09/2021 | 0.83 | 7  | 0.2698 | 6.11 | 1.67005 | 0.504 |
| 9  | 19/09/2021 | 0.85 | 7  | 0.2345 | 6.11 | 1.4528  | 0.591 |
| 10 | 26/09/2021 | 0.88 | 7  | 0.2452 | 6.11 | 1.5184  | 0.589 |
| 11 | 3/10/2021  | 0.89 | 7  | 0.2629 | 6.11 | 1.6313  | 0.552 |
| 12 | 10/10/2021 | 0.89 | 7  | 0.2643 | 6.11 | 1.6403  | 0.550 |
| 13 | 17/10/2021 | 0.94 | 7  | 0.2719 | 6.11 | 1.6864  | 0.566 |
| 14 | 24/10/2021 | 1.03 | 7  | 0.2824 | 6.11 | 1.7505  | 0.599 |
| 15 | 31/10/2021 | 1.21 | 7  | 0.2990 | 6.11 | 1.8517  | 0.664 |
| 16 | 7/11/2021  | 1.40 | 7  | 0.3333 | 6.11 | 2.0639  | 0.686 |
| 17 | 14/11/2021 | 1.48 | 7  | 0.3510 | 6.11 | 2.1654  | 0.692 |
| 18 | 21/10/2021 | 1.59 | 7  | 0.3690 | 6.11 | 2.2756  | 0.706 |
| 19 | 28/11/2021 | 1.65 | 7  | 0.3819 | 6.11 | 2.3566  | 0.708 |
| 20 | 5/12/2021  | 1.66 | 7  | 0.3814 | 6.11 | 2.3593  | 0.712 |

Tabla 57: Datos geométricos en modelo de captación Tres Molinos

| DATOS MODELO   |          |          |
|--|----------|----------|
| Dato para construcción del modelo                              | Magnitud | Unidad   |
| Longitud del tramo del río                                     | 2        | m        |
| Ancho menor de sección del río                                 | 0.388    | m        |
| Ancho mayor de sección del río                                 | 0.72     | m        |
| Profundidad mayor de sección del río                           | 0.12     | m        |
| Pendiente del cauce antes de la colmatación                    | 0.0133   | m/m      |
| Pendiente del cauce colmatado                                  | 0.0001   | m/m      |
| Longitud del barrage   | 0.72     | m        |
| Altura del barrage   | 0.088    | m        |
| Talud aguas abajo del barrage (V:H)                            | 01:02    | No tiene |
| Ancho de corona del barrage                                    | 0.0288   | m        |
| Longitud del bocal   | 0.04     | m        |
| Altura del bocal   | 0.04     | m        |
| Longitud muro derecho, aguas arriba del barrage                | 1        | m        |
| Longitud muro izquierdo, aguas arriba aguas arriba del barrage | 0.384    | m        |
| Altura de muros  | 0.12     | m        |
| Longitud poza disipadora de energía                            | 0.684    | m        |
| Ancho poza disipadora de energía                               | 0.72     | m        |
| Ancho de abertura 10%  | 0.072    | m        |
| ancho de abertura 20%  | 0.144    | m        |

|                              |        |          |
|------------------------------|--------|----------|
| ancho corona barrage fusible | 0.0288 | m        |
| talud barrage fusible        | 01:02  | No tiene |

Tabla 58: Tamaño de gravas para modelo escala 1/25

| DATOS MODELO                      |          |        |
|-----------------------------------|----------|--------|
| Dato para construcción del modelo | Magnitud | Unidad |
| d90 de Gravas (grava a escala)    | 12       | mm     |
| d10 de Gravas (gravas a escala)   | 5.28     | mm     |
| Promedio de Gravas                | 0.7440   | cm     |
| Tamaño máximo de Gravas           | 1.5200   | cm     |
| Tamaño mínimo de Gravas           | 0.2400   | cm     |

