

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIEROS
CIVILES**

**TEMA:
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL REVESTIMIENTO DE LA ACEQUIA
PUMAMAQUI**

**AUTORES:
JORGE ANDRÉS HUARACA QUEZADA
HENRY MAURICIO SOTALÍN LEMA**

**TUTOR:
MARÍA GABRIELA SORIA PUGO**

Quito, agosto del 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Jorge Andrés Huaraca Quezada y Henry Mauricio Sotalín Lema, con documento de identificación N° 1721361101 y N° 1719595439 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL REVESTIMIENTO DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIEROS CIVILES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, agosto del 2019

Jorge Andrés Huaraca Quezada

CI: 1721361101

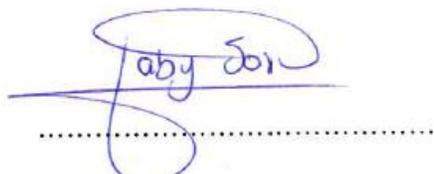
Henry Mauricio Sotalín Lema

CI: 1719595439

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto técnico, con el tema: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL REVESTIMIENTO DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI, realizado por Jorge Andrés Huaraca Quezada y Henry Mauricio Sotalín Lema, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, agosto del 2019



María Gabriela Soria Pugo

CI:1803981214

DEDICATORIA

A mis hermanas Jazmín, María de los Ángeles y Emily por ser la fuente de amor más puro y sincero que tengo, ya que sin su presencia en mi vida no hubiera logrado nada de esto.

En especial a tres mujeres que en mi vida han marcado la diferencia mi abuelita Gloria y mis tías Magdalena y Mirian quienes sin obligación alguna decidieron tomar el rol de madres para conmigo y mis hermanas y darnos la oportunidad de tener una familia y de poder salir adelante.

A mis tías Anita, Verónica, Gabriela y mi tío Cristian quienes me han apoyado siempre brindándome alegrías, fortaleza y la confianza para no rendirme jamás.

Andrés Huaraca

Este trabajo de titulación lo dedico especialmente a mis padres Henry y Nancy por su apoyo incondicional, por todo su amor, trabajo y sacrificio durante todos estos años, deseo expresarles mi infinita gratitud ya que sin ustedes no hubiese podido alcanzar esta meta.

A mi hermana Alejandra por su cariño, amor y presencia, ya que tú eres el motivo más grande que tengo para seguir esforzándome cada día más.

Mauricio Sotalín

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana, a nuestra tutora Ing. María Gabriela Soria Pugo y docentes de la institución, ya que gracias a sus conocimientos, experiencia y enseñanzas durante todos los años de estudios nos ayudaron como fuente de aprendizaje e inspiración para lograr cumplir nuestro objetivo, ser Ingenieros Civiles.

Agradecemos de manera especial a nuestros familiares y amigos por su apoyo constante, ya que este trabajo de titulación sin bien es cierto, ha requerido de mucho esfuerzo y dedicación, no hubiera sido lo mismo sin su intervención ya que formaron parte de momentos importantes los mismos que serán grabados en nuestras memorias.

“Fue una historia larga y sangrienta. ¡Para ser honesto, estuve borracho la mayoría del tiempo!”

By: Tyrion Lannister.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Problema	2
1.4 Justificación	4
1.5 Aspectos físicos del sector	4
1.5.1 Ubicación Geográfica	4
1.5.2 Población.....	5
1.5.3 Clima e Hidrología.....	7
1.5.4 Tipo de Suelo	7

CAPÍTULO II

2. RECOPIACIÓN Y PREPARACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA	10
2.1 Georreferenciación.....	10
2.2 Levantamiento Topográfico.....	13
2.2.1 Metodología RTK	13
2.2.2 Metodología por Estación Total.....	15
2.3 Análisis y procesamiento de información en el software Civil CAD 3D	16
2.4 Planos Topográficos.....	16

CAPÍTULO III.....	17
-------------------	----

3. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA ACTUAL DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI EN SUS TRAMOS DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN	17
3.1 Descripción general de la situación actual de los tramos de conducción y distribución a lo largo de la acequia Pumamaqui	17
3.2 Sectorización de tramos de estudio.....	26
3.3 Medición de caudales en los tramos de estudio	27
3.3.1 Aforos directos.....	27
3.4 Análisis y comparación de resultados.....	32
3.4.1 Aforos en el tramo de conducción	35
3.4.2 Aforos en el tramo de distribución.....	36
3.5 Identificación de zonas en riesgo.....	38
3.6 Conclusiones	40
3.6.1 Conclusiones del tramo de conducción.....	40
3.6.2 Conclusiones del tramo de distribución.....	41
CAPÍTULO IV.....	43
4. ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	43
4.1 Caudales de aportación	43
4.1.1 Área de aportación	45
4.1.2 Numero de Curva.....	47
4.1.3 Periodo de Retorno	51
4.1.4 Tiempo de Concentración	54
4.1.5 Intensidad de Lluvia.....	55
4.1.3 Precipitación	58

4.1.4 Resultados de los Caudales de Aportación	59
4.2 Caudal de Evapotranspiración	60
4.2.1 Método de Thornthwaite.....	61
4.3 Caudales de diseño.....	64
CAPÍTULO V.....	71
5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN.....	71
5.1 Obras reguladoras de caudal	71
5.1.1 Compuertas	71
5.1.2 Aliviadero de excedentes	73
5.2 Secciones Transversales.....	74
5.3 Tipos de material de revestimiento	76
5.3.1 Mampostería de piedra.....	76
5.3.2 Revestimiento con hormigón ciclópeo de 30 a 60% de piedra.....	77
5.3.3 Revestimiento con hormigón vaciado (lanzado) in situ.....	78
5.3.4 Revestimiento con hormigón estructural	78
5.3.5 Revestimiento con membranas	79
5.3.6 Entubamiento	81
5.3.7 Comparación de los tipos de material de revestimiento	81
5.4 Diseño de las alternativas propuestas	82
5.4.1 Diseños en el tramo de conducción	87
5.4.2 Diseños en el tramo de distribución.....	89
CAPÍTULO VI.....	93

6. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN.....	93
6.1 Obras reguladoras de máxima eficiencia	93
6.2 Sección hidráulica de máxima eficiencia.....	95
6.2.1 Geometría del canal en el tramo de conducción	95
6.2.2 Geometría del canal en el tramo de distribución	100
6.3 Material de revestimiento	115
CAPÍTULO VII	117
7. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	117
7.1 Situación Actual.....	117
7.2 Caracterización Ambiental.....	118
7.2.1 Caracterización del medio biótico	118
7.2.2 Caracterización del medio abiótico.....	119
7.2.3 Caracterización del medio antrópico	121
7.3 Valoración de Impactos Ambientales	122
7.4 Identificación y calificación de Impactos Ambientales	124
7.5 Plan de mitigación de impactos Ambientales	127
7.5.1 Impactos positivos y negativos	127
7.5.2 Medidas mitigadoras para el recurso agua.....	128
7.5.3 Medidas mitigadoras para el recurso suelo.....	128
7.5.4 Medidas mitigadoras para la flora y fauna.....	129
7.5.5 Medidas mitigadoras para la salud y seguridad industrial	129
CAPÍTULO VIII.....	130

8. PRESUPUESTO.....	130
8.1 Análisis de Precios Unitarios.....	130
8.2 Presupuesto Referencial.....	130
8.3 Cronograma Valorado.....	131
CAPÍTULO IX.....	134
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
9.1 Conclusiones.....	134
9.2 Recomendaciones	138
CAPÍTULO X.....	140
10. BIBLIOGRAFÍA	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Población beneficiaría 2010</i>	6
Tabla 2 <i>Población beneficiaria 2019</i>	6
Tabla 3 <i>Tipo de Suelos de la comunidad Pesillo</i>	8
Tabla 4 <i>Coordenadas de los puntos de control</i>	11
Tabla 5 <i>Caudales aforados in situ con molinete, tramo de conducción</i>	35
Tabla 6 <i>Comparación de resultados entre aforos, tramo de conducción</i>	36
Tabla 7 <i>Caudales aforados in situ con molinete, tramo de distribución</i>	37
Tabla 8 <i>Comparación de resultados entre aforos, tramo de distribución</i>	38
Tabla 9 <i>Eficiencia de las zonas más críticas del tramo de conducción</i>	39
Tabla 10 <i>Eficiencia de las zonas más críticas del tramo de distribución</i>	39
Tabla 11 <i>Información general de Microcuencas</i>	45
Tabla 12 <i>Números de curva para los diferentes usos de tierra del proyecto</i>	50
Tabla 13 <i>Resumen de valores de número de curva (CN)</i>	51
Tabla 14 <i>Periodo de retorno para la determinación del caudal de diseño para diversos tipos de obras hidráulicas</i>	53
Tabla 15 <i>Caudales de aportación en la acequia Pumamaqui</i>	60
Tabla 16 <i>Factor de corrección f, por duración media de las horas de sol expresada en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una</i>	62
Tabla 17 <i>Estaciones meteorológicas usadas para el cálculo de la evapotranspiración</i>	63
Tabla 18 <i>Caudales de Evapotranspiración para las estaciones M0023 y M0105</i>	64
Tabla 19 <i>Caudales máximos de las distintas distribuciones de probabilidad</i>	67

Tabla 20 <i>Criterios para la elección del tipo de distribución de probabilidad para el cálculo de caudales máximos</i>	68
Tabla 21 <i>Caudales máximos de diseño en el tramo de distribución</i>	70
Tabla 22 <i>Ventajas y desventajas de los materiales de revestimiento</i>	82
Tabla 23 <i>Pendientes de las zonas críticas en el tramo de conducción</i>	85
Tabla 24 <i>Pendientes de las zonas críticas en el tramo de distribución</i>	85
Tabla 25 <i>Valores de n para distintos materiales</i>	86
Tabla 26 <i>Velocidades máximas y mínimas para distintos materiales</i>	87
Tabla 27 <i>Diseños de las propuestas en la zona sin intervención del tramo de conducción</i>	87
Tabla 28 <i>Diseños de las propuestas en la zona de túneles del tramo de conducción, sección rectangular y trapezoidal</i>	88
Tabla 29 <i>Diseños de las propuestas en la zona de túneles del tramo de conducción, sección circular</i>	89
Tabla 30 <i>Diseños de las propuestas en la zona agrícola con suelo permeable del tramo de distribución</i>	91
Tabla 31 <i>Diseños para el vertedero lateral en la zona de la quebrada abscisa 9+358 m del tramo de distribución</i>	92
Tabla 32 <i>Datos de diseño para el acueducto en la zona de la quebrada del tramo de distribución</i>	92
Tabla 33 <i>Rubrica de valoración de variables</i>	123
Tabla 34 <i>Matriz de Leopold en la etapa de construcción</i>	125
Tabla 35 <i>Matiz de Leopold en la etapa de operación</i>	126

Tabla 36 *Presupuesto referencial del estudio de factibilidad para el revestimiento de la acequia*

Pumamaqui 131

Tabla 37 *Cronograma valorado del estudio de factibilidad para el revestimiento de la acequia*

Pumamaqui 132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación Geográfica de la Comunidad de Pesillo</i>	5
Figura 2 <i>Tipo de Suelo de la Comunidad de Pesillo</i>	9
Figura 3 <i>Tiempos de Observación y precisión</i>	10
Figura 4 <i>Colocación del punto GPS 3</i>	12
Figura 5 <i>Ubicación de Puntos GPS a lo largo de la Acequia Pumamaqui</i>	12
Figura 6 <i>Instalación de la estación base</i>	14
Figura 7 <i>Toma de datos mediante RTK</i>	14
Figura 8 <i>Estación Total Leica TS 26</i>	15
Figura 9 <i>Esquema de la distribución general de la Acequia Pumamaqui</i>	18
Figura 10 <i>Punto de inicio, captación desde el Río La Chimba</i>	20
Figura 11 <i>Forma serpenteante del tramo de conducción</i>	20
Figura 12 <i>Afluente de Turucucho hacia la Acequia Pumamaqui</i>	21
Figura 13 <i>Compuerta para la evacuación de excedentes</i>	21
Figura 14 <i>Ingreso al túnel en el tramo de conducción</i>	22
Figura 15 <i>Agujero natural durante la conducción en el túnel, ubicado lateralmente</i>	22
Figura 16 <i>Fin del tramo de conducción, Inicio del tramo de distribución</i>	24
Figura 17 <i>Forma regular del tramo de distribución</i>	24
Figura 18 <i>Óvalo para la distribución del agua de la Acequia Pumamaqui</i>	25
Figura 19 <i>Punto de estudio, límite entre la provincia de Pichincha e Imbabura</i>	25
Figura 20 <i>Aforo químico de vertido constante</i>	28
Figura 21 <i>Aforo químico de vertido único o de integración</i>	28
Figura 22 <i>Aforo con flotador: a) flotador simple, b) flotador doble, c) bastón flotador</i>	30

Figura 23 <i>Molinete con contador electrónico</i>	31
Figura 24 <i>Sección transversal del cauce</i>	31
Figura 25 <i>Medición de caudal en el tramo de conducción</i>	33
Figura 26 <i>Aforo en el canal parshall, fin del tramo de conducción e inicio del tramo de distribución</i>	33
Figura 27 <i>Afluente natural en un sector revestido del tramo de distribución</i>	34
Figura 28 <i>Aforo en el final de la acequia Pumamaqui</i>	34
Figura 29 <i>Trazado de microcuencas, áreas de aportación de la Acequia Pumamaqui</i>	46
Figura 30 <i>Tabla de números de curva de escorrentía para usos, agrícola, suburbano y urbano (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0,2 S$)</i>	49
Figura 31 <i>Zonificación de intensidades de precipitación</i>	56
Figura 32 <i>Zonificación de intensidades de la demarcación de Esmeraldas</i>	57
Figura 33 <i>Intensidades Máximas en 24 horas para varios periodos de retorno</i>	58
Figura 34 <i>Tabla descriptiva de una compuerta plana deslizante</i>	72
Figura 35 <i>Partes de una compuerta plana deslizante</i>	73
Figura 36 <i>Cortes vista frontal y perspectiva de un veredero lateral</i>	74
Figura 37 <i>Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes</i>	75
Figura 38 <i>Corte transversal de un canal revestido con mampostería de piedra</i>	77
Figura 39 <i>Corte transversal de un canal revestido con hormigón ciclópeo</i>	77
Figura 40 <i>Corte transversal de un canal revestido con hormigón vaciado (lanzado) in situ</i>	78
Figura 41 <i>Corte transversal de un canal revestido con hormigón estructural</i>	79
Figura 42 <i>Corte transversal de un canal revestido con membrana plástica</i>	80
Figura 43 <i>Sección transversal de una tubería</i>	81

Figura 44 <i>Borde libre y altura de las bancas recomendadas para canales revestidos (US Bureau of Reclamation)</i>	84
Figura 45 <i>Compuerta ubicada en el tramo de conducción abscisa 0+040</i>	93
Figura 46 <i>Perspectiva del vertedero lateral</i>	94
Figura 47 <i>Sección transversal óptima para la zona sin intervención, tramo de conducción</i>	96
Figura 48 <i>Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 0+202 m</i>	96
Figura 49 <i>Sección transversal óptima para túnel 2, tramo de conducción</i>	98
Figura 50 <i>Sección transversal óptima para túnel 3, tramo de conducción</i>	99
Figura 51 <i>Sección transversal óptima para túnel 4, tramo de conducción</i>	99
Figura 52 <i>Sección transversal óptima para túnel 5, tramo de conducción</i>	100
Figura 53 <i>Sección transversal óptima para el aforo 5-6, tramo de distribución</i>	101
Figura 54 <i>Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 3+320 m</i> ...	101
Figura 55 <i>Sección transversal óptima para el aforo 11-12, tramo de distribución</i>	102
Figura 56 <i>Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 4+512 m</i> ...	102
Figura 57 <i>Sección transversal óptima para el aforo 16-17, tramo de distribución</i>	103
Figura 58 <i>Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 6+044 m</i> ...	103
Figura 59 <i>Sección transversal óptima para el aforo 20-21, tramo de distribución</i>	104
Figura 60 <i>Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 6+845 m</i> ...	104
Figura 61 <i>Sección transversal óptima para el aforo 26-27, tramo de distribución</i>	105
Figura 62 <i>Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 8+967 m</i> ...	105
Figura 63 <i>Sección transversal óptima para el aforo 34-35, tramo de distribución</i>	106
Figura 64 <i>Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 11+850 m</i> .	106

Figura 65 <i>Vista en planta del vertedero lateral</i>	107
Figura 66 <i>Vista frontal del vertedero lateral</i>	108
Figura 67 <i>Vista del corte transversal A-A en el vertedero</i>	108
Figura 68 <i>Vista en planta del sistema de evacuación del caudal excedente en el vertedero hacia aguas abajo en la unión con el cauce natural de la quebrada</i>	109
Figura 69 <i>Vista lateral del sistema de evacuación del caudal excedente desde el vertedero hacia aguas abajo</i>	110
Figura 70 <i>Vista del corte transversal B-B en el sistema de evacuación del caudal excedente</i>	110
Figura 71 <i>Vista en planta del acueducto</i>	112
Figura 72 <i>Vista lateral de la implantación del acueducto en el terreno</i>	113
Figura 73 <i>Vista del corte transversal A-A en el acueducto</i>	114
Figura 74 <i>Vista del corte transversal B-B en el acueducto</i>	114
Figura 75 <i>Implantación del vertedero lateral en la abscisa 9+358m y del acueducto en la abscisa 9+366m</i>	115

RESUMEN

El actual proyecto tiene como finalidad realizar un estudio que permita determinar la factibilidad para el revestimiento de la acequia Pumamaqui. Después de recopilar la información existente, se optó por realizar trabajos en campo como aforos directos utilizando el molinete y el levantamiento de la faja topográfica de la acequia, así como sus detalles con la finalidad de generar información necesaria para llevar a cabo este proyecto.

En base a la ubicación de los óvalos a lo largo de la acequia Pumamaqui, se procedió a subdividir la misma en dos tramos principales los cuales son el de conducción y distribución, con el fin de poder sectorizar los intervalos con posibles problemas y de esta manera identificar específicamente las zonas críticas que necesiten intervención.

Una vez identificadas las zonas críticas se determinó una eficiencia actual promedio de trabajo en estas zonas, para posteriormente plantear la solución más adecuada, que en este caso es el de revestir dichos tramos de la acequia Pumamaqui con hormigón. El análisis hidrológico fue el siguiente paso para poder obtener el caudal máximo de diseño y en conjunto con la información topográfica poder definir las secciones transversales óptimas del canal y el tipo de revestimiento más adecuado que permitan un correcto funcionamiento de todo el sistema.

Finalmente, para sustentar la viabilidad de la ejecución del proyecto se realizan análisis de impacto ambiental y su respectivo plan de mitigación, presupuesto referencial y cronograma valorado.

Palabras clave: factibilidad, revestimiento, hidrológica, topográfica, acequia, hormigón, transversal.

ABSTRACT

The current project aims to carry out a study to determine the feasibility for the lining of the Pumamaqui ditch. After collecting the existing information, it was decided to perform field work as direct gauging using the pinwheel and the surveying of the topographic strip from the ditch, as well as its details in order to generate necessary information to carry out this Project.

Based on the information analyzed we proceeded to divide the ditch into two main sections which are the driving and distribution, in order to be able to segment the sections with possible problems and in this way identify specifically the critical zones that need intervention.

Once the critical zones have been identified is determined an average current work efficiency in these areas, to later propose the most adequate solution, in this case it's to coat said sections of the Pumamaqui ditch with concrete. Hydrological analysis is the next step to obtain the maximum design flow and with the topographic information to be able to define the optimal cross sections of the channel and the most suitable type of coating that allows a correct operation of the whole system.

Finally, to sustain the viability of the execution of the project, environmental impact analysis and its respective mitigation plan, referential Budget and valued chronogram are carried out.

Keywords: feasibility, coating, hydrological, topography, ditch, concrete, cross

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 Introducción

El estudio de factibilidad para el revestimiento de la acequia Pumamaqui es un proyecto que permitirá obtener datos técnicos para evaluar la situación actual de la acequia, con el fin de mejorar la funcionalidad mediante una intervención pudiendo así convertirse en un proyecto muy importante para la comunidad de Pesillo.

La acequia Pumamaqui es la columna vertebral de todo el sistema de riego, por lo que su funcionamiento correcto es fundamental para el desarrollo de toda la comunidad, los usuarios que forman parte del sistema dependen primordialmente de la acequia ya que el abastecimiento diario del recurso agua permite a las personas realizar sus actividades económicas diarias, siendo las más relevantes la agricultura y la ganadería.

Con el propósito de entregar a la junta de riego y drenaje Pumamaqui y Obando un análisis satisfactorio, la Universidad Politécnica Salesiana se ha comprometido en conjunto con la Carrera de Ingeniería Civil en realizar el estudio de factibilidad para el revestimiento de la acequia Pumamaqui y todo lo que abarque, es decir diseños definitivos de secciones transversales y un análisis técnico económico de la intervención del sistema.

Este proyecto representa un sin número de actividades ingenieriles, que garanticen el correcto funcionamiento y la vida útil de la estructura durante la etapa de operatividad del sistema, de esta manera se pretende impulsar la economía y el desarrollo de toda la comunidad ya que al mejorar la eficiencia actual de la acequia Pumamaqui y optimizando el recurso agua mejora toda la actividad productiva del sector.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Realizar el estudio de factibilidad en el que se considere la viabilidad del revestimiento de la Acequia Pumamaqui iniciando en la abscisa 0+000 m hasta la abscisa 12+000 m, ubicado en la Parroquia Olmedo del Cantón Cayambe provincia de Pichincha.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analizar la eficiencia actual a lo largo de la Acequia Pumamaqui mediante la comparación de varios sectores los cuales serán divididos a partir de las condiciones topográficas, geométricas e hidráulicas sobre la base de una investigación hidrométrica.
- Realizar un prediseño de las secciones constructivas de la conducción, a partir de las secciones hidráulicas óptimas que permitan un área mínima para un caudal determinado.
- Determinar el presupuesto referencial para el revestimiento de la Acequia Pumamaqui.