Tabla 59: Hidráulica de modelo escala 1/25

| ITEM | Fecha         | Vm     | Caudal modelo     | caudal modelo |
|------|---------------|--------|-------------------|---------------|
|      | (día/mes/año) | m/s    | m <sup>3</sup> /s | l/s           |
| 1    | 23/07/2021    | 0.0957 | 0.000120          | 0.120         |
| 2    | 1/08/2021     | 0.0828 | 0.000103          | 0.103         |
| 3    | 8/08/2021     | 0.0670 | 0.000104          | 0.104         |
| 4    | 15/08/2021    | 0.0873 | 0.000167          | 0.167         |
| 5    | 22/08/2021    | 0.0856 | 0.000178          | 0.178         |
| 6    | 29/08/2021    | 0.1042 | 0.000220          | 0.220         |
| 7    | 5/09/2021     | 0.0954 | 0.000232          | 0.232         |

|    |            |        |          |       |
|----|------------|--------|----------|-------|
| 8  | 12/09/2021 | 0.1008 | 0.000266 | 0.266 |
| 9  | 19/09/2021 | 0.1183 | 0.000271 | 0.271 |
| 10 | 26/09/2021 | 0.1177 | 0.000282 | 0.282 |
| 11 | 3/10/2021  | 0.1105 | 0.000284 | 0.284 |
| 12 | 10/10/2021 | 0.1100 | 0.000284 | 0.284 |
| 13 | 17/10/2021 | 0.1132 | 0.000301 | 0.301 |
| 14 | 24/10/2021 | 0.1199 | 0.000331 | 0.331 |
| 15 | 31/10/2021 | 0.1329 | 0.000389 | 0.389 |
| 16 | 7/11/2021  | 0.1372 | 0.000447 | 0.447 |
| 17 | 14/11/2021 | 0.1385 | 0.000475 | 0.475 |
| 18 | 21/10/2021 | 0.1413 | 0.000510 | 0.510 |
| 19 | 28/11/2021 | 0.1417 | 0.000529 | 0.529 |
| 20 | 5/12/2021  | 0.1425 | 0.000531 | 0.531 |

Tabla 60: Tirantes de agua frente al bocal, con barrage fijo-fusible de apertura 10%