1.3 Problema

La Acequia Pumamaqui inicia la captación en el Río la Chimba y termina en el límite con la provincia de Imbabura. Esta acequia tiene aproximadamente un trayecto de 12 km, de los cuales alrededor de 11.69 km no cuenta con revestimiento, es decir se encuentra a flor de tierra.

Los moradores de la Comunidad de Pesillo a través de los años han tenido la necesidad de intervenir en mejorar la infraestructura de la acequia Pumamaqui, para ello sus dirigentes han solicitado recursos económicos en las Instituciones Públicas competentes, siendo el principal impedimento el no disponer de un estudio técnico de la Acequia Pumamaqui que cuantifique los recursos económicos requeridos para su mejoramiento. Bajo esta perspectiva la Junta de Riego y Drenaje Pumamaqui y Obando en su afán de solucionar este problema, en Julio del 2018 firma un convenio de cooperación Interinstitucional con la Universidad Politécnica Salesiana a través de la Dirección de Vinculación con la Sociedad, con lo que se pretende realizar proyectos de vinculación e investigación enfocados a mejorar la gestión y manejo del sistema de riego comunitario.

El problema principal que se ha identificado dentro del proyecto es la notable falta de infraestructura adecuada, tal como un canal de hormigón en la Acequia Pumamaqui; así como el desgaste de la misma debido a efectos adversos producidos por la naturaleza afectando su vida útil ya que al encontrarse en un río que periódicamente presenta fuertes crecidas que acarrear material pétreo, lodo y restos de vegetación han generado daños en su estructura, dando paso así a derrumbes en taludes y túneles del canal Pumamaqui como infiltraciones que disminuyen la capacidad de captar el agua principalmente en la época de verano cuando los caudales disminuyen y los cultivos agrícolas requieren mayores cantidades de agua.

1.4 Justificación

A través de este proyecto se espera plantear una propuesta técnica enfocada en realizar un estudio estratégico de factibilidad, en el cual se analice la viabilidad del revestimiento de la Acequia Pumamaqui, así como mejorar la eficiencia del sistema de riego de la comunidad de Pesillo, de manera que se tenga una infraestructura eficaz, capaz de conducir por el canal abierto el caudal máximo que actualmente circula por el mismo, además que, por la magnitud de incidencia, este proyecto será de gran interés para la comunidad de Pesillo, como para las instituciones del estado que les compete financiar su implementación.

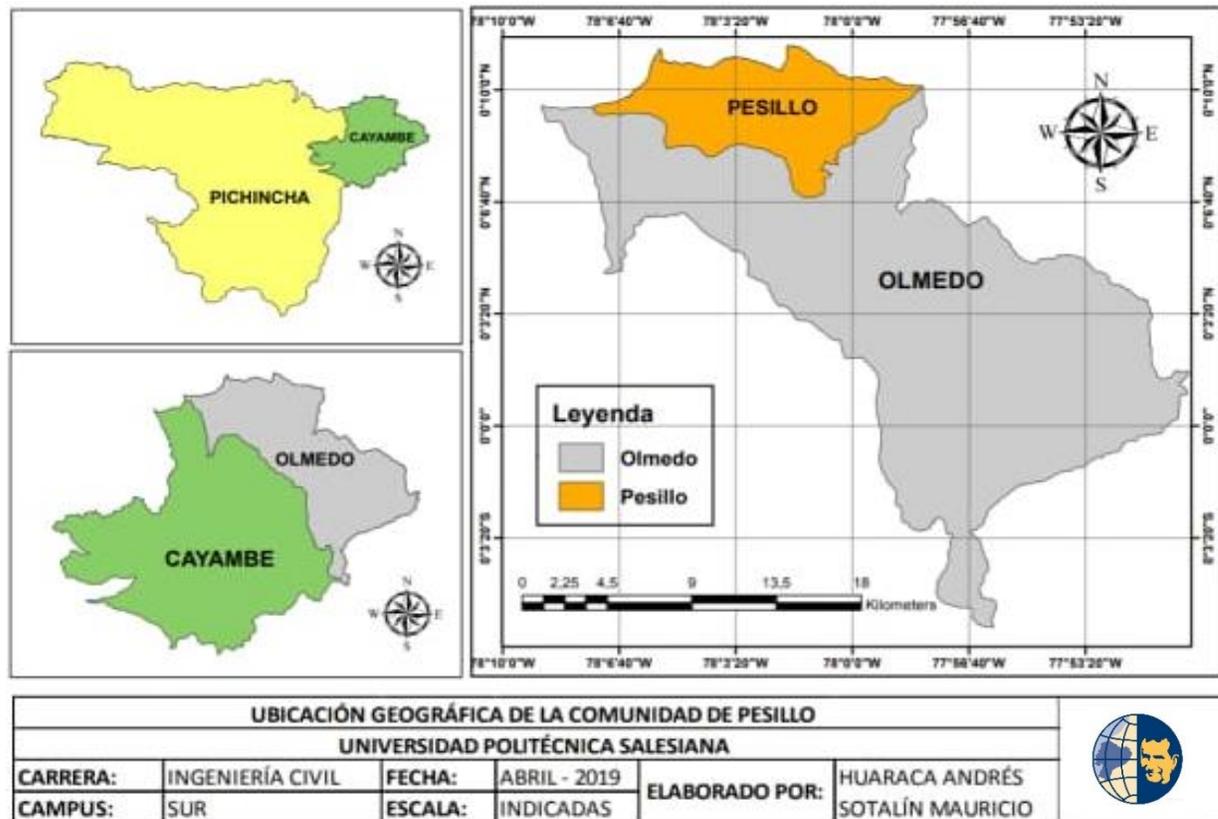
Para que el proyecto se haga realidad y solventar esta necesidad a través de este trabajo de titulación, es necesario coordinar actividades entre la Universidad Politécnica Salesiana que se encargará de realizar el estudio técnico para el desarrollo del mismo, la Junta de riego y Drenaje Pumamaqui y Obando participará en las actividades que demande el estudio.

1.5 Aspectos físicos del sector

1.5.1 Ubicación Geográfica

La Acequia Pumamaqui se encuentra ubicada en la comunidad de Pesillo, Parroquia Olmedo que pertenece al Cantón Cayambe en la Provincia de Pichincha a 84.6 km de distancia al nororiente de la ciudad de Quito, a una altitud de aproximadamente 3190 metros sobre el nivel del mar.

Figura 1
Ubicación Geográfica de la Comunidad de Pesillo



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

1.5.2 Población

En base a la información del censo realizado en el año 2010, se calcula la población que se puede alcanzar al año 2019 en la comunidad de Pesillo como zona principal de estudio, para el efecto se hace referencia al incremento de la población.

La tasa de crecimiento poblacional anual es del 2.08%, considerando el gran impacto y la potencial intervención de la comunidad que puede generarse al ejecutar cualquier tipo de proyecto, por lo que para el año 2019 la población correspondiente al total de la comunidad

de Pesillo es de 2 665 habitantes. En las siguientes tablas se detallan los datos de habitantes para los años 2010 y 2019 respectivamente.

Tabla 1
Población beneficiaría 2010

Población	Habitantes
Población Objetivo (Comunidad Pesillo)	2245
Población Demandante Efectiva (Parroquia Olmedo)	6772
Población Demandante Potencial (Cantón Cayambe)	85795

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC, 2010); Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT, 2015); IUS, Equipo UPS. (2018). *PLAN DE MEJORAS DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI DE LA COMUNIDAD DE PESILLO CANTÓN CAYAMBE - PROVINCIA DE PICHINCHA*, pag 7.

Tabla 2
Población beneficiaria 2019

Población	Habitantes
Población Objetivo (Comunidad Pesillo)	2665
Población Demandante Efectiva (Parroquia Olmedo)	8040
Población Demandante Potencial (Cantón Cayambe)	101856

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC, 2010); Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT, 2015)

Adicionalmente se estableció el porcentaje de grupos étnicos que viven en la zona del proyecto Pesillo, donde los Indígenas ocupan el 90.40% y los Mestizos el 9.60% restante.

(IUS; Equipo UPS, 2018)

1.5.3 Clima e Hidrología

- Clima

En el Ecuador debido a diferentes factores como la temperatura, la Cordillera de Los Andes y corrientes marinas, permiten que éste sea un país con microclimas variados y muy agradables.

Un ejemplo es la comunidad de Pesillo que se encuentra bajo las condiciones climáticas tales como la de un clima Mesotérmico húmedo en el cual las oscilaciones térmicas mensuales no son significativas con valores de unos 3° C. La temperatura promedio del sector es de 11.69 °C, siendo marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre los meses en los que se presenta temperaturas mayores a la media y enero, julio, agosto y septiembre los meses que presenta valores ligeramente menores con respecto a la media mensual (IUS; Equipo UPS, 2018).

- Hidrología:

El principal afluente del cual se alimenta la Acequia Pumamaqui es el Río La Chimba cuyo origen se da en los páramos del nevado Cayambe, perteneciente a la Provincia de Pichincha, el mismo que inicia a una elevación aproximada de 3240 msnm y es la única corriente hídrica que permite captar el recurso agua de manera directa hacia la acequia Pumamaqui.

1.5.4 Tipo de Suelo

En la comunidad de Pesillo el tipo de suelo es predominantemente Franco Arcilloso cuya superficie ocupa 1434.52 hectáreas, ya que su ubicación es en pendientes suaves, fuertes y

muy fuertes, también posee un drenaje de bueno a moderado. Este tipo de suelo se presenta en ecosistemas caracterizados por tener un horizonte espeso y una superficie oscura (IUS; Equipo UPS, 2018).

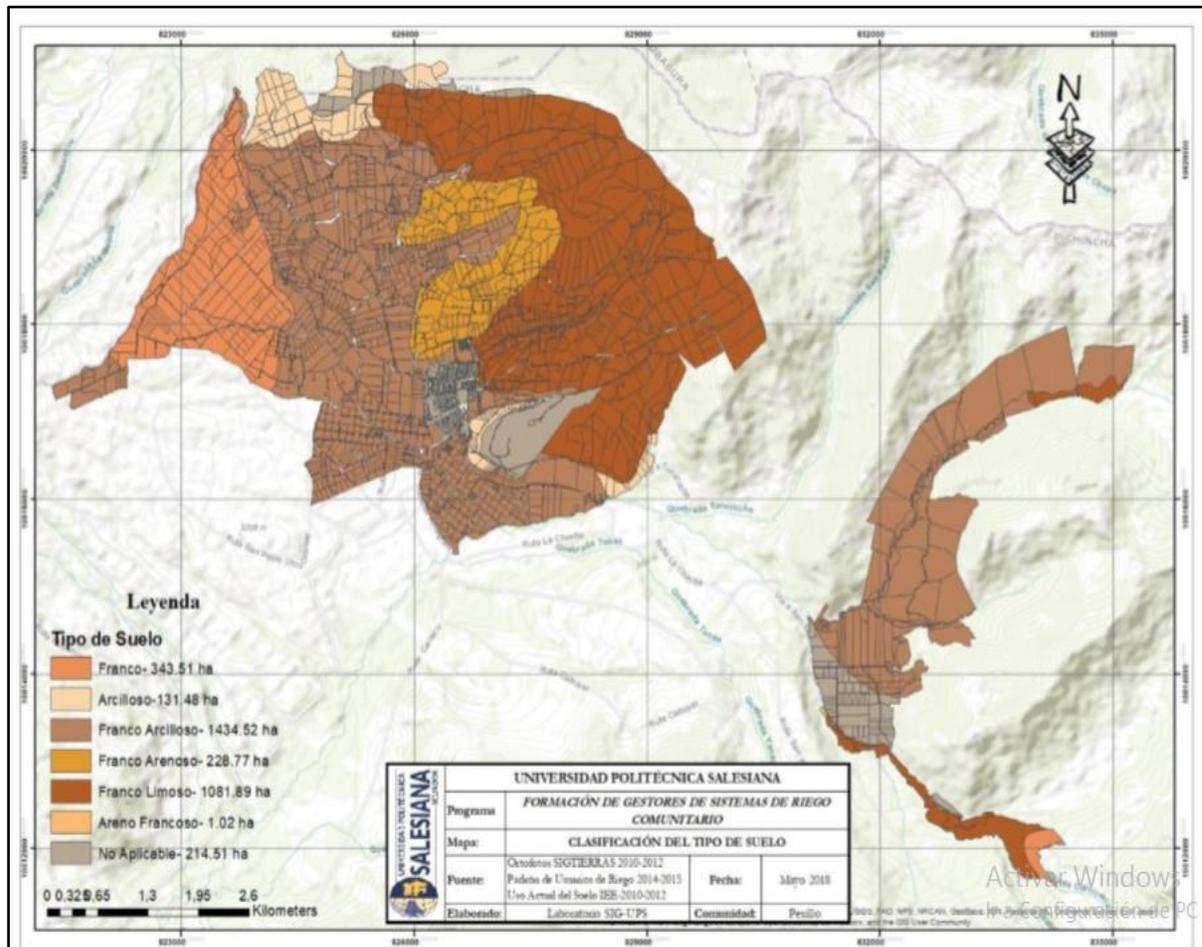
El suelo Franco Limoso es el segundo con mayor presencia en Pesillo con una superficie total de 1081.89 hectáreas, seguida de una superficie de 343.51 hectáreas en Suelos Francos (IUS; Equipo UPS, 2018) . En la siguiente tabla y mapa se muestra un detalle específico del tipo de suelo y su superficie en toda la zona de influencia.

Tabla 3
Tipo de Suelos de la comunidad Pesillo

Clase Textural	Hectárea
Suelos Francos	343.51
Suelos Franco Arcillosos	1434.52
Suelos Franco Limosos	1081.89
Suelos Franco Arenosos	229.79
Suelos Arcillosos	131.48
No Aplica	214.51

Fuente: IUS; Equipo UPS. (2018). *PLAN DE MEJORAS DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI DE LA COMUNIDAD DE PESILLO CANTÓN CAYAMBE - PROVINCIA DE PICHINCHA*, pag 16.

Figura 2
 Tipo de Suelo de la Comunidad de Pesillo



Fuente: IUS, Equipo UPS. (2018). *PLAN DE MEJORAS DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI DE LA COMUNIDAD DE PESILLO CANTÓN CAYAMBE - PROVINCIA DE PICHINCHA*, pag 17.

CAPÍTULO II

2. RECOPIACIÓN Y PREPARACIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

2.1 Georreferenciación

La georreferenciación es el proceso mediante el cual se relaciona la posición de un objeto o superficie en un plano con su posición sobre la superficie terrestre (Botella Plana, Muñoz Bolas, Olivella Gonzáles, Olmedillas Hernández, & Rodríguez Lloret, 2011).

Es importante mencionar que la Acequia Pumamaqui se encuentra ubicada en la zona 17 Norte y el sistema de coordenadas que se utilizó para realizar la georreferenciación fue UTM WGS 84.

Para la georreferenciación de este proyecto se utilizaron equipos GPS LEICA 1200 L1/L2 lo mismos que brindan una precisión de 3mm+0.5ppm.

El método que se utilizó fue el estático y el procesamiento de datos en el software Leica Geo Office versión 7.0.

Figura 3
Tiempos de Observación y precisión

Post-proceso con el software Leica Geo Office	Horizontal: 10 mm + 1 ppm, cinemático Vertical: 20 mm + 1 ppm, cinemático
Todos los receptores GPS1200 de doble frecuencia	Horizontal: 5 mm + 0,5 ppm, estático Vertical: 10 mm + 0,5 ppm, estático
	Para líneas largas con observaciones largas
	Horizontal: 3 mm + 0,5 ppm, estático Vertical: 6 mm + 0,5 ppm, estático

Fuente: Leica Geosystems. (29 de marzo de 2019). INSTOP. Obtenido de https://www.instop.es/gps/gps_1200.php

A partir del sistema de georreferenciación mencionado anteriormente se levantaron los siguientes puntos GPS:

Tabla 4
Coordenadas de los puntos de control

PUNTOS	SIRGAS WGS-84		Altura Ortométrica	Factor de Escala
	NORTE	ESTE		
GPS 1	15726.022	829433.614	3186.031	1.00094372
GPS 2	15821.69	829224.478	3181.05	1.00094201
GPS 3	16436.243	827685.828	3174.348	1.0009295
GPS 4	16417.938	827602.183	3174.348	1.00092882
GPS 5	17773.468	826280.503	3166.377	1.00091812
GPS 6	17701.764	826068.255	3165.389	1.0009164
GPS 7	19212.314	825779.648	3150.444	1.00091407
GPS 8	19600.537	825738.028	3147.947	1.00091373
GPS 9	20434.968	824695.954	3128.179	1.00090534
GPS 10	20658.997	824766.954	3125.849	1.00090591

Fuente: CONSTRUCCIÓN & TOPOGRAFÍA, 2019

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Las monografías proporcionadas por la empresa CONSTRUCCIÓN & TOPOGRAFÍA (C&T), contienen toda la información referente a los puntos GPS, ubicados en sitios específicos durante la trayectoria de la Acequia Pumamaqui, donde para su fácil identificación se colocaron mojones de hormigón. Los archivos de las monografías serán adjuntos al **ANEXO N°1**.

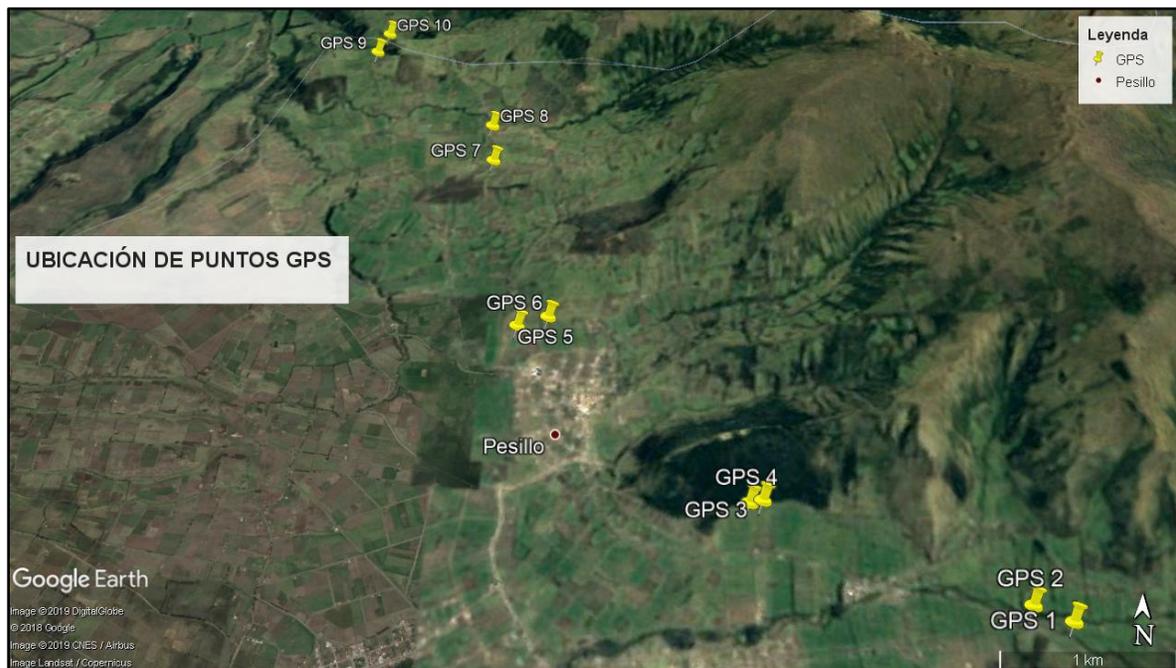
- **Ubicación de Puntos GPS**

Figura 4
Colocación del punto GPS 3



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 5
Ubicación de Puntos GPS a lo largo de la Acequia Pumamaqui



Fuente: Google Earth, 2019

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

2.2 Levantamiento Topográfico

2.2.1 Metodología RTK

La metodología RTK (Real Time Kinematic), es un método de posicionamiento cinemático en tiempo real que consiste en transmitir señales a través de los sistemas globales de navegación por satélites GPS, GLONASS y GALILEO.

Para el proyecto actual se utilizaron antenas TRIMBLE modelo R4 versión 3, el procedimiento en campo inicia con la base centrada y nivelada en un punto de georreferenciación conocido ubicado anteriormente, para el levantamiento a lo largo de los 12 km de la Acequia Pumamaqui se necesitaron 4 cambios de estación base, para los cuales los puntos a ubicarse fueron el punto GPS 3, GPS 8, GPS AUX1 y GPS AUX2.

La estación base es la encargada de transmitir las señales de correcciones diferenciales hacia la antena móvil (RTK) para determinar la posición relativa con precisiones milimétricas, para este fin es necesario que se recepte la mayor cantidad de satélites posibles siendo el mínimo 5 satélites. Es recomendable que el método RTK sea utilizado a líneas base cortas no mayores a 10 kilómetros (Mundo GEO , 2019).

A continuación, se muestran imágenes del proceso realizado mediante el método RTK.

Figura 6
Instalación de la estación base



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 7
Toma de datos mediante RTK



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

2.2.2 Metodología por Estación Total

Esta metodología se la utilizó puesto que en gran parte del tramo de conducción de la Acequia Pumamaqui existían bosques y abundante vegetación en los márgenes de esta. Debido a estas condiciones desfavorables para el levantamiento topográfico en los tramos con las características anteriormente mencionadas se optó por utilizar una estación total Leica TS 26, como se muestra en la siguiente figura

Figura 8
Estación Total Leica TS 26



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Para poder posicionarse con la estación se lo realizó tomando en cuenta los puntos GPS anteriormente plantados y de los cuales ya se tenía información de sus coordenadas. El método con el cual se realizó el levantamiento topográfico fue radial ya que debido a la dificultad de tomar los puntos y poderlos realizar con el método de la poligonal, este método resulto ser el más eficaz y conveniente, ya que permitió tomar los puntos necesarios

para la obtención de la sección transversal de la Acequia Pumamaqui, así como una faja de 15 m a partir del eje de la acequia a cada lado.

2.3 Análisis y procesamiento de información en el software Civil CAD 3D

A partir de los levantamientos realizados por Estación Total y el método RTK, se procede a exportar los datos hacia un módulo gráfico, para el efecto se utilizará el software Civil CAD 3D. En consecuencia, se obtuvo una nube de puntos con 9798 datos, con su respectiva identificación y posteriormente esta información debe ser procesada para su análisis.

El procesamiento de información anteriormente descrito se realizó por parte de MOGRO CONSTRUCTORES Ingenieros & Arquitectos Asociados, por medio de la cual se obtuvieron los siguientes resultados:

- Faja topográfica de 15m desde el eje del canal hacia el lado izquierdo y derecho
- Forma y trayectoria de la Acequia Pumamaqui
- Representación de la infraestructura existente en la Acequia Pumamaqui y otros detalles

2.4 Planos Topográficos

La empresa MOGRO CONSTRUCTORES Ingenieros & Arquitectos Asociados proporcionó la información topográfica en formato digital y físico a través de 12 planos, los mismos que contienen toda la información necesaria, tal como ubicación geográfica, curvas de nivel (faja topográfica), detalles de la Acequia Pumamaqui, los túneles formados en el tramo de conducción, así como las estructuras existentes a lo largo de la misma.

Los planos se adjuntan en **ANEXOS 2**.

CAPÍTULO III

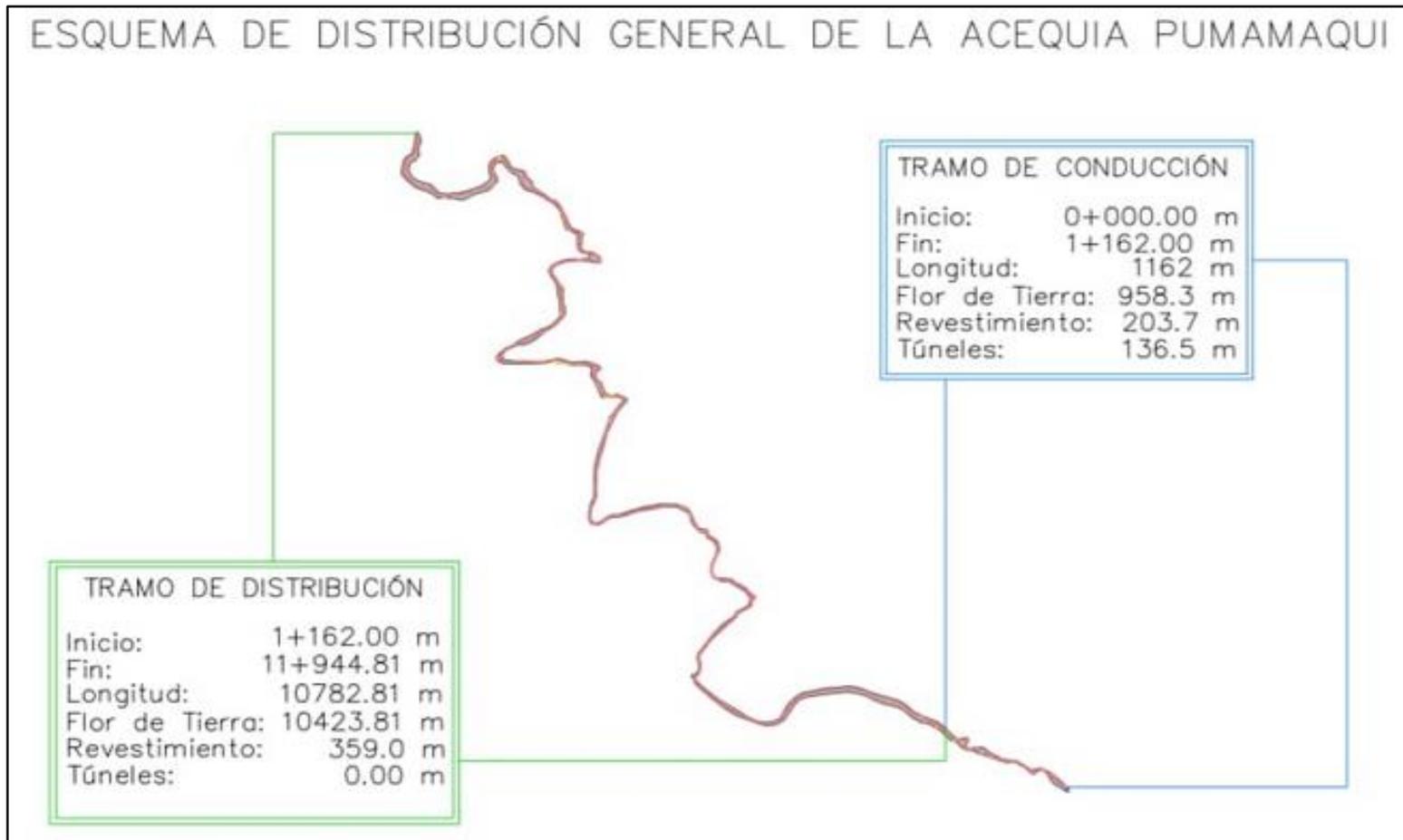
3. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA HIDRÁULICA ACTUAL DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI EN SUS TRAMOS DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN

3.1 Descripción general de la situación actual de los tramos de conducción y distribución a lo largo de la acequia Pumamaqui

La Acequia Pumamaqui cuenta con una longitud total de 11 944.81 m, medida desde la captación en el Río la Chimba hasta el límite con la provincia de Imbabura, de los cuales 11 382.11 m se encuentran a flor de tierra, 562.7 m están revestidos de hormigón, cabe mencionar que en algunos tramos específicos debido a la dificultad de la topografía el revestimiento únicamente se encuentra en lado izquierdo o derecho de la acequia dependiendo de la situación del terreno y aproximadamente 136.5 m de la acequia transcurren por túneles.

Para este proyecto la Acequia Pumamaqui se la ha dividido en dos tramos uno de conducción que tiene una longitud de 1 162 m el mismo que inicia en la abscisa 0+000.00 m y culmina en la abscisa 1+162.00 m. El siguiente tramo corresponde al de distribución, cuya longitud es de 10 782.81 m iniciando en la abscisa 1+162.00 m y termina en la abscisa 11+944.81 m.

Figura 9
Esquema de la distribución general de la Acequia Pumamaqui



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Tramo de Conducción

Este tramo se inicia en la captación desde el Río La Chimba y culmina en el primer medidor de caudales existente en la Acequia Pumamaqui. En el tramo de conducción se puede evidenciar la existencia de cinco túneles que han sido construidos por los usuarios hace varios decenios y su estructura en su mayoría es de roca, es de vital importancia mencionar que en dos de estos túneles cuando existe una crecida de caudal este desborda a través de un agujero ubicado lateralmente y descarga de forma natural en el río La Chimba.

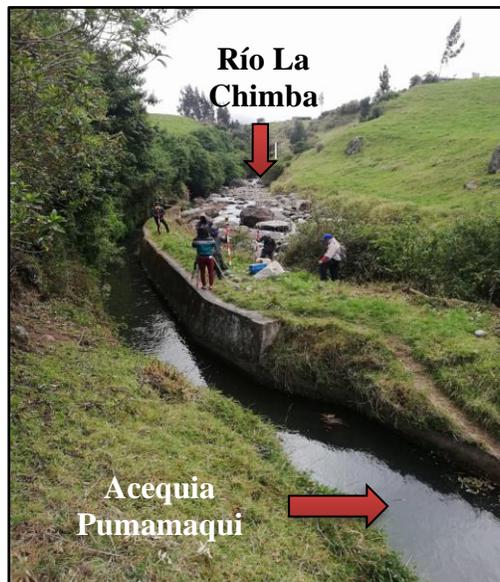
En este tramo de la acequia se cuenta mayormente con infraestructura de tierra y una minoría esta revestida por hormigón. Otro dato importante es que a lo largo del tramo de conducción la topografía es accidentada y las laderas colindantes con la acequia son de pendientes considerables y la sección transversal de la acequia es variable y serpenteante.

En el tramo de conducción se cuenta con dos afluentes naturales ubicados en la abscisa 0+755 y 1+150 m respectivamente y uno intervenido en hormigón, el mismo que proviene del afluente de Turucucho que confluye con la acequia Pumamaqui en la abscisa 0+180 m. Así también se evidencia que no existe ningún óvalo o usuario del sistema, además en este tramo se encuentran actualmente dos obras de evacuación de excedentes (compuertas).

Lo descrito anteriormente, se puede evidenciar a continuación desde la figura 10 hasta la figura 15.

Figura 10

Punto de inicio, captación desde el Río La Chimba



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 11

Forma serpenteante del tramo de conducción



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 12
Afluente de Turucucho hacia la Acequia Pumamaqui



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 13
Compuerta para la evacuación de excedentes



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 14
Ingreso al túnel en el tramo de conducción



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 15
*Agujero natural durante la conducción en el túnel,
ubicado lateralmente*



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Tramo de Distribución

Este tramo está comprendido desde el primer medidor de caudales ubicado en la Acequia Pumamaqui hasta el límite con la Provincia de Imbabura. En este tramo inicia la distribución del elemento agua para los usuarios del sistema a través de tuberías de PVC presurizadas con los desniveles naturales desde la cota de los óvalos hasta las parcelas de riego.

A diferencia del tramo de conducción el tramo de distribución se encuentra en ladera con pendientes menos pronunciadas, así como la sección transversal en tramos más largos es casi regular. A lo largo del tramo de distribución, no se ha evidenciado mayores problemas en cuanto a la estabilidad de las márgenes de la acequia ya que el suelo que conforma los taludes y la solera de esta es evidentemente de Cangahua, adicionalmente se tiene la presencia de árboles frondosos en los bordes superiores de la acequia los mismos que brindan mayor estabilidad.

Otro punto importante en este tramo es la existencia de segmentos revestidos de hormigón los cuales han sido construidos por la comunidad y de igual manera existe un aforador de caudales cercano a los límites con la provincia de Imbabura.

Se puede observar en las figuras 16, 17, 18 y 19 fotografías correspondientes a el tramo de distribución.

Figura 16

Fin del tramo de conducción, Inicio del tramo de distribución



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 17

Forma regular del tramo de distribución



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 18
Óvalo para la distribución del agua de la Acequia Pumamaqui



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 19
Punto de estudio, límite entre la provincia de Pichincha e Imbabura



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

3.2 Sectorización de tramos de estudio

Uno de los problemas más relevantes que se han detectado en la Acequia Pumamaqui es el de la infiltración del agua que circula a través de esta hacia las márgenes adyacentes y en las cuales se ha podido evidenciar infiltraciones o fugas de agua a través de fisuras, paredes erosionadas o agujeros que disminuyen la eficiencia de operación de la acequia incrementado el déficit en cuanto a los caudales de demanda.

Para esto es importante realizar un plan de sectorización ya que es una estrategia útil para poder identificar de mejor manera los posibles tramos críticos en los que se evidencie una pérdida potencial de caudal debido a infiltraciones.

Para la sectorización de la Acequia Pumamaqui se partió de dos tramos bien definidos como lo son el de conducción y el de distribución.

3.2.1 Sectorización del tramo de conducción

Para el tramo de conducción la sectorización se realizó tomando en cuenta las características principales del sitio, tales como la infraestructura existente, la topografía y la presencia de afluentes naturales. En base a estas consideraciones se tienen las siguientes zonificaciones:

- Zona de túneles
- Zona de afluentes naturales
- Zona sin intervención
- Zona con construcción

3.2.2 Sectorización del tramo de distribución

De igual forma en el tramo de distribución se han tomado en cuenta distintos aspectos, debido a que este tramo tiene mayor longitud posee diferentes características del terreno tanto en la acequia como en sus márgenes. De los factores más destacables podemos mencionar la infraestructura existente a lo largo del mismo, la presencia de afluentes naturales, la presencia abundante de vegetación en sus laderas y la condición prevaleciente a flor de tierra es así que se ha obtenido las siguientes zonificaciones:

- Zona agrícola con material permeable
- Zona agrícola con material impermeable
- Zona Boscosa
- Zona de afluentes naturales

3.3 Medición de caudales en los tramos de estudio

3.3.1 Aforos directos

Los aforos permiten calcular el caudal circulante en una sección determinada, tanto para pequeños caudales como para grandes ríos.

En la Acequia Pumamaqui es necesario utilizar aparatos especiales o realizar una serie de procesos para poder medir los caudales directamente, a este conjunto de trabajos se los conoce como aforos directos cuya clasificación es la siguiente:

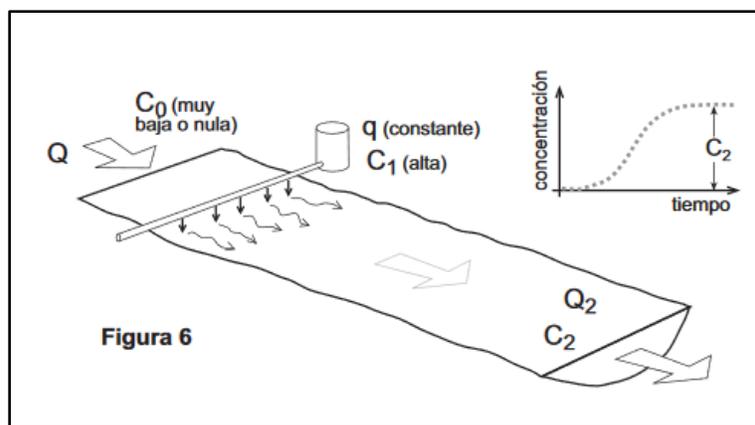
- **Aforos Químicos**

Consiste en arrojar una substancia disolvente conocida al cauce.

Es recomendable realizar este tipo de mediciones desde aguas abajo hacia aguas arriba de la corriente del cauce para evitar mezclas, para su aplicación son conocidos dos procedimientos: vertido constante y el de vertido único o de integración (Román, 2017).

Figura 20

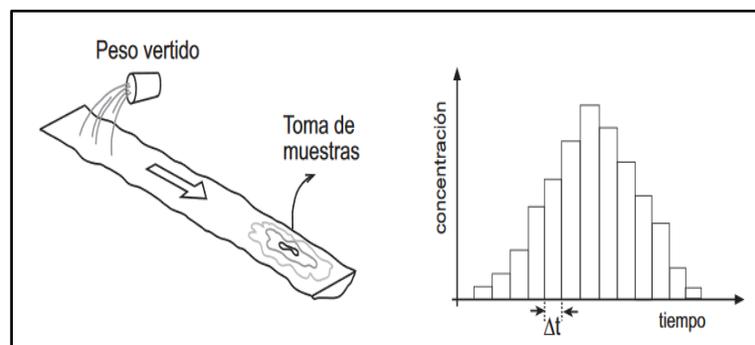
Aforo químico de vertido constante



Fuente: Román, J. S. (2017). *HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA*. Salamanca: safecreative.

Figura 21

Aforo químico de vertido único o de integración



Fuente: Román, J. S. (2017). *HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA*. Salamanca: safecreative.

- **Aforos con Flotadores**

Este tipo de aforo se los utiliza para cauces donde no se requiera una mayor precisión en los resultados, por esta razón este método es el más sencillo de realizar y por consiguiente es el más impreciso. Aplicando la ecuación de continuidad donde se multiplica la superficie de la sección determinada (W) y la velocidad media del cauce (V_m), es posible conocer el valor del caudal deseado (Q) (Caiza, 2014).

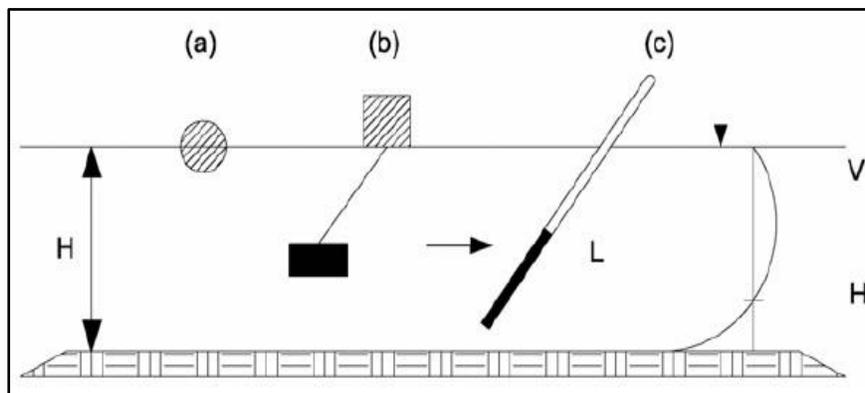
$$Q = W \times V_m$$

Para el cálculo de la sección transversal se mide el ancho y la profundidad, es recomendable hacerlo en segmentos para mayor precisión y para el cálculo de la velocidad media se arroja un objeto que flote en la superficie del cauce, se toma una medida de longitud preferiblemente recto (L), se inicia la toma del tiempo (t) en dicha longitud y se obtiene la velocidad superficial (Caiza, 2014). Como se mencionó anteriormente este método es bastante impreciso por lo que normalmente se multiplica con un coeficiente de 0.85 para obtener finalmente la velocidad media (V_m).

$$V_m = L/t$$

Figura 22

Aforo con flotador: a) flotador simple, b) flotador doble, c) bastón flotador



Fuente: Gutiérrez, C. (2014). *HIDROLOGÍA BÁSICA Y APLICADA*. QUITO: ABYA YALA.

- **Aforos con Molinete**

Este método utiliza un instrumento de precisión conocido como molinete, el cual nos permite conocer la velocidad de flujo en diferentes puntos de una sección transversal determinada, para el posterior cálculo de caudal. El objeto utilizado para las mediciones consta principalmente de una hélice y de un contador electrónico (Caiza, 2014).

El caudal es medido nuevamente con la ecuación de continuidad ($Q = W * Vm$), donde se mide el ancho exacto del cauce dividiéndolo en partes iguales para posteriormente tomar dato de la profundidad en sus verticales y de esta manera obtener un dato muy preciso de la sección transversal analizada. La velocidad por su parte es medida con el molinete, este se sumerge al cauce por un determinado tiempo y a través del contador electrónico de revoluciones se obtienen la ecuación lineal de velocidad (Caiza, 2014).

$$V = (a \times n) + b$$

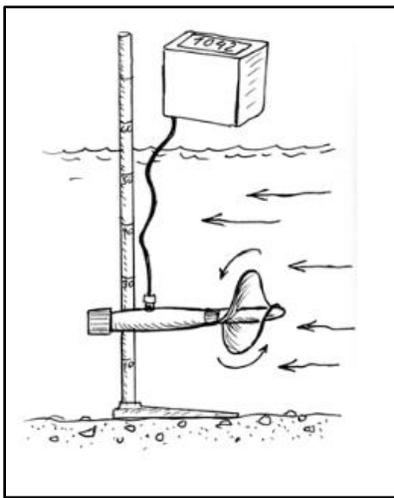
Donde:

V: Velocidad de la corriente del agua (m/s)

n: Numero de revoluciones en un determinado tiempo

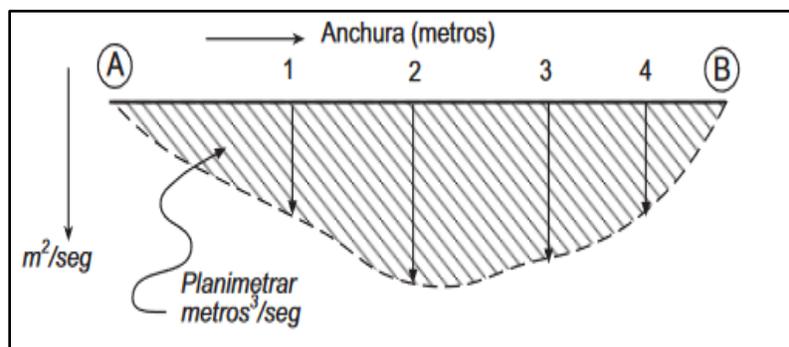
a y b: Coeficientes numéricos obtenidos experimentalmente en laboratorio y están en función del tipo de molinete y su número de hélice.

Figura 23
Molinete con contador electrónico



Fuente: Román, J. S. (2017). *HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA*. Salamanca: safecreative.

Figura 24
Sección transversal del cauce



Fuente: Román, J. S. (2017). *HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA*. SALAMANCA: safecreative.

Para realizar la evaluación correcta de la eficiencia hidráulica actual en la acequia Pumamaqui se utilizará el método de aforos directos con molinete para medir los caudales circulantes a lo largo del tramo de conducción y distribución para su posterior análisis y comparación. Debido a que el aforo con molinete es el método más exacto y preciso se utilizará el equipo de marca PLANO modelo FP211 FLOW PROBE, generalmente es un instrumento utilizado para medir velocidades con alta precisión en tuberías, canales, zanjas, ríos, etc.

Este molinete es una herramienta cuya funcionalidad consiste en un sensor de hélice conectada por un cable interno hacia un mango de sonda expandible y termina en una pantalla de lectura digital, la pantalla incorpora un medidor de flujo de velocidad promedio real.

3.4 Análisis y comparación de resultados

De acuerdo con la sectorización planteada anteriormente, se realizaron los aforos y mediciones respectivas en campo el mes de mayo bajo una condición climática templada (despejado), se realizó una sola medición para la comparación de estos resultados con el fin de determinar únicamente las pérdidas por infiltración mas no la determinación del caudal circulante.

Las secciones, áreas y ejemplos de cálculo para la obtención de los caudales se encuentran en el **ANEXO N°3**. A continuación, se muestran fotografías del trabajo realizado en la acequia Pumamaqui y después del procesamiento de datos de igual forma se presentan las tablas con los resultados finales.

Figura 25
Medición de caudal en el tramo de conducción



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 26
Aforo en el canal parshall, fin del tramo de conducción e inicio del tramo de distribución



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 27

Afluente natural en un sector revestido del tramo de distribución



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 28

Aforo en el final de la acequia Pumamaqui



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

3.4.1 Aforos en el tramo de conducción

Es importante mencionar que los aforos realizados para la obtención de los caudales parciales en cada punto de estudio y la comparación de resultados en el tramo de conducción se realizaron de manera consecutiva debido a las características del terreno.