| CAUDAL DE MODELO | TIRANTES FRENTE A BOCAL                     |      |      |               |      |      |             |      |      |               |      |      |
|------------------|---|------|------|---------------|------|------|-------------|------|------|---------------|------|------|
| ESC: 1/25        | Ensayo con apertura del 10% y bocal abierto |      |      |               |      |      |             |      |      |               |      |      |
| I/s              | 2 MIN                                       |      |      |               |      |      | 5 MIN       |      |      |               |      |      |
|                  | MODELO (cm)                                 |      |      | PROTOTIPO (m) |      |      | MODELO (cm) |      |      | PROTOTIPO (m) |      |      |
|                  | Izq.  | Cen. | Der. | Izq.          | Cen. | Der. | Izq.        | Cen. | Der. | Izq.          | Cen. | Der. |
| 0.120            | 1.84  | 1.97 | 1.78 | 0.46          | 0.49 | 0.44 | 1.23        | 1.45 | 1.40 | 0.31          | 0.36 | 0.35 |
| 0.103            | 1.85  | 1.98 | 1.85 | 0.46          | 0.50 | 0.46 | 1.16        | 1.34 | 1.29 | 0.29          | 0.34 | 0.32 |
| 0.104            | 1.85  | 1.98 | 1.85 | 0.46          | 0.50 | 0.46 | 1.16        | 1.35 | 1.30 | 0.29          | 0.34 | 0.32 |
| 0.167            | 1.80  | 1.93 | 1.58 | 0.45          | 0.48 | 0.39 | 1.41        | 1.74 | 1.69 | 0.35          | 0.44 | 0.42 |
| 0.178            | 1.79  | 1.92 | 1.53 | 0.45          | 0.48 | 0.38 | 1.45        | 1.81 | 1.76 | 0.36          | 0.45 | 0.44 |
| 0.220            | 1.55  | 1.68 | 1.47 | 0.39          | 0.42 | 0.37 | 2.05        | 2.23 | 2.13 | 0.51          | 0.56 | 0.53 |
| 0.232            | 1.79  | 1.92 | 1.53 | 0.45          | 0.48 | 0.38 | 2.22        | 2.46 | 2.30 | 0.56          | 0.61 | 0.58 |
| 0.266            | 2.46  | 2.59 | 1.72 | 0.61          | 0.65 | 0.43 | 2.72        | 3.10 | 2.80 | 0.68          | 0.78 | 0.70 |
| 0.271            | 2.56  | 2.69 | 1.75 | 0.64          | 0.67 | 0.44 | 2.80        | 3.20 | 2.88 | 0.70          | 0.80 | 0.72 |
| 0.282            | 2.77  | 2.90 | 1.81 | 0.69          | 0.73 | 0.45 | 2.96        | 3.41 | 3.04 | 0.74          | 0.85 | 0.76 |
| 0.284            | 2.81  | 2.94 | 1.82 | 0.70          | 0.74 | 0.46 | 2.99        | 3.45 | 3.07 | 0.75          | 0.86 | 0.77 |
| 0.284            | 2.81  | 2.94 | 1.82 | 0.70          | 0.74 | 0.46 | 2.99        | 3.45 | 3.07 | 0.75          | 0.86 | 0.77 |
| 0.301            | 1.83  | 1.96 | 1.99 | 0.46          | 0.49 | 0.50 | 3.18        | 3.25 | 3.25 | 0.80          | 0.81 | 0.81 |
| 0.331            | 1.97  | 2.10 | 2.36 | 0.49          | 0.53 | 0.59 | 3.48        | 3.38 | 3.50 | 0.87          | 0.84 | 0.88 |
| 0.389            | 1.89  | 2.07 | 2.07 | 0.47          | 0.52 | 0.52 | 3.29        | 3.45 | 3.45 | 0.82          | 0.86 | 0.86 |
| 0.447            | 3.70  | 3.84 | 3.81 | 0.93          | 0.96 | 0.95 | 5.03        | 5.16 | 5.13 | 1.26          | 1.29 | 1.28 |
| 0.475            | 3.90  | 4.12 | 4.16 | 0.97          | 1.03 | 1.04 | 5.38        | 5.56 | 5.60 | 1.35          | 1.39 | 1.40 |
| 0.510            | 4.15  | 4.47 | 4.61 | 1.04          | 1.12 | 1.15 | 5.83        | 6.05 | 6.19 | 1.46          | 1.51 | 1.55 |
| 0.529            | 4.28  | 4.65 | 4.85 | 1.07          | 1.16 | 1.21 | 6.07        | 6.32 | 6.51 | 1.52          | 1.58 | 1.63 |
| 0.531            | 4.29  | 4.67 | 4.87 | 1.07          | 1.17 | 1.22 | 6.09        | 6.35 | 6.55 | 1.52          | 1.59 | 1.64 |

Tabla 61: Tirantes de agua frente al bocal, con barrage fijo-fusible de apertura 20%