Tabla 5

Caudales aforados in situ con molinete, tramo de conducción

AFOROS	UBICACIÓN DE SECCIÓN	ÁREA	V izquierda	V centro	V derecha	V media	Caudal
		[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m ³ /s]
1	0+157	0,186	1	1,1	1,1	1,07	0,199
2	0+395	0,324	0,5	0,6	0,4	0,50	0,162
3	0+413	0,164	0,6	0,9	0,6	0,70	0,115
4	0+525	0,276	0,5	0,6	0,5	0,53	0,147
5	0+581	0,239	0,5	0,6	0,7	0,60	0,143
6	0+625	0,247	0,5	0,6	0,6	0,57	0,140
7	0+709	0,344	0,5	0,5	0,5	0,50	0,172
8	0+737	0,278	0,5	0,5	0,4	0,47	0,130
9	0+765	0,374	0,3	0,4	0,5	0,40	0,150
10	0+935	0,566	0,3	0,3	0,2	0,27	0,151
11	0+959	0,506	0,3	0,3	0,2	0,27	0,135
12	1+144	0,203	0,7	0,8	0,7	0,73	0,149
13	1+159	0,254	0,7	0,7	0,7	0,70	0,178

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Tabla 6

Comparación de resultados entre aforos, tramo de conducción

COMPARACIÓN AFORO	LONGITUD	Caudal (1)	Caudal (2)	Caudal resultante	Conclusión	Porcentaje
	[m]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]		[%]
1 – 2	238	0,199	0,162	0,037	Pérdida	18,52
2 – 3	18	0,162	0,115	0,047	Pérdida	29,09
3 – 4	112	0,115	0,147	0,032	Aporte	28,14
4 -5	56	0,147	0,143	0,004	Pérdida	2,79
5 – 6	44	0,143	0,140	0,003	Pérdida	2,23
6 – 7	84	0,140	0,172	0,032	Aporte	22,90
7 – 8	28	0,172	0,130	0,042	Pérdida	24,47
8 – 9	28	0,130	0,150	0,020	Aporte	15,25
9 – 10	170	0,150	0,151	0,001	Aporte	0,91
10 – 11	24	0,151	0,135	0,016	Pérdida	10,75
11 – 12	185	0,135	0,149	0,014	Aporte	10,16
12 – 13	15	0,149	0,178	0,030	Aporte	19,92
SUBTOTAL DE CAUDAL DE APORTACIÓN; [m³/s]						0,129
SUBTOTAL DE CAUDAL DE PÉRDIDA O INFILTRACIÓN; [m³/s]						0,150

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

3.4.2 Aforos en el tramo de distribución

En el tramo de distribución la medición con aforos se la realizó en segmentos distribuidos estratégicamente tomando en cuenta la zonificación anteriormente citada en función de las características que existen a lo largo de este tramo.

Tabla 7

Caudales aforados in situ con molinete, tramo de distribución

AFOROS	UBICACIÓN	ÁREA	V izquierda	V centro	V derecha	V media	Caudal
		[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m ³ /s]
1	1+159	0,254	0,7	0,7	0,7	0,700	0,178
2	1+723	0,549	0,3	0,3	0,3	0,300	0,165
3	2+241	0,389	0,3	0,6	0,4	0,433	0,169
4	2+526	0,506	0,3	0,4	0,3	0,333	0,169
5	3+625	0,651	0,3	0,3	0,3	0,300	0,195
6	3+791	0,540	0,2	0,35	0,2	0,250	0,135
7	4+065	0,586	0,2	0,3	0,2	0,233	0,137
8	4+182	0,307	0,3	0,7	0,7	0,567	0,174
9	4+186	0,485	0,3	0,4	0,3	0,333	0,162
10	4+345	0,350	0,5	0,5	0,5	0,500	0,175
11	4+770	0,565	0,2	0,35	0,3	0,283	0,160
12	4+858	0,224	0,7	0,7	0,5	0,633	0,142
13	5+002	0,306	0,7	0,6	0,6	0,633	0,194
14	5+005	0,266	0,4	0,7	0,8	0,633	0,168
15	5+313	0,380	0,1	0,55	0,9	0,517	0,196
16	6+269	0,571	0,2	0,25	0,6	0,350	0,200
17	6+416	0,422	0,3	0,55	0,2	0,350	0,148
18	6+674	0,398	0,5	0,5	0,3	0,433	0,173
19	6+984	0,155	1,1	1,3	1,5	1,300	0,202
20	6+986	0,174	1,35	1,7	1,5	1,517	0,264
21	7+134	0,211	0,85	1,05	0,95	0,950	0,201
22	8+139	0,155	0,95	1,2	0,9	1,017	0,157
23	8+356	0,216	0,55	1,25	0,7	0,833	0,180
24	8+968	0,506	0,2	0,2	0,3	0,233	0,118
25	9+163	0,689	0,5	0,1	0,1	0,233	0,161
26	9+261	0,407	0,4	0,5	0,3	0,400	0,163
27	9+544	0,377	0,3	0,45	0,3	0,350	0,132
28	10+269	0,245	0,6	0,65	0,5	0,583	0,143
29	10+610	0,554	0,25	0,35	0,15	0,250	0,139
30	10+744	0,325	0,35	0,3	0,25	0,300	0,097
31	11+028	0,289	0,15	0,5	0,6	0,417	0,120
32	11+392	0,260	0,35	0,5	0,45	0,433	0,112
33	11+597	0,202	0,5	0,6	0,6	0,567	0,115
34	11+617	0,208	0,3	0,6	0,6	0,500	0,104
35	11+935	0,214	0,1	0,3	0,5	0,300	0,064

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Tabla 8

Comparación de resultados entre aforos, tramo de distribución

COMPARACIÓN AFORO	LONGITUD	Caudal (1)	Caudal (2)	Q resultante	Conclusión	Porcentaje
	[m]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]		[%]
1 – 2	564	0,178	0,165	0,013	Pérdida	7,56
3 – 4	285	0,169	0,169	0,000	Aporte	0,12
5 – 6	166	0,195	0,135	0,060	Pérdida	30,89
7 – 8	117	0,137	0,174	0,037	Aporte	27,23
9 – 10	159	0,162	0,175	0,013	Aporte	8,35
11 – 12	88	0,160	0,142	0,018	Pérdida	11,48
12 – 13	144	0,142	0,194	0,052	Aporte	36,84
14 – 15	308	0,168	0,196	0,028	Aporte	16,85
16 – 17	147	0,200	0,148	0,052	Pérdida	26,08
18 – 19	310	0,173	0,202	0,029	Aporte	16,78
20 – 21	148	0,264	0,201	0,063	Pérdida	23,85
22 – 23	217	0,157	0,180	0,023	Aporte	14,44
24 – 25	195	0,118	0,161	0,043	Aporte	35,99
26 – 27	283	0,163	0,132	0,031	Pérdida	19,03
28 – 29	341	0,143	0,139	0,005	Pérdida	3,25
30 – 31	284	0,097	0,120	0,023	Aporte	23,49
32 – 33	205	0,112	0,115	0,002	Aporte	1,96
34 – 35	318	0,104	0,064	0,040	Pérdida	38,50
SUBTOTAL DE CAUDAL DE APORTACIÓN [m³/s]						0,251
SUBTOTAL DE CAUDAL DE PÉRDIDA O INFILTRACIÓN [m³/s]						0,283

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

3.5 Identificación de zonas en riesgo

El análisis del riesgo consiste en determinar posibles situaciones en las que se vea afectada la integridad de un sistema durante su vida útil, es así que para este trabajo se ha identificado zonas las cuales son vulnerables y su eficiencia tanto en conducción como en distribución presentan problemas. En base a los análisis realizados mediante las mediciones de caudales (aforos directos) y sectorización de tramos de estudio, se han obtenido las siguientes zonas en riesgo las mismas que tendrán que ser analizadas más adelante con el fin de brindar soluciones aplicables y que mejoren significativamente su eficiencia.

En función de los resultados obtenidos en el ítem anterior se tienen las siguientes zonas de riesgo para cada tramo de la Acequia Pumamaqui:

Tabla 9

Eficiencia de las zonas más críticas del tramo de conducción

TRAMO DE CONDUCCIÓN		
ZONA	EFICIENCIA PROMEDIO (%)	DESCRIPCIÓN
Túneles	73.22	Estas zonas se caracterizan por su sección transversal la cual es en forma de túnel no muy bien definida, además cuenta con cavernas laterales las cuales han sido construidas por los usuarios del sistema.
Sin intervención	81.48	En estas zonas la característica principal es que su infraestructura es predominantemente a flor de tierra y segmentos pequeños con revestimiento de hormigón

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Tabla 10

Eficiencia de las zonas más críticas del tramo de distribución

TRAMO DE DISTRIBUCIÓN		
ZONA	EFICIENCIA PROMEDIO (%)	DESCRIPCIÓN
Agrícola con suelo permeable	70.17	En estas zonas se evidencian depósitos de aluviales con materiales arcillosos y limosos, además sus paredes laterales por estar en ladera pueden ocasionar problemas debido al gran porcentaje de infiltración.
Quebrada	80.97	En esta zona existe una quebrada que confluye con la acequia y sus caudales se reparten ocasionando una gran pérdida de estos.

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

3.6 Conclusiones

3.6.1 Conclusiones del tramo de conducción

- Mediante los resultados obtenidos se concluyó que para tener una mayor eficiencia de todo el sistema es menester enfocar las soluciones pertinentes en el tramo de conducción puesto que este transporta el mayor caudal desde la toma y es importante evitar en su mayoría pérdidas que generarían un déficit considerable en el tramo de distribución.
- A través de los resultados obtenidos se evidenció que las fuentes potenciales de pérdida del caudal captado están concentradas en los túneles, lo que afirma la necesidad de implementar medidas correctivas que permitan evitar estos problemas y se aproveche en su totalidad la conducción del caudal de demanda para los usuarios.
- Posterior a la evaluación de resultados se evidenció la existencia de afluentes naturales hacia la acequia Pumamaqui, que en comparación a las pérdidas que existen en este tramo representan un menor valor, sin embargo, es necesario tomar en cuenta que estos afluentes son de gran importancia ya que su aporte beneficia a la demanda de los usuarios, por esta razón es conveniente ofrecer soluciones constructivas que generen un impacto positivo a todo el sistema.

3.6.2 Conclusiones del tramo de distribución

- Mediante las inspecciones en campo se pudo observar que a lo largo de este tramo existen variaciones de las condiciones de suelo en la Acequia Pumamaqui. Esto se debe a la presencia de afluentes naturales, diferentes condiciones de vegetación y cambios en la topografía del sector.
- En este tramo hay presencia de afluentes naturales, los cuales son de una magnitud considerable y traen consigo aluviales, estos descargan directamente en la acequia y se ubican aguas abajo de estas confluencias.
- A consecuencia de lo mencionado anteriormente, se tienen zonas donde el suelo es bastante permeable y se registran las mayores cantidades de infiltración, en estos tramos se tiene una eficiencia general del 70,17 %.
- A través de los resultados obtenidos se refleja que, en la zona boscosa ubicada en las márgenes de la acequia, cuenta en gran mayoría con árboles de eucalipto y esto ayuda a que el suelo sea más compacto, lo que genera una mayor estabilidad en las laderas provocando una pérdida mínima de caudal.
- Otra zona importante es la de los suelos impermeables ya que, en estos tramos, a pesar de no existir la presencia de bosques, su textura es predominantemente de cangagua y su pérdida de caudal también es mínima.
- Un punto importante a destacar en el tramo de distribución se da entre las abscisas 9+261 m y 9+544 m, donde la quebrada existente en dicho tramo cruza transversalmente a la acequia y debido a la ausencia de una obra que regule la trayectoria de los caudales provenientes de la acequia y de la quebrada, esto

ocasiona una pérdida importante en este punto puesto que no se cuantifica realmente cuanto caudal desemboca en la quebrada y cuanto a la acequia, de tal manera que se tiene una incertidumbre del caudal estimado, debido a las condiciones mencionadas.

CAPÍTULO IV

4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

4.1 Caudales de aportación

El caudal que aporta a la Acequia Pumamaqui es el caudal de escorrentía proveniente de las aguas lluvia restando el caudal de evaporación e infiltración en la superficie de la cuenca, este caudal drena (escurre) desde el punto más alto hacia el punto más bajo de la microcuenca trazada en el sitio de estudio, es decir desde la parte final de la acequia hasta la obra de toma.

Según (Villón, HIDROLOGÍA, 2004) para el cálculo de los caudales de aportación existen varios métodos entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

- **Método Directo:** Éste es un método hidráulico en el cual la estimación del caudal máximo ($Q_{\text{máx}}$) se lo realiza después del paso de una avenida en base a datos específicos tomados en campo.
- **Métodos Empíricos:** En cuanto a estos métodos de cálculo existen varios, en general todos son derivaciones del método racional, estos a su vez tienen una gran acogida ya que son sencillos, pero estos métodos podrían involucrar errores considerables ya que el proceso de escurrimiento es resumido en una fórmula directa en la que interviene el área de la cuenca y un coeficiente de escurrimiento.
- **Método del número de curva:** Este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos, y este método en comparación con el método racional tiene una clara ventaja puesto que es aplicable para cuencas pequeñas y medianas en el que el parámetro de mayor

importancia de la lluvia generadora es la altura de esta, considerando a la intensidad en segundo plano.

- **Métodos estadísticos:** Estos métodos básicamente consideran que el caudal máximo anual se comporta como una variable aleatoria con una cierta distribución. Para poder utilizar este tipo de métodos es necesario tener una serie de datos de caudales máximos anuales con los que mediante este registro se obtendrá el caudal de diseño para un periodo de retorno determinado.

Para el proyecto actual se ha optado por realizar el cálculo del caudal de aportación mediante el método del número de curva (SCS); considerando de manera uniforme la precipitación para 24 horas sobre cada una de las áreas de drenaje en la cuenca hidrológica, adicionalmente el método SCS en su ecuación, las pérdidas iniciales (I_a) corresponden al 20% del potencial máximo de retención (S), por lo tanto, el caudal de escorrentía se expresa de la siguiente forma:

$$Q_n = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \text{ [mm]}$$

Donde:

Q_n : Caudal de escorrentía neto expresado en altura de agua [mm]

P : Precipitación media [mm]

S : Coeficiente del potencial máximo de retención [mm]

El coeficiente S está en función del número de curva (CN), y se lo obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$S = 25,4 \frac{1000}{CN} - 10 \text{ [mm]}$$

4.1.1 Área de aportación

Es de gran importancia poder determinar la superficie donde aporta la escorrentía hacia la Acequia Pumamaqui, para conocer esta área de drenaje se trazarán doce microcuencas a través de la topografía del sitio dibujando una línea divisoria cuyo drenaje se dirige hacia una corriente principal, en este caso la Acequia Pumamaqui.

Para el trazado de las microcuencas partimos desde el punto más bajo de descarga y continuamos hacia aguas arriba hasta llegar a la cota más alta, se debe cortar perpendicularmente las curvas de nivel en los puntos más altos y teniendo en cuenta que no se debe cruzar cauces de ríos naturales y quebradas (Caiza, 2014).

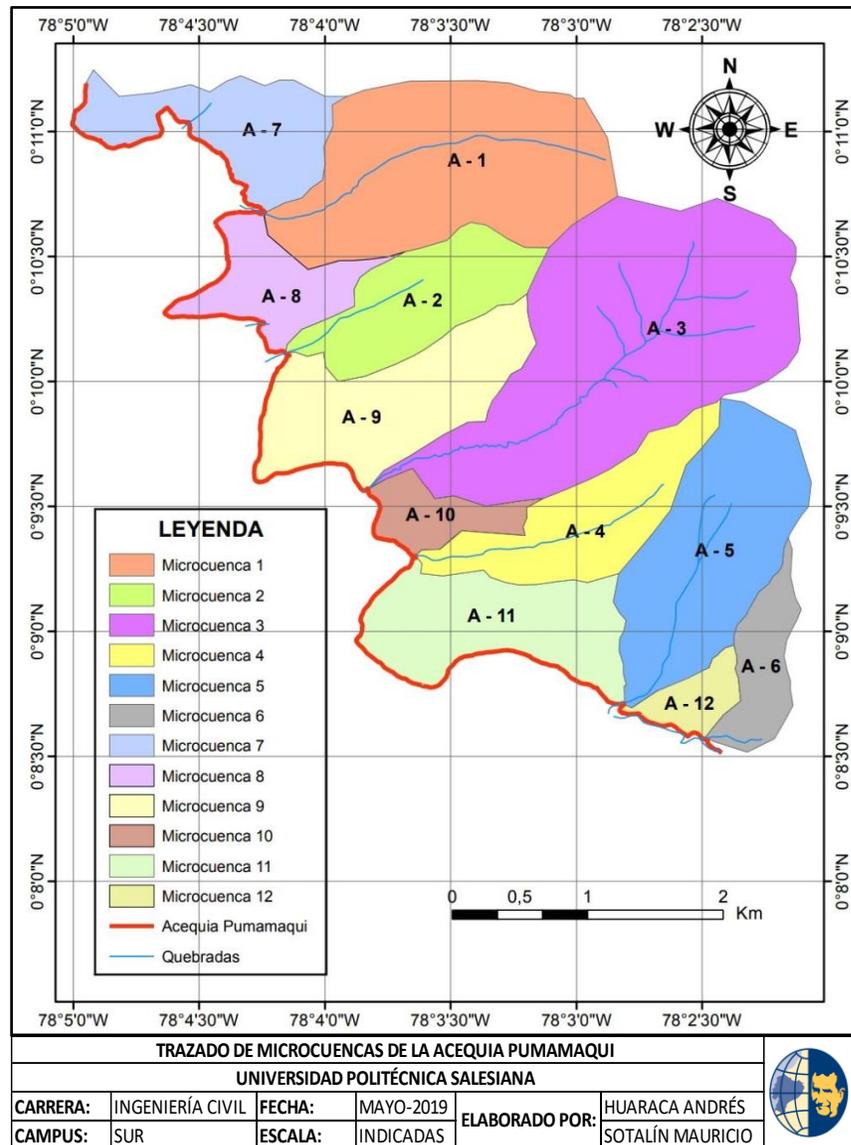
A continuación, se muestra una tabla de información general de las microcuencas trazadas y su respectivo mapa.

Tabla 11
Información general de Microcuencas

Microcuenca	Área	Longitud más larga de descarga	Cota máxima	Cota mínima	Pendiente media
	[Ha]	[m]	[msnm]	[msnm]	[%]
1	252,57	2741,7	3800	3140	24,07
2	104,80	1215,0	3800	3166	52,18
3	370,77	3406,8	3800	3168	18,55
4	111,83	1999,5	3760	3172	29,41
5	180,60	1799,4	3760	3179	32,29
6	49,73	500,0	3650	3182	93,60
7	102,17	550,0	3450	3150	54,55
8	68,88	680,0	3400	3163	34,85
9	144,56	1700,0	3700	3167	31,35
10	39,66	500,0	3420	3168	50,40
11	128,59	820,0	3550	3176	45,61
12	28,00	580,0	3380	3179	34,66

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 29
Trazado de microcuencas, áreas de aportación de la Acequia Pumamaqui



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Sumando el valor de las superficies de cada microcuencia trazada, tenemos un área total de 1 582.16 [Ha] y pendiente media de 41.79% a lo largo de toda la acequia Pumamaqui.

4.1.2 Numero de Curva

El número de curva (CN) es un factor que depende de las condiciones iniciales e hidrológicas de la superficie del suelo. Este número de curva se basa en una serie de curvas las cuales llevan el número N que varía del 1 al 100, estos números indican que $CN = 1$, toda la lluvia se infiltra y $CN = 100$, toda la lluvia escurre, por lo tanto, estos números de curva representan los coeficientes de escorrentía (Villón, HIDROLOGÍA, 2004).

4.1.2.1 Condiciones iniciales.

- *Condición seca (CN I):* caso en que los suelos logran secarse sin perder su cohesión y se puede arar o cultivar en buenas condiciones (Caiza, 2014).
- *Condición normal (CN II):* caso en el que las condiciones son normales o medias antes de que se produzca la máxima crecida en las cuencas de estudio (Caiza, 2014).
- *Condición húmeda (CN III):* caso en el que los 5 días anteriores a la tormenta se han dado lluvias generando que el suelo se encuentre en un estado saturado (Caiza, 2014).

Conociendo la zona de estudio y sus características, tales como las de humedad media, temperatura templada y sin exceso de precipitaciones, se concluye realizar los cálculos en base la condición normal (CN II).

4.1.2.2 Condiciones hidrológicas.

- *Tipo A:* En ellos el agua se infiltra rápidamente incluso en estado húmedo, están caracterizados por arenas y suelos profundos depositados por el viento (arenas limosas) (Caiza, 2014).
- *Tipo B:* Suelos poco profundos con una tasa de infiltración moderada aun en estado muy húmedos. Se caracterizan por tener una textura franco-arenosa, franca, franca-arcillosa o franco-limosa. Estos suelos están moderadamente drenados (Caiza, 2014).
- *Tipo C:* Suelos imperfectamente drenados y su profundidad es poco profunda menor a la media. Su infiltración en estado muy húmedo es lenta y se caracterizan por tener una textura franco-arcilloso, limoso, arcillo-arenosa o franco-arcilloso-limosa (Caiza, 2014).
- *Tipo D:* Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan y su drenaje es muy pobre. Su infiltración es muy lenta y aquí se incluyen los suelos que tiene un nivel freático permanentemente alto. Su textura es arcillosa altamente plástica (Caiza, 2014).

De acuerdo con la información mostrada en la Tabla 3 y Figura 2 del actual proyecto, se puede evidenciar el tipo de suelo de la comunidad de Pesillo, en base a esta información se determina utilizar la condición hidrológica tipo B.

Una vez que se tiene claro estos parámetros se puede obtener el número de curva a través de la siguiente tabla.

Figura 30

Tabla de números de curva de escorrentía para usos, agrícola, suburbano y urbano (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0,2 S$)

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena ²	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable ⁴				
1/8 acre o menos 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

1 Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap. 9

2 Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.

3 Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

4 Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.

5 En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

Fuente: Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *HIDROLOGÍA APLICADA*. Santafé de Bogotá: McGRAW - HILL INTERAMERICANA, S.A.

La figura 26 permite obtener el número de curva para las condiciones anteriormente seleccionadas, es decir condición normal (CNII) y la condición hidrológica tipo B. Según (Gutiérrez, 2014), en caso de trabajar para las condiciones iniciales CN I y CN III pueden calcularse a través de las siguientes expresiones:

$$CN I = \frac{4.2CN II}{10 - 0.058CN II}$$

$$CN III = \frac{23CN II}{10 + 0.13CN II}$$

Para este proyecto los números de curva a utilizarse según el tipo y condiciones de suelo en la superficie de las microcuencas trazadas en el capítulo anterior (4.1.1), se han obtenido en la tabla de la figura 26, dichos resultados se muestran a continuación:

Tabla 12
Números de curva para los diferentes usos de tierra del proyecto

CONDICION INICIAL	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	USO DE TIERRA	NÚMERO DE CURVA (CN)
Normal	Tipo B	Arbusto	55
		Bosque	66
		Construcción	85
		Paramo	61
		Pasto Agrícola	71

Fuente: Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *HIDROLOGÍA APLICADA*. Santafé de Bogotá: McGRAW - HILL INTERAMERICANA, S.A.

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Finalmente se calcula el número de curva (CN) para cada una de las doce microcuencas trazadas anteriormente, se obtiene un valor ponderado de CN mediante el porcentaje del uso de tierra de cada microcuenca.

A continuación, se presenta una tabla de resumen con los valores del número de curva (CN) de cada microcuenca, los mapas y tablas individuales de cálculo se encuentran en el **ANEXO N°4**.

Tabla 13
Resumen de valores de número de curva (CN)

Microcuenca	Área	Numero de Curva
	[Ha]	[CN]
1	252,57	61,94
2	104,80	62,58
3	370,77	61,90
4	111,83	61,55
5	180,60	61,00
6	49,73	61,00
7	102,17	61,65
8	68,88	70,75
9	144,56	65,12
10	39,66	60,66
11	128,59	61,73
12	28,00	61,00

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

4.1.3 Periodo de Retorno

El periodo de retorno es uno de los factores más importantes que se debe tomar en cuenta al momento de diseñar una obra hidráulica, este se puede definir como un lapso promedio en años entre la ocurrencia de un evento que puede ser igual o mayor que una magnitud dada, es decir a un evento de crecida máxima o tormenta de diseño. El periodo de retorno para el que se dimensionará una obra dependerá de la importancia de la obra (interés socioeconómico, estratégico, turístico), así mismo de los daños que puedan ocasionar su

salida de operación o daño en las que se puede involucrar vidas humanas, costo y duración de su reconstrucción (Martínez , Fernández, & Salas, 2012).

El periodo de retorno a usarse en este estudio es de 5 años, debido a que el tipo de obra hidráulica para el que se realizó el análisis es el drenaje pluvial en zonas agrícolas como se puede evidenciar en la siguiente tabla:

Tabla 14

Periodo de retorno para la determinación del caudal de diseño para diversos tipos de obras hidráulicas

TIPO DE OBRA HIDRÁULICA	PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)
I.- DRENAJE PLUVIAL.	
I.1.- Lateral libre en calles de poblados donde se tolera encharcamiento de corta duración.	2
I.2.- Lateral libre en calles de poblados donde no se tolera encharcamiento temporal.	2
I.3.- Zonas Agrícolas.	5
I.4.- Zonas Urbanas.	
A) Poblados pequeños con menos de 100,000 habitantes.	2 - 5
B) Poblados medianos entre 100,000 y 1'000,000 de habitantes.	5 - 10
C) Poblados grandes con más de un millón de habitantes.	10 - 25
I.5.- Aeropuertos, estaciones de ferrocarril y autobuses.	10
I.6.- Cunetas y contra cunetas en caminos y carreteras.	5
II.- ESTRUCTURAS DE CRUCE.	
II.1.- Puentes carreteros en:	
A) Caminos locales que comunican poblados pequeños.	25 - 50
B) Caminos regionales que comunican poblados medianos.	50 - 100
C) Carreteras que comunican poblados grandes (Ciudades).	500 - 1000
II.2.- Puentes ferrocarrileros en:	
A) Vías locales aisladas (desvios).	50 - 100
B) Vías secundarias regionales.	100 - 500
C) Vías primarias del País.	500 - 1000

Fuente: Chapingo Autonomous University. (23 de Marzo de 2019). *Course Hero*.
 Obtenido de [https://www.coursehero.com/file/39508757/PERIODOS-DE-RETORNO-PARA-LA-DETERMINACION-DEL-GASTO-MAXIMO-DE-DISE% C3% 91O-EN-DIVERSOS-TIPOS-DE-OBRA-HIDRA/](https://www.coursehero.com/file/39508757/PERIODOS-DE-RETORNO-PARA-LA-DETERMINACION-DEL-GASTO-MAXIMO-DE-DISE%C3%91O-EN-DIVERSOS-TIPOS-DE-OBRA-HIDRA/)

4.1.4 Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración se define como el tiempo transcurrido desde la finalización de la lluvia neta hasta que finaliza la escorrentía directa. Este representa el tiempo que se demora en llegar al punto de estudio (aforo) la última gota de lluvia que cae en el extremo más lejano de la cuenca y que a su vez circula por escorrentía directa (Barranco & Álvarez, 2009).

Para el cálculo del tiempo de concentración existe varias fórmulas las cuales están en función de diferentes parámetros dependiendo de cada autor, de acuerdo a la características del terreno e información de la microcuenca en función de los parámetros del SCS y para flujos superficiales en suelos descubiertos es recomendable utilizar la fórmula que propone Kirpich (Chow, Maidment, R, & Mays, 1994); cuya expresión se muestra a continuación.

$$T_c = 0.0195 \left(\frac{Lr^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración [min]

Lr: Longitud del cauce principal [m]

H: Diferencia de elevación entre el extremo más alto de la cuenca y el punto de descarga [m]

Para el estudio de factibilidad actual de la acequia Pumamaqui se calcularon los tiempos de concentración con la ecuación de Kirpich, estos resultados se encuentran en el **ANEXO N°5**. El tiempo de concentración se encuentra en función de las condiciones físicas de la

cuenca, para tiempos de concentración pequeños, es recomendable trabajar con un valor mínimo de 12 minutos.

Para el proyecto actual no se han tomado en cuenta los valores obtenidos de tiempo de concentración, puesto que este valor es utilizado para determinar el caudal pico en un tiempo determinado. Nuestro análisis será realizado para un periodo de 24 horas y una intensidad de lluvia constante dentro de la duración efectiva, asumiendo que la precipitación esta uniformemente distribuida en toda el área de drenaje, es por esta razón que el tiempo utilizado en los cálculos es de 24 horas o a su vez 1440 minutos.

4.1.5 Intensidad de Lluvia

En definitiva, la intensidad de lluvia nos permite determinar la precipitación máxima de un evento, el mismo que será medido en mm/h para un periodo de retorno apropiado para la obra o sitio de estudio. (Cando, 2016)

En este trabajo se utilizará el Estudio de Lluvias Intensas 2015 del INAMHI, para ello es primordial identificar la zona, es así como el proyecto se encuentra ubicado en dos zonas que son; la zona 40 y la 42 siendo esta última con la que se trabajará puesto que la mayor parte del área de la microcuenca correspondiente a la Acequia Pumamaqui está ubicada en dicha zona y se considera que es la más representativa.

En las siguientes imágenes se puede evidenciar los mapas de zonificación de intensidades a nivel nacional y por su demarcación más representativa.

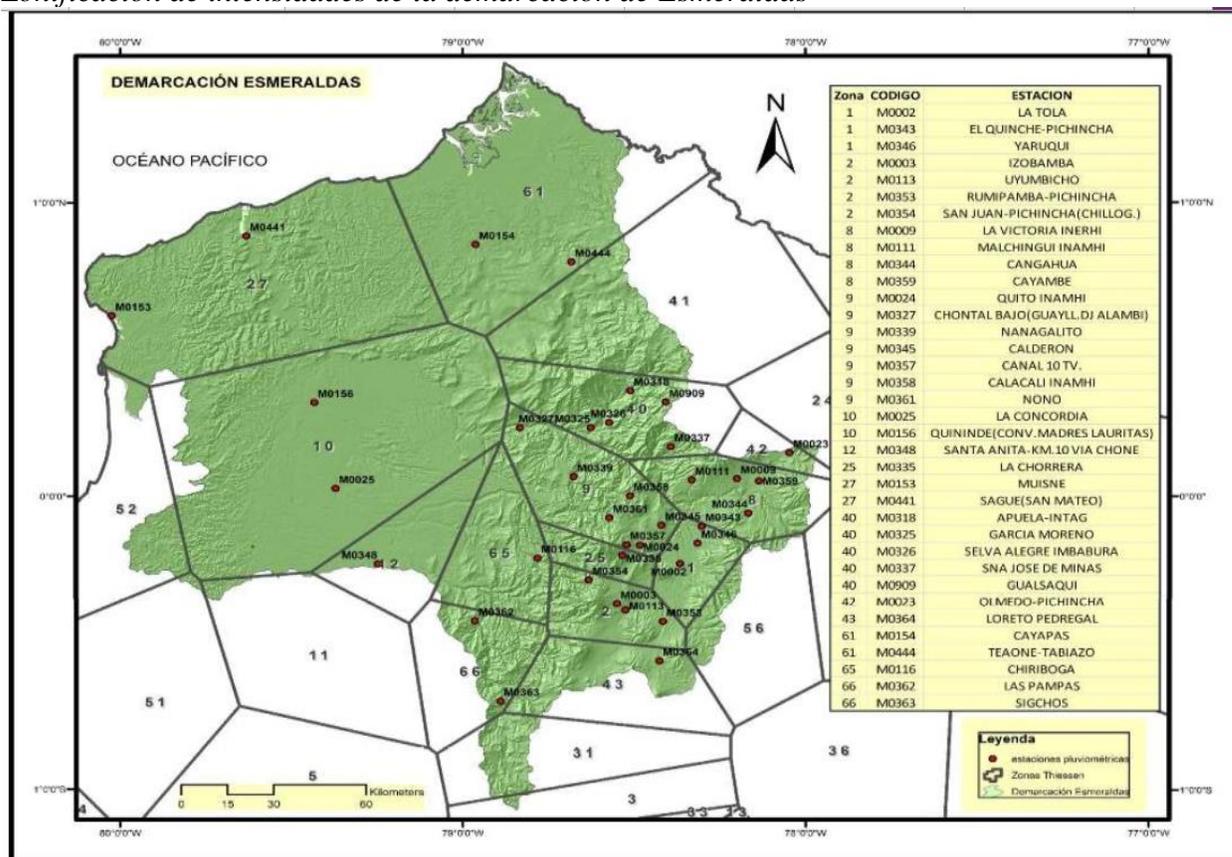
Figura 31
Zonificación de intensidades de precipitación



Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. (2015). *DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN*. QUITO : INAMHI, pag 192.

Figura 32

Zonificación de intensidades de la demarcación de Esmeraldas



Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. (2015). *DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN*. QUITO : INAMHI, pag 201.

La zona 42 pertenece a la demarcación de Esmeraldas, el análisis será para una intensidad máxima diaria, por lo que se trabajará con el valor del $I_{d_{TR}}$ para un periodo de retorno de 5 años, dicho valor se obtiene de la información de la estación meteorológica OLMEDO-PICHINCHA (M-0023) mostrada en la siguiente figura.

Figura 33

Intensidades Máximas en 24 horas para varios periodos de retorno

CODIGO	ESTACION	X	Y	Z	SERIE DATOS	N° DE AÑOS	TR2	TR5	TR10	TR25	TR50	TR100	PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE	
													A ²	Chi ²
M0001	INGUICHO	789319.16815	10028583.20060	3140	1964-2011	36	2.03	2.73	3.20	3.79	4.23	4.66	*	*
M0002	LA TOLA	793125.64374	9974612.50418	2480	1980-2011	32	1.88	2.32	2.62	2.99	3.27	3.54		*
M0003	IZOBAMBA	772701.78480	9959434.98164	3058	1964-2011	47	1.68	2.03	2.77	2.57	2.79	3.01		*
M0004	RUMIPAMBA-SALCEDO	767962.73616	9887374.07090	2680	1976-2011	36	1.33	1.55	1.70	1.89	2.03	2.17		*
M0005	PORTOVIEJO	559523.22378	9884982.17269	46	1964-2011	48	2.07	3.11	3.85	4.84	5.62	6.42	*	*
M0006	PICHILINGUE	671167.33928	9878372.67867	120	1963-2010	48	4.83	6.04	6.79	7.69	8.33	8.95	*	*
M0007	NUEVO ROCAFUERTE FUERTE	1122197.89656	9898194.53320	265	1976-2011	36	3.44	4.81	5.34	5.97	6.42	6.85	*	*
M0008	PUYO	840113.91312	9833136.76670	960	1960-2011	50	4.71	5.56	6.07	6.66	7.07	7.46	*	*
M0009	LA VICTORIA INERHI	811632.75912	10006639.78010	2262	1984-2011	15	1.36	1.67	1.55	2.14	2.33	2.53		*
M0021	ATUNTAQUI	808841.80375	10039407.48530	2200	1964-2011	47	1.44	1.98	2.33	2.78	3.11	3.44		*
M0023	OLMEDO-PICHINCHA	828653.76576	10016386.48200	3120	1975-2011	29	1.65	2.33	2.76	3.26	3.61	3.95		*

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. (2015). *DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN*. QUITO : INAMHI, pag 159.

Por lo tanto, el valor de intensidad máxima diaria en 24 horas a utilizarse en este proyecto es $I_{d_{TR}} = 2,33$ [mm/h].

4.1.3 Precipitación

En los diseños de obras hidráulicas que involucran cuencas de drenaje urbano y rural es necesario determinar el evento o eventos de lluvia que deban usarse, para ello es primordial tener establecido un continuo y consistente registro de datos con el fin de enfocar la variabilidad de dichos eventos (Gutiérrez, 2014).

Teniendo en cuenta que el estudio es para un periodo de 24 horas, la precipitación media se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P = I \times t$$

Donde:

P: Precipitación media diaria [mm]

I: Intensidad máxima diaria [mm/h]

t: Tiempo (24 horas) [h]

Reemplazando los valores en la expresión anterior, obtenemos un valor de precipitación media diaria de **P = 55,92 mm**.

4.1.4 Resultados de los Caudales de Aportación

Finalmente, después de haber realizado todos los análisis correspondientes al estudio hidrológico, se aplica las ecuaciones planteadas en el capítulo 4.1 y se obtienen los resultados de los caudales de escorrentía neta para cada microcuenca. Como último paso para obtener los caudales reales de aportación en las unidades deseadas (m^3/s), es necesario aplicar la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{Qn \times A}{t}$$

Donde:

Q: Caudal real de aportación [m^3/s]

Qn: Caudal de escorrentía neto expresado en altura de agua [mm]

A: Área de aportación o influencia [m]

t: Tiempo de duración efectiva [s]

En el ANEXO N°6 se realiza un ejemplo de cálculo siguiendo todo el procedimiento anteriormente descrito, por último, se indica a continuación todos los resultados obtenidos durante el proceso a través de la siguiente tabla.

Tabla 15
Caudales de aportación en la acequia Pumamaqui

Microcuenca	Área	Tiempo de duración efectiva (t)	Intensidad máxima diaria (Idtr)	Precipitación media diaria (P)	Coficiente del potencial máximo de retención	Caudal de escorrentía neta (Qn)	Caudal de aportación (Q)
	[Ha]	[h]	[mm/h]	[mm]	[S]	[mm]	[m ³ /s]
1	252,57	24	2,33	55,92	156,07	3,376	0,0987
2	104,8	24	2,33	55,92	151,91	3,676	0,0446
3	370,77	24	2,33	55,92	156,35	3,357	0,1441
4	111,83	24	2,33	55,92	158,70	3,197	0,0414
5	180,6	24	2,33	55,92	162,39	2,957	0,0618
6	49,73	24	2,33	55,92	162,39	2,957	0,0170
7	102,17	24	2,33	55,92	158,00	3,244	0,0384
8	68,88	24	2,33	55,92	104,99	8,717	0,0695
9	144,56	24	2,33	55,92	136,07	5,001	0,0837
10	39,66	24	2,33	55,92	164,73	2,812	0,0129
11	128,59	24	2,33	55,92	157,48	3,279	0,0488
12	28	24	2,33	55,92	162,39	2,957	0,0096
CAUDAL TOTAL DE APORTACIÓN DE TODAS LAS MICROCUENCAS; [m³/s]							0,6704

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

4.2 Caudal de Evapotranspiración

La evapotranspiración se puede definir como la combinación de las pérdidas ocasionadas por la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de las plantas (Villón, HIDROLOGÍA, 2004).

En este estudio es necesario estimar el caudal de evapotranspiración medido en m³/s que se pierde en condiciones climáticas propias del sitio de estudio, para este análisis se considera un área media del espejo de agua de la Acequia Pumamaqui de 1.3 m de ancho por 11 944,81 m de largo y un tiempo de duración de 24 horas. En definitiva, este caudal se debe tener presente para cuantificar la pérdida de agua a lo largo de la acequia.

4.2.1 Método de Thornthwaite

Este método fue desarrollado en los Estados Unidos y usa datos de temperaturas medias mensuales para el cual aplica una corrección de la evapotranspiración, en función de la duración astronómica del día (número de horas de sol) y el número de días para el mes de estudio (Villón, HIDROLOGÍA, 2004).

Para el cálculo de la evapotranspiración mediante el método de Thornthwaite (Villón, HIDROLOGÍA, 2004) sugiere los siguientes pasos:

1.- Calcular el índice térmico mensual (i), a partir de los valores de temperatura media del aire:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

Donde:

t = temperatura media mensual expresada en °C

2.- Calcular el índice térmico anual (I):

$$I = \sum i$$

3.- Calcular la evapotranspiración mensual no corregida (e), expresada en mm para un mes con 30 días y 12 horas diarias de sol:

$$e = 16 \times \left(10 \frac{t}{I}\right)^a$$

$$a = 0.675 \times 10^{-6} I^3 - 0.771 \times 10^{-4} I^2 + 0.01792 I + 0.49239$$

Donde:

a = exponente que varía con el índice anual de calor de acuerdo con el sitio de estudio

4.- Corregir el valor de e , conforme el mes considerado y a la latitud en la que se encuentre el sitio de estudio con la que se determinan las horas de sol las mismas que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 16

Factor de corrección f, por duración media de las horas de sol expresada en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una.

Latitud	E	F	M	A	M	J _N	J _L	A	S	O	N	D	
Norte	50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70
	45	0.80		1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
	40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
	35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
	30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
	25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.71	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
	20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
	15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
	10	0.98	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
	5	1.00	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
0	1.02	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	
Sur	5	1.04	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
	10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
	15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
	20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
	25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
	30	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
	35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
	40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
	45	1.31	1.10	1.07	0.91	0.81	0.71	0.78	0.90	0.99	1.17	1.26	1.36
	50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

Fuente: Villón, M. (2007). *DRENAJE*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, pag 107.

5.- Finalmente se calcula la *evapotranspiración mensual corregida* (e_c) expresada en mm:

$$e_c = e * f$$

Conforme las ecuaciones mencionadas anteriormente, para el cálculo del caudal de evapotranspiración fue necesario usar datos provenientes de las siguientes estaciones automáticas:

Tabla 17

Estaciones meteorológicas usadas para el cálculo de la evapotranspiración.

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	LATITUD			LONGITUD		
		GG	MM	SS	GG	MM	SS
M0023	OLMEDO-PICHINCHA	0°	8′	53″	78°	2′	52″
M0105	OTAVALO	0°	14′	36″	78°	15′	0″

Fuente: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. (13 de mayo de 2019). *INAMHI*. Obtenido de:

http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Debido a la insuficiencia de una serie de datos superior a 5 años de las temperaturas medias mensuales de la estación OLMEDO-PICHINCHA (M0023), la misma que corresponde al sitio de estudio, se optó por realizar una comparación de resultados con los de la estación OTAVALO (M0105) la cual es la más cercana y tiene condiciones similares a la zonificación de precipitación de la estación M0023 además de tener una serie de datos completa para realizar el cálculo de la evapotranspiración.

Es importante mencionar que en la información de la estación M0023 presenta datos faltantes en los años 2011 y 2012, para ello, esta información se la relleno utilizando el

método de media aritmética debido a que los datos faltantes son menores al 10% de la serie anual. Este proceso se evidencia en el **ANEXO N°7**.

En el caso de la serie de datos de la estación M0105 no hubo inconvenientes con su información ya que estaba completa, dichos datos se muestran en el **ANEXO N°7**.

Una vez obtenida la serie de datos completa, se procede a seguir el proceso anteriormente descrito, de esta manera se tiene:

Tabla 18
Caudales de Evapotranspiración para las estaciones M0023 y M0105

RESULTADOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN			
ESTACIÓN	Evapotranspiración media diaria anual (mm)	Área (m²)	Caudal de evapotranspiración (m³/s)
OLMEDO- PICHINCHA (M0023)	1.75	15528.25	0.000314
OTAVALO (M0105)	1.92	15528.25	0.000344

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Los cálculos correspondientes a la tabla 18 se muestran en el **ANEXO N°8**.

4.3 Caudales de diseño

Debido a que el objetivo principal de este proyecto es el de mejorar la eficiencia de la acequia Pumamaqui, sabiendo que esta obra ya funciona hace varios centenares de años, los caudales a analizarse para el diseño son aquellos caudales máximos que se han registrado en un tiempo determinado, sin embargo, hay que tener en cuenta que estos datos deben ser sometidos a un estudio hidrológico de distribución de probabilidad para variables continuas, de esta manera lograr obtener el valor más acertado para el diseño definitivo.