| CAUDAL DE MODELO | TIRANTES FRENTE A BOCAL                     |      |      |               |      |      |             |      |      |               |      |      |
|------------------|---|------|------|---------------|------|------|-------------|------|------|---------------|------|------|
| ESC: 1/25        | Ensayo con apertura del 20% y bocal abierto |      |      |               |      |      |             |      |      |               |      |      |
| I/s              | 2 MIN                                       |      |      |               |      |      | 5 MIN       |      |      |               |      |      |
|                  | MODELO (cm)                                 |      |      | PROTOTIPO (m) |      |      | MODELO (cm) |      |      | PROTOTIPO (m) |      |      |
|                  | Izq.  | Cen. | Der. | Izq.          | Cen. | Der. | Izq.        | Cen. | Der. | Izq.          | Cen. | Der. |
| 0.120            | 1.18  | 1.35 | 1.19 | 0.30          | 0.34 | 0.30 | 1.49        | 1.44 | 1.57 | 0.37          | 0.36 | 0.39 |
| 0.103            | 1.10  | 1.25 | 1.14 | 0.27          | 0.31 | 0.28 | 1.36        | 1.39 | 1.44 | 0.34          | 0.35 | 0.36 |
| 0.104            | 1.10  | 1.26 | 1.14 | 0.28          | 0.31 | 0.28 | 1.37        | 1.39 | 1.45 | 0.34          | 0.35 | 0.36 |
| 0.167            | 1.42  | 1.62 | 1.35 | 0.35          | 0.41 | 0.34 | 1.84        | 1.60 | 1.92 | 0.46          | 0.40 | 0.48 |
| 0.178            | 1.47  | 1.68 | 1.38 | 0.37          | 0.42 | 0.35 | 1.92        | 1.63 | 2.00 | 0.48          | 0.41 | 0.50 |
| 0.220            | 1.56  | 1.63 | 1.69 | 0.39          | 0.41 | 0.42 | 1.99        | 2.34 | 2.28 | 0.50          | 0.58 | 0.57 |
| 0.232            | 1.67  | 1.70 | 1.82 | 0.42          | 0.42 | 0.45 | 1.95        | 2.42 | 2.35 | 0.49          | 0.60 | 0.59 |
| 0.266            | 1.97  | 1.90 | 2.18 | 0.49          | 0.47 | 0.55 | 1.84        | 2.63 | 2.55 | 0.46          | 0.66 | 0.64 |
| 0.271            | 2.01  | 1.93 | 2.24 | 0.50          | 0.48 | 0.56 | 1.82        | 2.67 | 2.58 | 0.45          | 0.67 | 0.64 |
| 0.282            | 2.11  | 1.99 | 2.36 | 0.53          | 0.50 | 0.59 | 1.78        | 2.74 | 2.64 | 0.45          | 0.68 | 0.66 |
| 0.284            | 2.13  | 2.01 | 2.38 | 0.53          | 0.50 | 0.59 | 1.77        | 2.75 | 2.66 | 0.44          | 0.69 | 0.66 |
| 0.284            | 2.13  | 2.01 | 2.38 | 0.53          | 0.50 | 0.59 | 1.77        | 2.75 | 2.66 | 0.44          | 0.69 | 0.66 |
| 0.301            | 2.47  | 2.60 | 2.55 | 0.62          | 0.65 | 0.64 | 2.67        | 2.80 | 2.75 | 0.67          | 0.70 | 0.69 |
| 0.331            | 2.57  | 2.71 | 2.60 | 0.64          | 0.68 | 0.65 | 2.76        | 2.86 | 2.80 | 0.69          | 0.72 | 0.70 |
| 0.389            | 2.75  | 2.92 | 2.69 | 0.69          | 0.73 | 0.67 | 2.92        | 2.98 | 2.89 | 0.73          | 0.74 | 0.72 |
| 0.447            | 2.70  | 2.80 | 2.78 | 0.68          | 0.70 | 0.70 | 3.25        | 3.13 | 3.17 | 0.81          | 0.78 | 0.79 |
| 0.475            | 2.75  | 2.80 | 2.83 | 0.69          | 0.70 | 0.71 | 3.78        | 3.30 | 3.48 | 0.95          | 0.83 | 0.87 |
| 0.510            | 3.10  | 2.90 | 3.18 | 0.78          | 0.73 | 0.80 | 7.53        | 5.02 | 5.96 | 1.88          | 1.26 | 1.49 |
| 0.529            | 3.13  | 2.90 | 3.21 | 0.78          | 0.73 | 0.80 | 7.89        | 5.14 | 6.17 | 1.97          | 1.29 | 1.54 |
| 0.531            | 3.13  | 2.90 | 3.21 | 0.78          | 0.73 | 0.80 | 7.93        | 5.15 | 6.19 | 1.98          | 1.29 | 1.55 |

Tabla 62: Coeficiente de descarga en Barrage fijo-fusible de apertura 10%

| CALCULO DE COEFICIENTE DE DESCARGA |  |                                      |  |  |    |
|------------------------------------|--|--------------------------------------|--|--|----|
| FECHA                              | Caudal de Entrada -<br>PROTOTIPO<br>(m3/s) | Ancho de<br>barrage<br>prototipo (m) | de<br>agua<br>modelo<br>(m) Esc.<br>1/25 | Carga de<br>Carga de agua<br>prototipo (m) | Cd |

|            |          |    |        |      |      |
|------------|----------|----|--------|------|------|
| 12/12/2021 | 1.687500 | 18 | 0.0019 | 0.05 | 9.06 |
| 19/12/2021 | 1.718750 | 18 | 0.0068 | 0.17 | 1.36 |
| 26/12/2021 | 1.746875 | 18 | 0.0070 | 0.17 | 1.33 |
| 2/01/2022  | 1.846875 | 18 | 0.0094 | 0.24 | 0.89 |
| 9/01/2022  | 2.046875 | 18 | 0.0224 | 0.56 | 0.27 |
| 16/01/2022 | 2.446875 | 18 | 0.0395 | 0.99 | 0.14 |