Para poder seleccionar los caudales de diseño adecuados es primordial tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Durante sus años en función la acequia Pumamaqui no ha presentado mayores problemas en cuanto a desbordamientos.
- En la acequia Pumamaqui no existe una obra de toma que cumpla con criterios técnicos, puesto que la forma de captar el caudal hacia la acequia es de manera artesanal, es decir construida por los usuarios del sistema y esto no permite una apropiada regulación del caudal de ingreso.
- La serie histórica de caudales registrados con la que se va a trabajar, se han obtenido a través del medidor de caudales ubicado al final del tramo de conducción, el mismo que está siendo administrado por la Universidad Politécnica Salesiana de Cayambe.
- La serie de datos fue tomada en un periodo de 434 días (14 meses y medio), diariamente cada 3 minutos aproximadamente.
- La consistencia de la información obtenida a través del medidor de caudales está sujeta a variaciones en los datos debido a la posibilidad de desbordamientos en el tramo de conducción o que las compuertas existentes en dicho tramo hayan estado abiertas, lo que en definitiva permitieran que el caudal regrese al cauce natural.

De acuerdo con lo descrito anteriormente, se realizará un análisis de distribuciones de probabilidad utilizando los datos del aforador, para este proceso se describe a continuación los distintos métodos de distribución:

- **Distribución Normal:** Esta distribución es simétrica y varia a lo largo de un rango continuo $[-\infty; \infty]$, para las variables hidrológicas como la precipitación anual, que

es la suma de un sin número de eventos independientes, tienden a seguir esta distribución. Aunque muchas veces no se ajusta a la información hidrológica ya que la mayoría de estos datos son positivos, y por otro lado esta información hidrológica tiende a ser asimétrica (Chow, Maidment, R, & Mays, 1994).

- **Distribución Log-Normal:** Es muy utilizada para determinar valores extremos de un conjunto de datos, siempre y cuando los valores sean independientes y bien repartidos. Esta distribución tiene mayor ventaja sobre la distribución normal ya que el logaritmo reduce la asimetría positiva, de esta forma se disminuye significativamente los datos mayores con relación a los menores y su condición principal es ($X > 0$) (Chow, Maidment, R, & Mays, 1994).

Como limitantes podemos mencionar que sus variables requieren que se encuentren alrededor de la media y sean simétricos, además que únicamente poseen dos parámetros.

- **Distribución de Valores Extremos o Gumbel:** Es ampliamente utilizada en hidrología para poder determinar valores máximos y mínimos de un conjunto de datos. Trabaja con la media, desviación estándar y asume un valor constante del coeficiente de asimetría (C_s) igual a 1.14, contradiciendo a los valores observados en la muestra por lo que en estos casos el resultado final está por el lado de la inseguridad (Gutiérrez, 2014).
- **Distribución Gamma de tres parámetros o Pearson tipo III:** Esta distribución es muy flexible y además introduce un tercer parámetro conocido como el coeficiente de asimetría (C_s), por esta razón ha sido muy utilizada en la hidrología

para describir la probabilidad de crecientes máximas anuales, caudales mínimos, volúmenes de lluvia, valores de grandes precipitaciones etc, (Gutiérrez, 2014).

- **Distribución Log-Pearson tipo III:** Partiendo de una distribución Pearson tipo III, se realiza un ajuste hacia una distribución Log Pearson tipo III desde una variable aleatoria X. Esta es una distribución estándar muy utilizada a nivel mundial ya que permite analizar la frecuencia de crecientes máximas arrojando excelentes resultados, esta distribución de igual forma trabaja con tres parámetros, pero con la media y desviación estándar de los logaritmos de la variable original X (Gutiérrez, 2014).

En el **ANEXO N°9** se puede evidenciar los cálculos realizados para cada uno de los métodos de distribución de probabilidades y también sus intervalos de confianza, estos intervalos son límites que permiten conocer el valor máximo y mínimo de caudal que se podría esperar para un mismo periodo de retorno (T). A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada método y sus respectivos intervalos de confianza.

Tabla 19

Caudales máximos de las distintas distribuciones de probabilidad

TIPO DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	CAUDALES MÁXIMOS (Q _{TR})	LÍMITES DE CONFIANZA	
		MINIMO	MAXIMO
	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
Normal	0,817	0,725	0,909
Log-Normal	0,843	0,837	0,850
Gumbel	0,857	0,714	1,000
Pearson III	0,834	0,739	0,928
Log-Pearson III	0,845	0,842	0,848

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

La selección del tipo de distribución de probabilidad depende bastante del criterio del diseñador. (Almeida Roman , 2010) sugiere considerar los siguientes criterios para poder elegir la mejor alternativa.

Tabla 20

Criterios para la elección del tipo de distribución de probabilidad para el cálculo de caudales máximos.

DISTRIBUCIÓN	CRITERIOS
Normal	<ul style="list-style-type: none"> El rango teórico de los valores de la distribución va de $-\infty$ a $+\infty$ (y las crecidas solo tienen valores positivos) Sería aceptable cuando la serie tenga un coeficiente de asimetría entre "0" y "0,5" También cumpliría con la distribución si con un conteo de los caudales máximos se determina que: <ul style="list-style-type: none"> 50% de los valores están entre los límites señalados por $(\bar{Q} - 2/3S)$ y $(\bar{Q} + 2/3S)$ 68% entre $(\bar{Q} - S)$ y $(\bar{Q} + S)$ 95% entre $(\bar{Q} - 2S)$ y $(\bar{Q} + 2S)$
Log Normal	<ul style="list-style-type: none"> El rango teórico de los valores de la distribución va de "0" a $+\infty$ Como los logaritmos atenúan el sesgo, sería preferible que el coeficiente de asimetría de la serie no difiera sensiblemente de "0" (positivo o negativo) También deberá cumplirse los porcentajes dados para 50%, 68% y 95%. Aplicable a series en donde $C_s \geq 3C_v + C_v^3$
Gumbel	<ul style="list-style-type: none"> El rango es positivo Sería aceptable cuando el coeficiente de asimetría no sea muy diferente de $C_s = 1,14$ Al respecto, cuando $C_s < 1,14$ se exageran los valores de baja probabilidad y con $C_s > 1,14$ se subestiman los mismos (lo contrario es cierto para valores de alta probabilidad de ocurrencia)
Log Gumbel	<ul style="list-style-type: none"> Los mismos criterios que para Gumbel siendo más restrictiva con el valor de $C_s = 1,14$
Gamma de tres parámetros	<ul style="list-style-type: none"> Rango positivo No hay restricciones en cuanto al valor de C_s
Log Pearson III	<ul style="list-style-type: none"> C_s debe ser mayor que $2C_v$ para que no haya valores negativos Se puede calcular para cualquier valor de C_s

Fuente: Almeida Roman , M. (2 de Octubre de 2010). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL*. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL*: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2527/1/CD-3221.pdf>

Después de realizar el respectivo análisis de la Tabla 20 y de evaluar las características de cada tipo de distribución se ha tomado la decisión de trabajar con el valor de caudal máximo obtenido con la distribución Gamma de tres parámetros o Pearson tipo III, por lo tanto, para determinar los caudales de diseño partimos desde el valor de $Q_T = 0,834 \text{ m}^3/\text{s}$.

El problema principal en la acequia Pumamaqui es que presenta zonas donde su eficiencia disminuye debido a infiltraciones a consecuencia de las condiciones del suelo, para trabajos de riego una eficiencia adecuada para el funcionamiento correcto es de al menos el 85% (U.S. Bureau of Reclamation Manual, 1970), por esta razón se tomará en cuenta los resultados de la Tabla 9 del subcapítulo 3.5, donde se tiene una deficiencia del 45.3%, para cumplir con el objetivo principal de mejorar la eficiencia actual de la acequia Pumamaqui es necesario que este porcentaje sea un aporte favorable para el caudal de diseño en el tramo de conducción. Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente se determina un caudal máximo de diseño en el tramo de conducción de $1.211 \text{ m}^3/\text{s}$.

Por otro lado, para determinar los caudales máximos de diseño en el tramo de distribución se debe añadir al caudal inicial de $1.211 \text{ m}^3/\text{s}$ los caudales de aportación de escorrentía, estos valores se pueden obtener de la Tabla 15 del subcapítulo 4.1.4.

Las condiciones del suelo y vegetación para este escenario son distintas, por este motivo se distribuyó en zonas críticas donde se debe mejorar la eficiencia, en base a este concepto y realizando un análisis para la situación en donde los usuarios no hacen uso del sistema en épocas de lluvia ya que no necesitan el agua designada para el riego, el caudal máximo de diseño transitará por toda la acequia. Basados en esta situación desfavorable se prevé una obra de control de caudal (vertedero lateral) con el fin de evacuar los caudales

provenientes de las crecidas en la cuenca en un sitio estratégico de descarga durante el recorrido en la acequia Pumamaqui, de esta manera se brinda seguridad a los usuarios y mayor vida útil al sistema. Finalmente, en la siguiente tabla se propone los caudales máximos de diseño para las respectivas zonas críticas en el tramo de distribución de la acequia.

Tabla 21
Caudales máximos de diseño en el tramo de distribución

ZONA DE AFOROS CRÍTICOS	CAUDALES DE APORTACIÓN	CAUDALES MÁXIMOS DE DISEÑO
	[m ³ /s]	[m ³ /s]
5 - 6	0,0488	1,260
11 - 12	0,0543	1,314
16 - 17	0,2277	1,542
20 - 21	0,0446	1,587
26 - 27	0,0695	1,656
34 - 35	0,0384	0,806

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

CAPÍTULO V

5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN

5.1 Obras reguladoras de caudal

En general las obras de derivación son de gran importancia ya que su función principal es la de regular el caudal, sin embargo, en el manejo y control de torrentes es de vital importancia, ya que en avenidas extremas el caudal alcanza tasas de gran magnitud, es por esta razón que las estructuras reguladoras de caudal son primordiales a la hora de brindar seguridad y mayor tiempo de vida útil a las obras de aprovechamiento de agua.

En este proyecto las obras para el control están enfocadas en evacuar los caudales provenientes de crecidas máximas las mismas que pueden ocasionar daños considerables en la estructura de la acequia Pumamaqui y dejar fuera de operación al sistema.

Por cuanto las condiciones topográficas y la disponibilidad de los materiales para las obras de control de caudal se establecen dos alternativas que se presentan a continuación:

5.1.1 Compuertas

Las compuertas son equipos mecánicos que generalmente son utilizados en obras hidráulicas tales como presas, canales, esclusas, obras de derivación cuya función es la de regular el curso del agua (Amaya, 2016).

La clasificación de las compuertas se basa en las condiciones físicas, hidráulicas, climáticas y de operación, que en definitiva teniendo los criterios adecuados basados en dichas circunstancias se eligen los diferentes tipo y tamaños adecuados (Marbello, 2005).

Debido a que las presiones, y las alturas de flujo que se presentan en los que se ubiquen las compuertas a lo largo de la acequia no tiene valores elevados, la alternativa óptima para este tipo de estructuras hidráulicas es la compuerta plana deslizante.

Figura 34

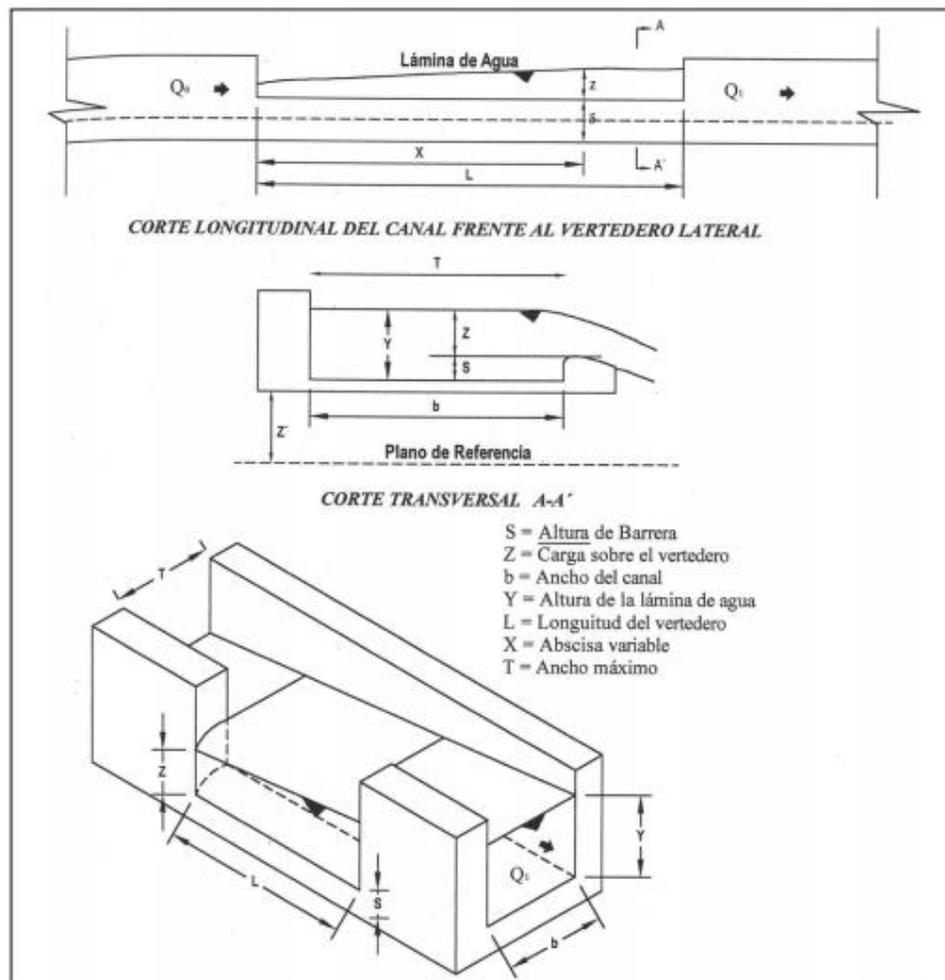
Tabla descriptiva de una compuerta plana deslizante

Parte	Descripción
1	Mecanismo de Izaje y Tornillo
2	Conjunto Tornillo externo, Tuerca Arandela acople Mecanismo de Izaje
3	Soporte Superior
4	Pantalla de Compuerta
5	Conjunto Tornillo Exterior Tuerca Arandela acople Sellos
6	Conjunto Tornillo Exterior Tuerca Arandela acople Tornillo - Pantalla
7	Guías
8	Tornillo

Fuente: Amaya, C. E. (2016). *Diseño y simulación de una compuerta plana deslizante para la empresa ARMETCO. Tesis de pregrado*. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Azuay, Ecuador.

con el fin de evacuar el exceso de agua o a su vez desviar el flujo hacia un sitio de descarga (González , Zamudio, & Corzo, 2013).

Figura 36
Cortes vista frontal y perspectiva de un vertedero lateral



Fuente: González , F., Zamudio, E., & Corzo, C. (Diciembre de 2013). VERTEDERO LATERAL, SOLUCIONES TEÓRICAS VERIFICADAS EXPERIMENTALMENTE Y VALIDADAS CON BASE EN EL ANÁLISIS DIMENSIONAL. 17, 122-132.

5.2 Secciones Transversales

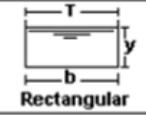
El termino sección se refiere a la sección transversal tomada de manera perpendicular a la dirección de flujo. En los canales naturales las secciones por lo general son bastante

irregulares y a menudo varían entre secciones aproximadamente parabólicas hasta trapezoidales. Los canales artificiales son diseñados en su mayoría para figuras geométricas regulares (Chow V. , 1994).

En canales naturales en tierra sin recubrimiento la forma más común es el trapecio ya que este permite brindar estabilidad a través de las pendientes necesarias. Por otro lado, la forma rectangular tiene dos lados verticales, por lo cual esta forma se utiliza en canales construidos con materiales estables como roca, madera, mampostería. La sección triangular solo se la utiliza en cunetas a lo largo de carreteras, cunetas de coronación, acequias pequeñas y trabajos de laboratorio. Finalmente, la sección circular es la más común en alcantarillas, obras de conducción y descargas (Chow V. , 1994).

Para este proyecto se presentan tres alternativas en cuanto a secciones transversales las cuales se muestran en la siguiente figura:

Figura 37
Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes

Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$

Fuente: Chow, V. (1994). *HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS*. (M. E. Suárez, Ed., & J. G. Saldarriaga, Trad.) Santafé de Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL.

5.3 Tipos de material de revestimiento

(Chiclote, 2017) refiere que el revestimiento en los canales se lo realiza con el fin de evitar pérdidas por filtración en la conducción y distribución, evitar la erosión en el cauce del canal debido a velocidades excesivas y para mejorar la estabilidad del canal, en el caso de los canales en ladera cuyas filtraciones pueden causar deslizamientos de la plataforma del canal.

Debido a las condiciones heterogéneas que presenta la acequia Pumamaqui en los diferentes tramos tanto en el de conducción como el de distribución se plantea las siguientes alternativas con el fin de subsanar los problemas que posee actualmente la acequia.

5.3.1 Mampostería de piedra

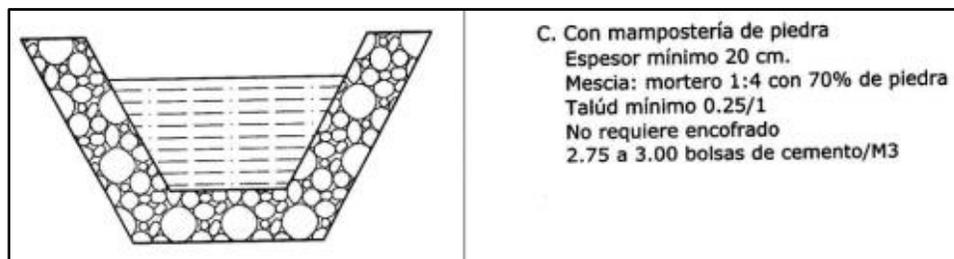
Los revestimientos con mampostería (piedra, ladrillo, bloques), generalmente representan un excelente revestimiento para los canales y es recomendable utilizarlo cuando los materiales abundan y la mano de obra es económica.

En este caso para la mampostería de piedra se utilizan piedras bien lavadas, que no contengan materia orgánica, las cuales pueden estar unidas con una mezcla de mortero de cemento 1:4. El espesor mínimo que se recomienda es de 20 cm (García Trisolini, 2009).

En la siguiente imagen se indica las características de construcción con este tipo de material.

Figura 38

Corte transversal de un canal revestido con mampostería de piedra



Fuente: García Trisolini, E. (2009). *MANUAL PRÁCTICO DE PEQUEÑAS IRRIGACIONES*. Lima, Perú

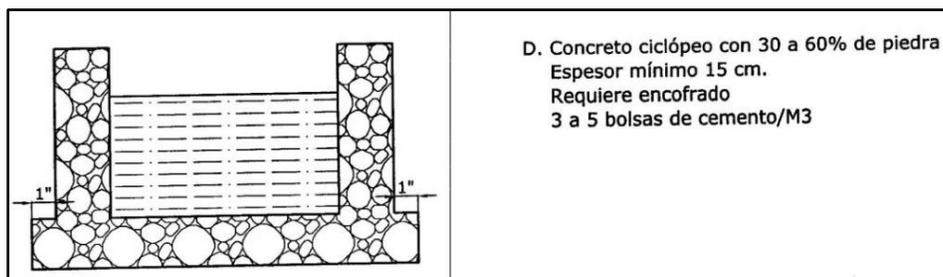
5.3.2 Revestimiento con hormigón ciclópeo de 30 a 60% de piedra

Para este método es esencial el encofrado y en primera instancia se vacía el piso y posterior a eso los lados del canal. Este método es recomendable en canales rectangulares y trapezoidales.

La mezcla de hormigón que se usa para este tipo de revestimiento es de 1:2:4 y generalmente se usan de 3 a 5 bolsas/m³ de cemento conforme a la cantidad de piedras que se introduzcan. En el caso de los canales rectangulares el espesor estará en función de la estabilidad del muro ya que este soportará el empuje lateral del suelo y la presión del agua en dentro del canal (García Trisolini, 2009).

Figura 39

Corte transversal de un canal revestido con hormigón ciclópeo



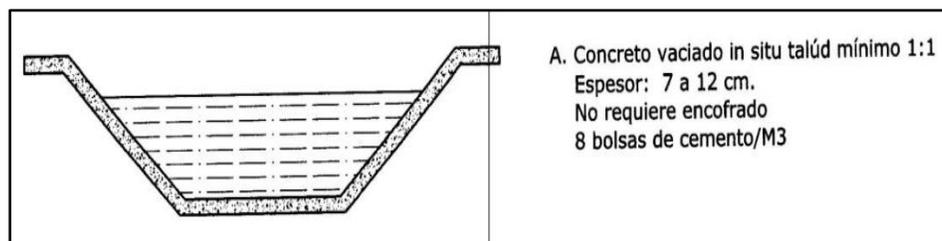
Fuente: García Trisolini, E. (2009). *MANUAL PRÁCTICO DE PEQUEÑAS IRRIGACIONES*. Lima, Perú

5.3.3 Revestimiento con hormigón vaciado (lanzado) in situ

Generalmente se usa este tipo de material cuando los taludes (H/V) son 1:1 o incluso más inclinados, el procedimiento parte con una mezcla un poco seca la cual se vacía primero sobre la base del canal y posteriormente sobre los taludes, es recomendable realizar un paleteado al final con el fin de uniformizar la superficie. Se manejan espesores entre 7 y 12 cm, esto en concordancia con los dimensionamientos del canal (García Trisolini, 2009).