Tabla 63: caudal con porcentaje de apertura 10 % y bocal cerrado

| PORCENTAJE DE APERTURA 10 % Y BOCAL CERRADO |         |       |        |        |                            |                    |
|---|---------|-------|--------|--------|----------------------------|--------------------|
| CAUDAL DE MODELO INGRESANTE (m3/s)          | K (m/s) | B (m) | h1     | h2     | Q teórico de modelo (m3/s) | Q prototipo (m3/s) |
| 0.000120                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0164 | 0.0067 | 0.000104906                | 0.328              |
| 0.000103                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0164 | 0.0064 | 0.000107837                | 0.337              |
| 0.000104                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0166 | 0.0064 | 0.000109825                | 0.343              |
| 0.000167                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0185 | 0.0074 | 0.000119122                | 0.372              |
| 0.000178                                    | 0.1     | 0.09  | 0.0191 | 0.0076 | 0.000124066                | 0.388              |

|          |     |      |        |        |             |       |
|----------|-----|------|--------|--------|-------------|-------|
| 0.000220 | 0.1 | 0.09 | 0.0227 | 0.0070 | 0.000169533 | 0.530 |
| 0.000232 | 0.1 | 0.09 | 0.0224 | 0.0071 | 0.000165700 | 0.518 |
| 0.000266 | 0.1 | 0.09 | 0.0253 | 0.0071 | 0.000196801 | 0.615 |
| 0.000271 | 0.1 | 0.09 | 0.0281 | 0.0071 | 0.000226232 | 0.707 |
| 0.000282 | 0.1 | 0.09 | 0.0294 | 0.0071 | 0.000240438 | 0.751 |
| 0.000284 | 0.1 | 0.09 | 0.0394 | 0.0071 | 0.000348403 | 1.089 |
| 0.000284 | 0.1 | 0.09 | 0.0444 | 0.0071 | 0.000402403 | 1.258 |
| 0.000301 | 0.1 | 0.09 | 0.0514 | 0.0075 | 0.000394899 | 1.234 |
| 0.000331 | 0.1 | 0.09 | 0.0584 | 0.0082 | 0.000451856 | 1.412 |
| 0.000389 | 0.1 | 0.09 | 0.0644 | 0.0095 | 0.000494173 | 1.544 |
| 0.000447 | 0.1 | 0.09 | 0.0754 | 0.0106 | 0.000582826 | 1.821 |
| 0.000475 | 0.1 | 0.09 | 0.0864 | 0.0115 | 0.000673902 | 2.106 |
| 0.000510 | 0.1 | 0.09 | 0.0897 | 0.0186 | 0.000639883 | 2.000 |
| 0.000529 | 0.1 | 0.09 | 0.0900 | 0.0192 | 0.000637194 | 1.991 |
| 0.000531 | 0.1 | 0.09 | 0.0900 | 0.0193 | 0.000636911 | 1.990 |

Tabla 64: Caudal con porcentaje de apertura 10 % y bocal abierto

| PORCENTAJE DE APERTURA 10 % Y BOCAL ABIERTO              |            |          |        |        |                                  |                                    |
|--|------------|----------|--------|--------|----------------------------------|------------------------------------|
| CAUDAL DE<br>MODELO<br>INGRESANTE<br>(m <sup>3</sup> /s) | K<br>(m/s) | B<br>(m) | h1     | h2     | Q teórico<br>(m <sup>3</sup> /s) | Q prototipo<br>(m <sup>3</sup> /s) |
| 0.000120   | 0.1        | 0.09     | 0.0136 | 0.0024 | 0.000100415                      | 0.314                              |



|          |     |      |        |        |             |       |
|----------|-----|------|--------|--------|-------------|-------|
| 0.000103 | 0.1 | 0.09 | 0.0126 | 0.0022 | 0.000093626 | 0.293 |
| 0.000104 | 0.1 | 0.09 | 0.0127 | 0.0022 | 0.000094025 | 0.294 |
| 0.000167 | 0.1 | 0.09 | 0.0161 | 0.0029 | 0.000119186 | 0.372 |
| 0.000178 | 0.1 | 0.09 | 0.0168 | 0.0030 | 0.000123579 | 0.386 |
| 0.000220 | 0.1 | 0.09 | 0.0213 | 0.0041 | 0.000155286 | 0.485 |
| 0.000232 | 0.1 | 0.09 | 0.0233 | 0.0041 | 0.000172113 | 0.538 |
| 0.000266 | 0.1 | 0.09 | 0.0288 | 0.0044 | 0.000219788 | 0.687 |
| 0.000271 | 0.1 | 0.09 | 0.0296 | 0.0044 | 0.000226799 | 0.709 |
| 0.000282 | 0.1 | 0.09 | 0.0314 | 0.0045 | 0.000242224 | 0.757 |
| 0.000284 | 0.1 | 0.09 | 0.0317 | 0.0045 | 0.000245028 | 0.766 |
| 0.000284 | 0.1 | 0.09 | 0.0317 | 0.0045 | 0.000245028 | 0.766 |
| 0.000301 | 0.1 | 0.09 | 0.0323 | 0.0046 | 0.000249306 | 0.779 |
| 0.000331 | 0.1 | 0.09 | 0.0345 | 0.0048 | 0.000267942 | 0.837 |
| 0.000389 | 0.1 | 0.09 | 0.0339 | 0.0048 | 0.000262742 | 0.821 |
| 0.000447 | 0.1 | 0.09 | 0.0511 | 0.0071 | 0.000395924 | 1.237 |
| 0.000475 | 0.1 | 0.09 | 0.0551 | 0.0075 | 0.000429051 | 1.341 |
| 0.000510 | 0.1 | 0.09 | 0.0602 | 0.0080 | 0.000470459 | 1.470 |
| 0.000529 | 0.1 | 0.09 | 0.0630 | 0.0082 | 0.000492938 | 1.540 |
| 0.000531 | 0.1 | 0.09 | 0.0633 | 0.0082 | 0.000495304 | 1.548 |

Tabla 65: caudal con porcentaje de apertura 20 % y bocal cerrado

| PORCENTAJE DE APERTURA 20 % Y BOCAL CERRADO              |            |          |        |        |                                |                               |
|--|------------|----------|--------|--------|--------------------------------|-------------------------------|
| CAUDAL DE<br>MODELO<br>INGRESANTE<br>(m <sup>3</sup> /s) | K<br>(m/s) | B<br>(m) | h1     | h2     | Q teórico<br>(m <sup>3</sup> ) | Q prototipo (m <sup>3</sup> ) |
| 0.000120   | 0.1        | 0.09     | 0.0150 | 0.0036 | 0.000102709                    | 0.321                         |
| 0.000103   | 0.1        | 0.09     | 0.0140 | 0.0034 | 0.000095550                    | 0.299                         |
| 0.000104   | 0.1        | 0.09     | 0.0140 | 0.0034 | 0.000095971                    | 0.300                         |
| 0.000167   | 0.1        | 0.09     | 0.0179 | 0.0042 | 0.000122503                    | 0.383                         |
| 0.000178   | 0.1        | 0.09     | 0.0185 | 0.0044 | 0.000127135                    | 0.397                         |
| 0.000220   | 0.1        | 0.09     | 0.0220 | 0.0051 | 0.000152758                    | 0.477                         |
| 0.000232   | 0.1        | 0.09     | 0.0224 | 0.0051 | 0.000155584                    | 0.486                         |
| 0.000266   | 0.1        | 0.09     | 0.0234 | 0.0052 | 0.000163592                    | 0.511                         |
| 0.000271   | 0.1        | 0.09     | 0.0235 | 0.0052 | 0.000164770                    | 0.515                         |
| 0.000282   | 0.1        | 0.09     | 0.0239 | 0.0053 | 0.000167361                    | 0.523                         |
| 0.000284   | 0.1        | 0.09     | 0.0239 | 0.0053 | 0.000167832                    | 0.524                         |
| 0.000284   | 0.1        | 0.09     | 0.0239 | 0.0053 | 0.000167832                    | 0.524                         |
| 0.000301   | 0.1        | 0.09     | 0.0274 | 0.0053 | 0.000199261                    | 0.623                         |
| 0.000331   | 0.1        | 0.09     | 0.0281 | 0.0053 | 0.000204948                    | 0.640                         |
| 0.000389   | 0.1        | 0.09     | 0.0293 | 0.0053 | 0.000215943                    | 0.675                         |
| 0.000447   | 0.1        | 0.09     | 0.0319 | 0.0053 | 0.000239203                    | 0.748                         |
| 0.000475   | 0.1        | 0.09     | 0.0352 | 0.0053 | 0.000269580                    | 0.842                         |