Figura 40

Corte transversal de un canal revestido con hormigón vaciado (lanzado) in situ



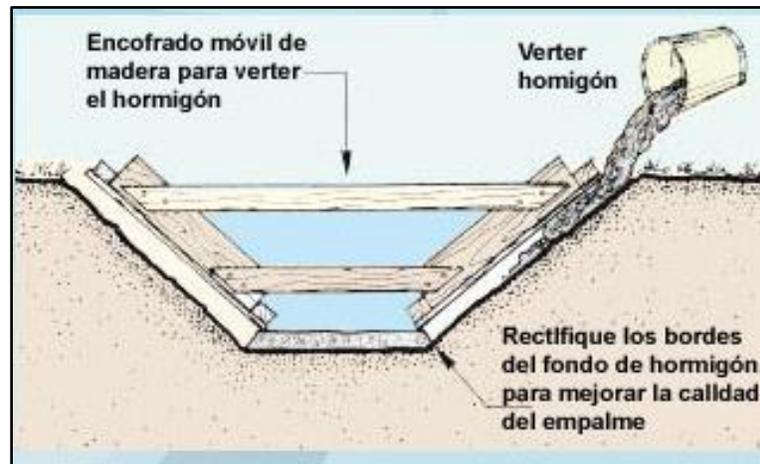
Fuente: García Trisolini, E. (2009). *MANUAL PRÁCTICO DE PEQUEÑAS IRRIGACIONES*. Lima, Perú

5.3.4 Revestimiento con hormigón estructural

Por lo común para este tipo de revestimiento los espesores oscilan entre los 10 a los 20 cm, y, debido a que el hormigón solo no es capaz de resistir tracciones es conveniente que su armado tenga una o dos mallas de acero. Debido a la retracción que presenta el hormigón es recomendable realizar juntas de dilatación con una distancia entre 5 y 15m dependiendo de las características de la obra, en este caso se sitúan vigas de madera las cuales se utilizaran como moldes y entre ellas se extenderá el hormigón (Blázquez Prieto, 2008).

Figura 41

Corte transversal de un canal revestido con hormigón estructural



Fuente: Anónimo. (10 de Junio de 2019). *FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS*. Obtenido de FAO: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708s/x6708s08.htm#top

5.3.5 Revestimiento con membranas

En este caso este revestimiento se compone de dos grupos de membranas las cuales son las asfálticas y las plásticas.

- **Asfáltica**

Actualmente son membranas consistentes en un tejido de fibras artificiales las cuales están empapadas en asfalto oxidado brindándole una mayor estabilidad frente a cambios bruscos de temperatura. Estas membranas se fabrican con longitudes de hasta 10 m y 1m de ancho, sus espesores varían entre los 5 y 7 mm y su mayor resistencia permite la instalación sin necesidad de tener una capa protectora (Blázquez Prieto, 2008).

- **Plásticas**

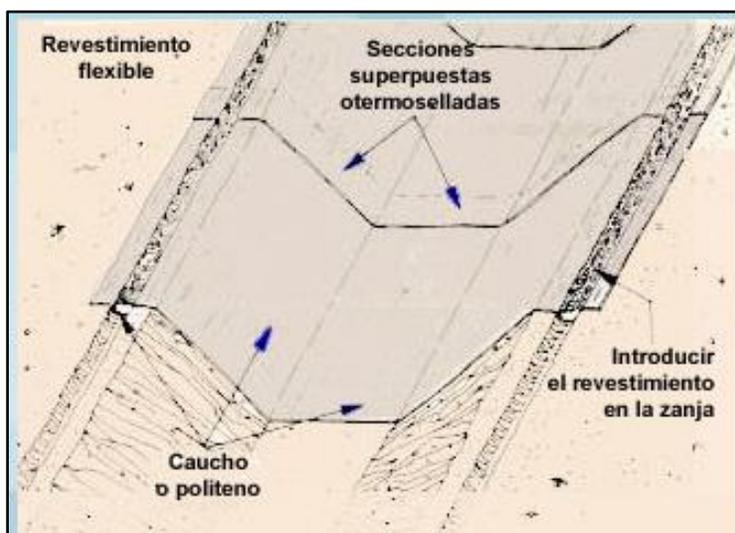
Este tipo de membranas son impermeables y poseen una elevada resistencia a la tracción. Su principal ventaja es que son resistentes a la erosión y al punzonamiento, pero son

proclives a daños ocasionados por el crecimiento de vegetación por lo que el suelo en el que se van a instalar debe ser tratado (Blázquez Prieto, 2008).

Generalmente estas membranas son aplicables en taludes bastante inclinados, y sus materiales más comunes son el policloruro de vinilo (PVC) o el polietileno de alta densidad (PEAD) y el butilo pudiendo alcanzar espesores de hasta 3mm. Por lo común vienen en rollos de 100 m y se instalan con revestimiento de gravilla de un 40 cm de espesor o sin protección en contacto directo con el agua, aunque en ese caso deben ser más resistentes (Blázquez Prieto, 2008).

Figura 42

Corte transversal de un canal revestido con membrana plástica



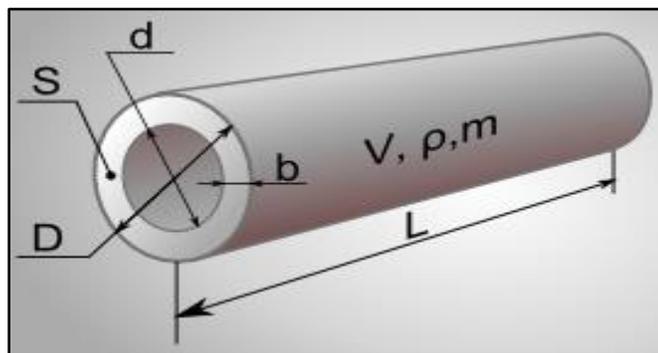
Fuente: Anónimo. (10 de Junio de 2019). *FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS*. Obtenido de FAO: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708s/x6708s08.htm#top

5.3.6 Entubamiento

En este caso se trata de encausar el caudal captado a través de tuberías las cuales serán de diferentes materiales dependiendo de su necesidad y pueden ser:

- Tuberías metálicas
- Tuberías de policloruro de vinilo (PVC)
- Tuberías de hormigón

Figura 43
Sección transversal de una tubería



Fuente: demarse. (10 de Junio de 2019). *DDEMARSE*, ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA PARED DEL TUBO. Obtenido de demarse: <https://demarse.ru/es/the-crosssectional-area-of-the-pipe-wall-methods-for-calculating-the-crosssectional-area-of-a-pipe.html>

5.3.7 Comparación de los tipos de material de revestimiento

Con el fin de tener una idea más clara de que material de revestimiento puede ser el más conveniente en este tipo de construcciones en la tabla 22 se propone un resumen de ventajas y desventajas de cada material descrito en los ítems anteriores.

Tabla 22
Ventajas y desventajas de los materiales de revestimiento

MATERIALES DE REVESTIMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Mampostería de piedra	<ul style="list-style-type: none"> • Material bastante abundante • Mano de obra no especializada • Su construcción es rápida y sencilla 	<ul style="list-style-type: none"> • Son materiales robustos, por lo que necesitan bastante espacio para su instalación • Sus materiales son más pesados
Hormigón ciclópeo con 30 o 60 % de piedra	<ul style="list-style-type: none"> • Puede utilizarse para canales rectangulares y trapezoidales • Material bastante abundante • Disminuye los volúmenes de cemento 	<ul style="list-style-type: none"> • No tienen gran soporte para esfuerzos de flexión • Proporcionan un peso considerable a la construcción
Hormigón vaciado (lanzado) in situ	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil manejabilidad para el operario • Ayuda a la estabilización de taludes • Alta resistencia temprana 	<ul style="list-style-type: none"> • En contacto con el agua, necesita mayor mantenimiento
Hormigón estructural	<ul style="list-style-type: none"> • Mejor resistencia a la tracción • Posee mayor resistencia y durabilidad • Sus materiales son de fácil acceso 	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesita de mano de obra con mayor experiencia para su construcción
Membrana	<ul style="list-style-type: none"> • Muy resistentes a la erosión y el punzonamiento • Brinda mayor estabilidad a cambios bruscos de temperatura • Elevada resistencia a la tracción 	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesita de personal con experiencia para su colocación • Proclives a daños por suelos con bastante vegetación, estos suelos necesitan ser tratados
Tubería metálica	<ul style="list-style-type: none"> • Bastante resistentes a la temperatura, presión y oxidación 	<ul style="list-style-type: none"> • Generalmente la longitud a la venta en el mercado es muy corta por lo que aumenta el número de uniones y a su vez el peligro de fugas
Tubería PVC	<ul style="list-style-type: none"> • Muy resistente a productos corrosivos • Su instalación es fácil y sencilla 	<ul style="list-style-type: none"> • Esta limitado su uso en muy altas y bajas temperaturas ya que puede sufrir alteraciones
Tubería de Hormigón	<ul style="list-style-type: none"> • Su instalación es relativamente sencilla • Se pueden fabricar in situ • Es bastante resistente a las solicitaciones que pueda ser sometida 	<ul style="list-style-type: none"> • Susceptibles a corrosiones • Necesita considerarse las juntas, por lo que puede ser propensa a filtraciones

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

5.4 Diseño de las alternativas propuestas

Los diseños que se proponen a continuación deben ser analizados para las distintas opciones de las secciones transversales y materiales, de acuerdo con la descripción hecha

en el subcapítulo anterior se ha tomado la decisión de realizar los diseños para las tres secciones transversales, descartando los materiales de membranas y de mampostería de piedra debido a sus características no muy favorables a la situación actual del proyecto, esto con el fin de llegar a un diseño adecuado para la solución de los problemas detectados en la acequia Pumamaqui.

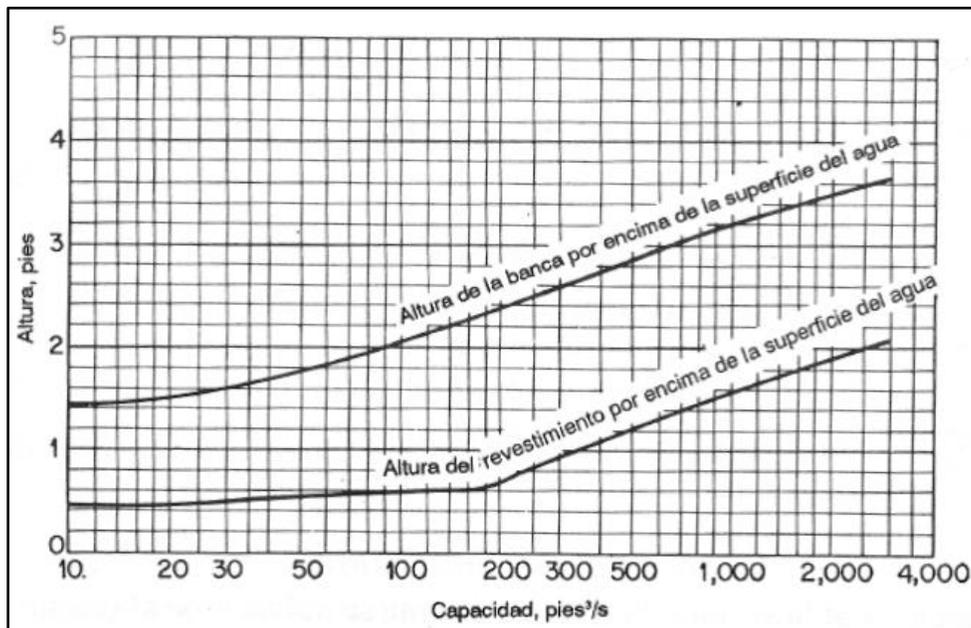
De forma general hay que tener en cuenta que para la propuesta de los diseños se debe tener presente los siguientes parámetros para el dimensionamiento.

- **Altura libre o Borde libre:** Es la distancia libre suficiente para que el flujo no desborde por los lados del canal, esta distancia es medida verticalmente entre la superficie libre de flujo y la parte superior del canal, comúnmente estos valores van desde el 15 - 30% de la profundidad de flujo (Chow V. , 1994).

No hay una regla general para el cálculo de esta variable debido a que depende del comportamiento del flujo en la sección del canal además de varios factores externos, aunque US Bureau of Reclamation propone un esquema de curvas para una estimación media del borde libre en canales revestidos relacionando al caudal de diseño (Chow V. , 1994), la siguiente figura muestra lo mencionado anteriormente.

Figura 44

Borde libre y altura de las banquetas recomendadas para canales revestidos (US Bureau of Reclamation)



Fuente: Chow, V. (1994). *HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS*. (M. E. Suárez, Ed., & J. G. Saldarriaga, Trad.) Santafé de Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL.

- Pendientes del Canal:** Deben brindar una estabilidad hidráulica al sistema y ayudar a la eficiencia en el funcionamiento del canal, para canales revestidos existe una propuesta por parte de US Bureau of Reclamation que considera una relación 1.5:1 (Chow V. , 1994). El perfil longitudinal de la acequia Pumamaqui ya está definido, por esta razón no es recomendable realizar grandes intervenciones en el fondo de la acequia para modificar radicalmente su pendiente sino más bien tratar de trabajar con las pendientes actuales en las zonas donde se va a intervenir para mejorar la eficiencia, en consecuencia se definieron las pendientes promedio de las zonas críticas tanto en tramo de conducción como en el de distribución, cabe recalcar que estas pendientes deben garantizar que las velocidades se encuentren en

los rangos permisibles y en el caso de existir un cambio de la pendiente actual, estas no deben afectar de manera considerable a la situación actual del proyecto. En las siguientes tablas se muestran las pendientes calculadas en las zonas críticas.

Tabla 23

Pendientes de las zonas críticas en el tramo de conducción

Zona	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud	Cota inicial	Cota final	Pendiente
			[m]	[msnm]	[msnm]	[%]
Sin intervención	194	305	111	3181,65	3180,87	0,70
Segundo túnel	396	405	9	3179,48	3179,45	0,33
Tercer túnel	418	476	58	3179,44	3179,02	0,72
Cuarto túnel	583	612	29	3177,99	3177,77	0,76
Quinto túnel	713	729	16	3176,93	3176,85	0,50

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Tabla 24

Pendientes de las zonas críticas en el tramo de distribución

Tramos Aforados	Abscisa Inicial	Abscisa Final	Longitud	Cota inicial	Cota final	Pendiente
			[m]	[msnm]	[msnm]	[%]
Tramo 5-6	3625	3791	166	3169,95	3169,72	0,14
Tramo 11-12	4770	4858	88	3167,66	3167,58	0,09
Tramo 16-17	6269	6416	147	3161,85	3161,12	0,50
Tramo 20-21	6986	7134	148	3158,42	3157,37	0,71
Tramo 26-27	9261	9544	283	3144,7	3142,7	0,71
Tramo 34-35	11617	11935	318	3131,59	3127,10	1,41

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Rugosidad:** Esta variable se cuantifica a través del coeficiente de rugosidad (n) que determina un grado de resistencia de cualquier material y esto influye en las pérdidas de energía en el agua. Este coeficiente ha sido estudiado en varios laboratorios por diversos investigadores y de acuerdo a (Franzini & Finnemore,

1999), se indica a continuación los valores de (n) para los materiales que vamos a analizar para los diseños.

Tabla 25
Valores de n para distintos materiales

Tipo de superficie	Coefficiente de rugosidad (n)
Hormigón ciclópeo	0,014
Hormigón lanzado	0,013
Hormigón con superficie lisa	0,012
Tubería metálica lisa	0,012
Tubería metálica corrugada	0,025
Tubería PVC	0,008

Fuente: Franzini, J. B., & Finnemore, J. E. (1999). *MECANICA DE FLUIDOS CON APLICACIONES EN INGENIERÍA* (Novena ed.). (C. F. Madrir, Ed., & B. Lambert, Trad.) Madrir, ESPAÑA: McGRAW-HILL.

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Velocidad en el Canal:** En este punto se debe analizar la velocidad mínima y máxima permisible considerando los diferentes materiales que se requieran utilizar para los diseños posteriores.

La velocidad mínima es aquella que no permite el inicio de sedimentación ni el crecimiento de vegetación en el fondo del canal, mientras que la velocidad máxima permisible es la que no causará erosión ni daño al material del canal que se encuentra en contacto con el agua (Chow V. , 1994). A continuación, se muestran los valores mínimos y máximos de velocidad para las distintas condiciones y materiales.

Tabla 26
Velocidades máximas y mínimas para distintos materiales

Tipo de superficie	Velocidad mínima (m/s)	Velocidad máxima (m/s)
Hormigón	0,3	3,5
PVC	0,3	5
Metal	0,3	5

Fuente: Montaña Herrera, P. A., & Prieto Castiblanco, E. A. (11 de Mayo de 2014). *RESEARCHGATE*. Obtenido de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/273257919_LABORATORY_OF_LEVEL_CONTROL_FLOW_AND_TEMPERATURE_APPLIED_TO_A_FLUIDS_BANK

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

5.4.1 Diseños en el tramo de conducción

Como se ha venido trabajando en el proyecto actual las alternativas de diseño estarán en función de las zonas críticas identificadas durante el desarrollo del proyecto, utilizando todos los parámetros explicados anteriormente y con ayuda del software FLOW MASTER se muestra los resultados de las propuestas de diseño en el ANEXO N°10. En las siguientes tablas se resume los resultados obtenidos para cada propuesta en su respectiva zona.

- **Zona sin intervención**

Tabla 27
Diseños de las propuestas en la zona sin intervención del tramo de conducción

SECCIÓN	MATERIAL	CAUDAL DE DISEÑO	PENDIENTE LONGITUDINAL	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	COEFICIENTE DE TALUD	BASE DEL CANAL (b)	CALADO NORMAL (y)	BORDE LIBRE (t)	ALTURA CONSTRUCTIVA (h)	VELOCIDAD (v)
		[m ³ /s]	[%]	[n]	[m/m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]
Rectangular	Hormigón ciclopeo	1,211	0,703	0,014	-	1,50	0,35	0,11	0,45	2,31
	Hormigón lanzado	1,211	0,703	0,013	-	1,50	0,33	0,08	0,40	2,43
	Hormigón estructural	1,211	0,703	0,012	-	1,50	0,32	0,08	0,40	2,56
Trapezoidal	Hormigón ciclopeo	1,211	0,703	0,014	0,5	1,50	0,32	0,08	0,40	2,30
	Hormigón lanzado	1,211	0,703	0,013	0,5	1,50	0,30	0,08	0,40	2,42
	Hormigón estructural	1,211	0,703	0,012	0,5	1,50	0,29	0,07	0,35	2,55

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Zona de túneles**

Tabla 28

Diseños de las propuestas en la zona de túneles del tramo de conducción, sección rectangular y trapezoidal

ESCENARIOS	SECCIÓN	MATERIAL	CAUDAL DE DISEÑO	PENDIENTE LONGITUDINAL	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	COEFICIENTE DE TALUD	BASE DEL CANAL (b)	CALADO NORMAL (y)	BORDE LIBRE (t)	ALTURA CONSTRUCTIVA (h)	VELOCIDAD (v)
			[m ³ /s]	[%]	[n]	[m/m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Túnel 2	Rectangular	Hormigón ciclopeo	1,211	0,33	0,014	-	0,80	0,87	0,26	1,15	1,73
		Hormigón lanzado	1,211	0,33	0,013	-	0,80	0,82	0,21	1,05	1,84
		Hormigón estructural	1,211	0,33	0,012	-	0,80	0,77	0,19	0,95	1,97
	Trapezoidal	Hormigón ciclopeo	1,211	0,33	0,014	0,5	0,70	0,64	0,16	0,80	1,86
		Hormigón lanzado	1,211	0,33	0,013	0,5	0,70	0,61	0,15	0,75	1,97
		Hormigón estructural	1,211	0,33	0,012	0,5	0,70	0,58	0,15	0,75	2,09
Túnel 3	Rectangular	Hormigón ciclopeo	1,211	0,72	0,014	-	0,60	0,90	0,27	1,20	2,25
		Hormigón lanzado	1,211	0,72	0,013	-	0,60	0,84	0,21	1,05	2,39
		Hormigón estructural	1,211	0,72	0,012	-	0,60	0,79	0,20	1,00	2,56
	Trapezoidal	Hormigón ciclopeo	1,211	0,72	0,014	0,5	0,50	0,61	0,15	0,75	2,49
		Hormigón lanzado	1,211	0,72	0,013	0,5	0,50	0,58	0,15	0,75	2,63
		Hormigón estructural	1,211	0,72	0,012	0,5	0,50	0,56	0,14	0,70	2,80
Túnel 4	Rectangular	Hormigón ciclopeo	1,211	0,760	0,014	-	0,60	0,88	0,26	1,15	2,29
		Hormigón lanzado	1,211	0,760	0,013	-	0,60	0,83	0,21	1,05	2,44
		Hormigón estructural	1,211	0,760	0,012	-	0,60	0,77	0,19	0,95	2,61
	Trapezoidal	Hormigón ciclopeo	1,211	0,760	0,014	0,5	0,50	0,6	0,15	0,75	2,54
		Hormigón lanzado	1,211	0,760	0,013	0,5	0,50	0,57	0,14	0,70	2,68
		Hormigón estructural	1,211	0,760	0,012	0,5	0,50	0,55	0,14	0,70	2,85
Túnel 5	Rectangular	Hormigón ciclopeo	1,211	0,500	0,014	-	0,60	1,05	0,26	1,30	1,92
		Hormigón lanzado	1,211	0,500	0,013	-	0,60	0,99	0,25	1,25	2,04
		Hormigón estructural	1,211	0,500	0,012	-	0,60	0,92	0,23	1,15	2,19
	Trapezoidal	Hormigón ciclopeo	1,211	0,500	0,014	0,5	0,40	0,74	0,19	0,95	2,14
		Hormigón lanzado	1,211	0,500	0,013	0,5	0,40	0,71	0,18	0,90	2,27
		Hormigón estructural	1,211	0,500	0,012	0,5	0,40	0,68	0,17	0,85	2,41

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Tabla 29

Diseños de las propuestas en la zona de túneles del tramo de conducción, sección circular

ESCENARIOS	MATERIAL	CAUDAL DE DISEÑO	PENDIENTE LONGITUDINAL	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	DIAMETRO	CALADO NORMAL (y)	CAPACIDAD	VELOCIDAD (v)
		[m ³ /s]	[%]	[n]	[m]	[m]	[%]	[m/s]
Túnel 2	Metálica lisa	1,211	0,33	0,012	1,10	0,63	57,27	2,14
	Metálica corrugada	1,211	0,33	0,025	1,40	0,85	60,71	1,23
	PVC	1,211	0,33	0,008	0,90	0,56	62,22	2,89
Túnel 3	Metálica lisa	1,211	0,72	0,012	0,90	0,57	63,33	2,86
	Metálica corrugada	1,211	0,72	0,025	1,10	0,80	72,73	1,63
	PVC	1,211	0,72	0,008	0,75	0,50	66,67	3,86
Túnel 4	Metálica lisa	1,211	0,76	0,012	0,90	0,56	62,22	2,91
	Metálica corrugada	1,211	0,76	0,025	1,10	0,79	71,82	1,66
	PVC	1,211	0,76	0,008	0,75	0,49	65,33	3,93
Túnel 5	Metálica lisa	1,211	0,50	0,012	0,90	0,65	72,22	2,46
	Metálica corrugada	1,211	0,50	0,025	1,40	0,75	53,57	1,44
	PVC	1,211	0,50	0,008	0,75	0,58	77,33	3,29

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

5.4.2 Diseños en el tramo de distribución

Los diseños en el tramo de distribución están separados para cada zona crítica (zona agrícola con suelo permeable y zona de la quebrada), donde se ha podido determinar bastantes pérdidas por infiltraciones, contemplando también los caudales de aportación por escorrentía.