|          |     |      |        |        |             |       |
|----------|-----|------|--------|--------|-------------|-------|
| 0.000510 | 0.1 | 0.09 | 0.0617 | 0.0072 | 0.000491072 | 1.535 |
| 0.000529 | 0.1 | 0.09 | 0.0640 | 0.0073 | 0.000510341 | 1.595 |
| 0.000531 | 0.1 | 0.09 | 0.0642 | 0.0073 | 0.000512369 | 1.601 |

Tabla 66: Caudal con porcentaje de apertura 20 % y bocal abierto

| PORCENTAJE DE APERTURA 20 % Y BOCAL ABIERTO |            |          |        |        |                   |                  |
|---|------------|----------|--------|--------|-------------------|------------------|
| CAUDAL DE<br>MODELO<br>INGRESANTE<br>(m3/s) | K<br>(m/s) | B<br>(m) | h1     | h2     | Q teórico<br>(m3) | Q prototipo (m3) |
| 0.000120                                    | 0.1        | 0.09     | 0.0249 | 0.0062 | 0.000168499       | 0.527            |
| 0.000103                                    | 0.1        | 0.09     | 0.0230 | 0.0061 | 0.000152285       | 0.476            |
| 0.000104                                    | 0.1        | 0.09     | 0.0231 | 0.0061 | 0.000153239       | 0.479            |
| 0.000167                                    | 0.1        | 0.09     | 0.0304 | 0.0067 | 0.000213324       | 0.667            |
| 0.000178                                    | 0.1        | 0.09     | 0.0317 | 0.0068 | 0.000223815       | 0.699            |
| 0.000220                                    | 0.1        | 0.09     | 0.0305 | 0.0072 | 0.000209155       | 0.654            |
| 0.000232                                    | 0.1        | 0.09     | 0.0305 | 0.0074 | 0.000208444       | 0.651            |
| 0.000266                                    | 0.1        | 0.09     | 0.0306 | 0.0077 | 0.000206431       | 0.645            |
| 0.000271                                    | 0.1        | 0.09     | 0.0306 | 0.0077 | 0.000206135       | 0.644            |
| 0.000282                                    | 0.1        | 0.09     | 0.0307 | 0.0079 | 0.000205483       | 0.642            |
| 0.000284                                    | 0.1        | 0.09     | 0.0307 | 0.0079 | 0.000205365       | 0.642            |
| 0.000284                                    | 0.1        | 0.09     | 0.0307 | 0.0079 | 0.000205365       | 0.642            |
| 0.000301                                    | 0.1        | 0.09     | 0.0336 | 0.0080 | 0.000230583       | 0.721            |

|          |     |      |        |        |             |       |
|----------|-----|------|--------|--------|-------------|-------|
| 0.000331 | 0.1 | 0.09 | 0.0354 | 0.0082 | 0.000245138 | 0.766 |
| 0.000389 | 0.1 | 0.09 | 0.0388 | 0.0085 | 0.000273278 | 0.854 |
| 0.000447 | 0.1 | 0.09 | 0.0423 | 0.0088 | 0.000301417 | 0.942 |
| 0.000475 | 0.1 | 0.09 | 0.0439 | 0.0089 | 0.000315002 | 0.984 |
| 0.000510 | 0.1 | 0.09 | 0.0460 | 0.0091 | 0.000331983 | 1.037 |
| 0.000529 | 0.1 | 0.09 | 0.0471 | 0.0092 | 0.000341201 | 1.066 |
| 0.000531 | 0.1 | 0.09 | 0.0472 | 0.0092 | 0.000342171 | 1.069 |

**ANEXO N°3: Plano 1. vista en planta de captación Tres Molinos y tramo de Río Grande**

**ANEXO N°4: Plano 2. vista en perfil y planta de captación Tres Molinos**