Específicamente se debe aclarar que para la zona de la quebrada el caudal excedente será evacuado a través de un vertedero lateral ubicado en la abscisa 9+358 m, las condiciones locales tienen gran influencia para poder tomar la mejor decisión en la propuesta de los diseños del aliviadero lateral, adicionalmente se propone diseñar un acueducto para transportar el flujo proveniente de las crecidas de la microcuenca 1, con el fin de evitar que tanto el caudal de la acequia como el de la quebrada confluyan causando problemas a las condiciones del terreno y a la funcionalidad del transporte de caudal en la acequia Pumamaqui. En las siguientes tablas se muestran las propuestas de diseño planteadas para

cada zona a intervenirse y en el **ANEXO N°11** se explica el procedimiento de cálculo para cada alternativa.

- **Zona agrícola con suelo permeable**

Tabla 30

Diseños de las propuestas en la zona agrícola con suelo permeable del tramo de distribución

TRAMOS AFORADOS	SECCIÓN	MATERIAL	CAUDAL DE DISEÑO	PENDIENTE LONGITUDINAL	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	COEFICIENTE DE TALUD	BASE DEL CANAL (b)	CALADO NORMAL (y)	BORDE LIBRE (t)	ALTURA CONSTRUCTIVA (h)	VELOCIDAD (v)
			[m ³ /s]	[%]	[n]	[m/m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
Tramo 5 - 6	Rectangular	Hormigon ciclopeo	1,260	0,14	0,014	-	1,70	0,57	0,17	0,75	1,30
		Hormigon lanzado	1,260	0,14	0,013	-	1,70	0,54	0,14	0,70	1,37
		Hormigon estructural	1,260	0,14	0,012	-	1,70	0,51	0,13	0,65	1,45
	Trapezoidal	Hormigon ciclopeo	1,260	0,14	0,014	0,5	1,50	0,54	0,14	0,70	1,33
		Hormigon lanzado	1,260	0,14	0,013	0,5	1,50	0,51	0,13	0,65	1,40
		Hormigon estructural	1,260	0,14	0,012	0,5	1,50	0,49	0,12	0,60	1,48
Tramo 11 - 12	Rectangular	Hormigon ciclopeo	1,314	0,09	0,014	-	1,50	0,77	0,19	0,95	1,13
		Hormigon lanzado	1,314	0,09	0,013	-	1,50	0,73	0,18	0,90	1,20
		Hormigon estructural	1,314	0,09	0,012	-	1,50	0,69	0,17	0,85	1,27
	Trapezoidal	Hormigon ciclopeo	1,314	0,09	0,014	0,5	1,30	0,69	0,17	0,85	1,17
		Hormigon lanzado	1,314	0,09	0,013	0,5	1,30	0,66	0,17	0,85	1,23
		Hormigon estructural	1,314	0,09	0,012	0,5	1,30	0,62	0,16	0,80	1,30
Tramo 16 - 17	Rectangular	Hormigon ciclopeo	1,542	0,50	0,014	-	2,00	0,37	0,09	0,45	2,10
		Hormigon lanzado	1,542	0,50	0,013	-	2,00	0,35	0,09	0,45	2,21
		Hormigon estructural	1,542	0,50	0,012	-	2,00	0,33	0,08	0,40	2,33
	Trapezoidal	Hormigon ciclopeo	1,542	0,50	0,014	0,5	1,40	0,43	0,11	0,55	2,23
		Hormigon lanzado	1,542	0,50	0,013	0,5	1,40	0,41	0,10	0,50	2,35
		Hormigon estructural	1,542	0,50	0,012	0,5	1,40	0,39	0,10	0,50	2,48
Tramo 20 - 21	Rectangular	Hormigon ciclopeo	1,587	0,71	0,014	-	1,00	0,62	0,16	0,80	2,56
		Hormigon lanzado	1,587	0,71	0,013	-	1,00	0,59	0,15	0,75	2,71
		Hormigon estructural	1,587	0,71	0,012	-	1,00	0,55	0,14	0,70	2,88
	Trapezoidal	Hormigon ciclopeo	1,587	0,71	0,014	0,5	0,60	0,65	0,16	0,80	2,65
		Hormigon lanzado	1,587	0,71	0,013	0,5	0,60	0,62	0,16	0,80	2,80
		Hormigon estructural	1,587	0,71	0,012	0,5	0,60	0,59	0,15	0,75	2,98
Tramo 26 - 27	Rectangular	Hormigon ciclopeo	1,656	0,71	0,014	-	1,00	0,64	0,16	0,80	2,58
		Hormigon lanzado	1,656	0,71	0,013	-	1,00	0,61	0,15	0,75	2,73
		Hormigon estructural	1,656	0,71	0,012	-	1,00	0,57	0,14	0,70	2,91
	Trapezoidal	Hormigon ciclopeo	1,656	0,71	0,014	0,5	0,70	0,61	0,15	0,75	2,68
		Hormigon lanzado	1,656	0,71	0,013	0,5	0,70	0,59	0,15	0,75	2,84
		Hormigon estructural	1,656	0,71	0,012	0,5	0,70	0,56	0,14	0,70	3,01
Tramo 34 - 35	Rectangular	Hormigon ciclopeo	0,806	1,41	0,014	-	0,70	0,41	0,10	0,50	2,80
		Hormigon lanzado	0,806	1,41	0,013	-	0,70	0,39	0,10	0,50	2,96
		Hormigon estructural	0,806	1,41	0,012	-	0,70	0,37	0,09	0,45	3,14
	Trapezoidal	Hormigon ciclopeo	0,806	1,41	0,014	0,5	0,50	0,40	0,10	0,50	2,90
		Hormigon lanzado	0,806	1,41	0,013	0,5	0,50	0,38	0,10	0,50	3,07
		Hormigon estructural	0,806	1,41	0,012	0,5	0,50	0,36	0,09	0,45	3,26

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Zona de la Quebrada (vertedero lateral)**

Tabla 31

Diseños para el vertedero lateral en la zona de la quebrada abscisa 9+358 m del tramo de distribución

SECCIÓN	MATERIAL	CAUDAL DE ENTRADA	CAUDAL DE SALIDA	CAUDAL DE DISEÑO	CALADO DE ENTRADA (y1)	CALADO DE SALIDA (y2)	CARGA DEL VERTEDERO (H)	COEFICIENTE DE DESCARGA	VELOCIDAD (v)	LONGITUD CRESTA VERTEDERO
		[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m]	[m]	[m]		[m/s]	[m]
	Hormigón ciclópeo	1,657	0,806	0,851	0,64	0,37	0,27	0,40	2,31	1,01
Rectangular	Hormigón lanzado	1,657	0,806	0,851	0,61	0,35	0,26	0,40	2,43	0,96
	Hormigón estructural	1,657	0,806	0,851	0,57	0,33	0,24	0,40	2,56	0,88
	Hormigón ciclópeo	1,657	0,806	0,851	0,61	0,40	0,21	0,40	2,30	1,09
Trapezoidal	Hormigón lanzado	1,657	0,806	0,851	0,59	0,38	0,21	0,40	2,42	1,00
	Hormigón estructural	1,657	0,806	0,851	0,56	0,37	0,19	0,40	2,55	0,90

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Zona de la Quebrada (acueducto)**

Tabla 32

Datos de diseño para el acueducto en la zona de la quebrada del tramo de distribución

DATOS DISEÑO ACUEDUCTO:		
Q EVACUACIÓN	0.657	m ³ /s
COTA ENTRADA	3144.23	msnm
COTA SALIDA	3143.28	msnm
LONGITUD	16.206	m
PENDIENTE	5.86	%
RUGOSIDAD	0.030	
BASE	1.30	m
ÁREA	0.28	m ²
PERÍMETRO MOJADO	1.73	m
RADIO HIDRÁULICO	0.16	m
VELOCIDAD	2.38	m/s
CAUDAL COMPROBACIÓN	0.658	m ³ /s
CALADO	0.21	m
BORDE LIBRE	0.064	m
H CONSTRUCTIVA	0.30	m

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

CAPÍTULO VI

6. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN

6.1 Obras reguladoras de máxima eficiencia

Para el tramo de conducción se ha decidido tomar la mejor alternativa conforme al funcionamiento actual de la acequia Pumamaqui, por esta razón la mejor solución es el utilizar el mismo mecanismo que se encuentra actualmente en la acequia, el cual consiste en el uso de compuertas que permiten evacuar el caudal excedente proveniente de crecidas debido al aumento de nivel de agua en épocas de lluvia, este caudal es captado desde el río la Chimba y las compuertas ayudan a que los excedentes regresen al cauce natural. Las compuertas están ubicadas en las abscisas 0+040, 0+753 y sus medidas son estandarizadas, por lo que actualmente se están trabajando con compuertas de 700 x 700 (mm).

Figura 45

*Compuerta ubicada en el tramo de conducción abscisa
0+040*

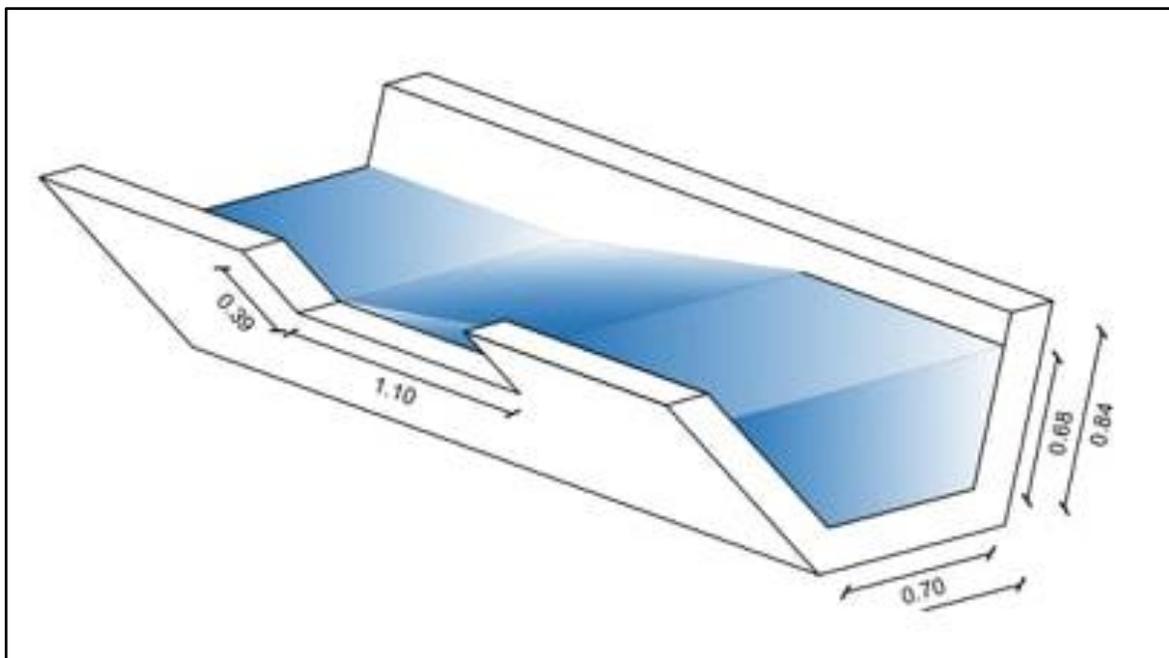


Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

En el tramo de distribución la alternativa más adecuada para la evacuación del caudal excedente de escorrentía proveniente de la microcuenca correspondiente a la zona de influencia de la acequia Pumamaqui es la construcción del vertedero lateral en un punto estratégico de descarga, este punto está ubicado en la zona de la quebrada en la abscisa 9+358, cuyo diseño se encuentra detallado en el **ANEXO N°12** y su dimensionamiento final se muestra más adelante en el subcapítulo 6.2.2. A continuación se muestra una perspectiva general del diseño final del vertedero lateral.

Figura 46

Perspectiva del vertedero lateral



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

6.2 Sección hidráulica de máxima eficiencia

La sección transversal óptima debe cumplir con aspectos constructivos adecuados, tratando de excavar la menor cantidad posible y de acuerdo con la situación actual del terreno, sin que existan grandes cambios en las zonas donde se va a considerar una intervención para el mejoramiento de la eficiencia hidráulica de la acequia Pumamaqui.

Continuando con la subdivisión que se ha manejado hasta el momento (tramo de conducción y distribución), se eligen las secciones transversales óptimas para sus respectivas zonas de intervención. Los detalles constructivos y dimensionamientos de todas las secciones realizadas se pueden ver en el **ANEXO N°13**.

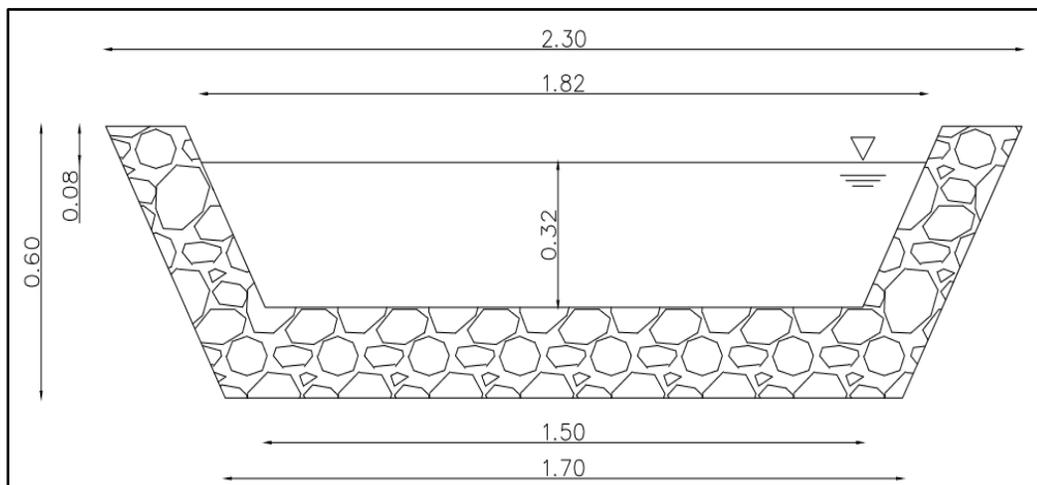
6.2.1 Geometría del canal en el tramo de conducción

- **Zona sin intervención**

De acuerdo con las propuestas presentadas en la tabla 27, y en base a lo evidenciado en el terreno la sección transversal más conveniente para esta zona sería la trapezoidal, para mejorar la eficiencia de la acequia se propone ubicar esta sección óptima desde la abscisa 0+200 hasta 0+300 m. A continuación, se esquematiza la sección propuesta.

Figura 47

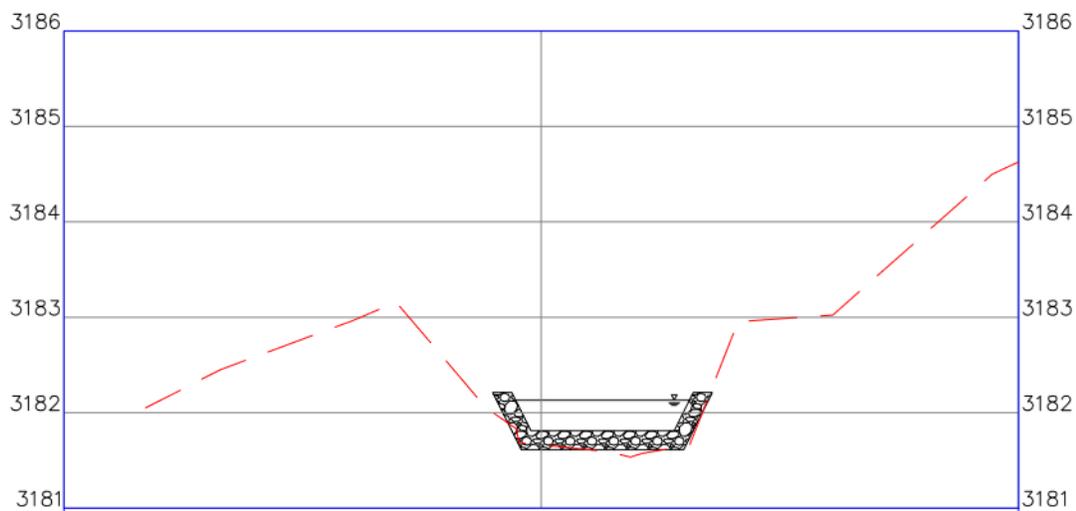
Sección transversal óptima para la zona sin intervención, tramo de conducción



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 48

Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 0+202 m



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Zona de Túneles**

Es importante mencionar que no se tiene mucho conocimiento de la situación interna de los túneles, y en base a la información obtenida a través de los aforos realizados a la entrada y salida de cada túnel se ha tratado de escoger la solución más adecuada de acuerdo con la situación actual del proyecto. Cada túnel presenta sus propias características, por lo que las secciones están sujetas a sus condiciones, razón por la cual se toma la decisión de utilizar la sección rectangular para los 4 túneles, además conjuntamente en el **ANEXO N°13** se muestra un ejemplo de cálculo del acero de refuerzo correspondiente a una sección tipo, justificando así el uso de la malla electrosoldada para estos diseños, adicionalmente se debe mencionar que este material facilita el trabajo en zonas de difícil acceso como son los túneles.

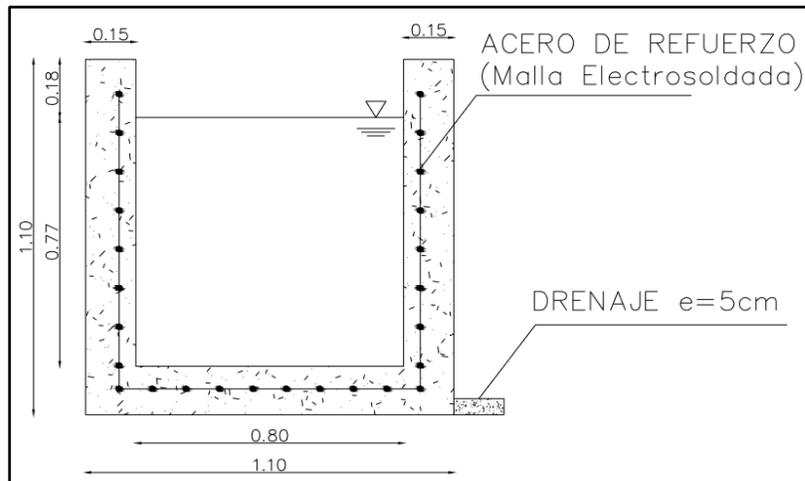
La sección rectangular permite evitar las infiltraciones y también ayuda a captar un posible caudal de aportación proveniente de las grietas en el interior de los túneles tanto de la parte superior como de sus paredes, adicional a este diseño se considera un drenaje que dirija dicho caudal extra hacia la conducción general de la acequia Pumamaqui uniéndose al final de cada túnel con el canal, formando nuevamente una sola sección.

- **Túnel 2**

La sección rectangular va desde la abscisa 0+396 hasta la 0+405 m, donde se pierde un 29,09 % de caudal, posiblemente por infiltración dentro del túnel.

Figura 49

Sección transversal óptima para túnel 2, tramo de conducción



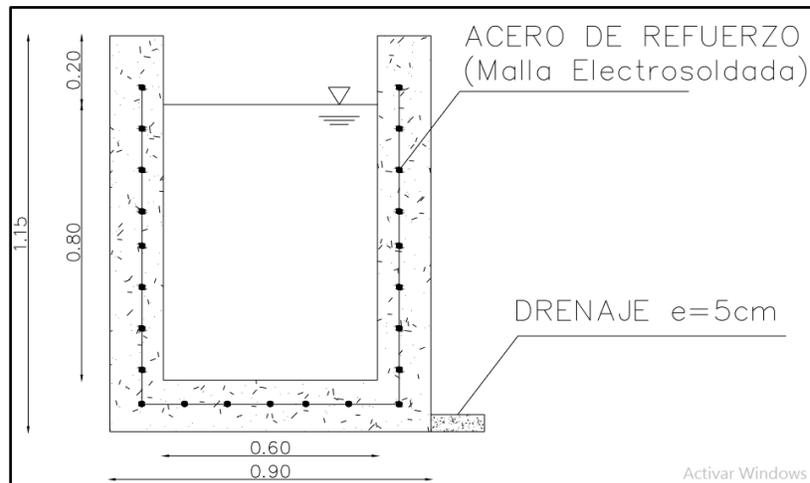
Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Túnel 3**

La sección rectangular va desde la abscisa 0+418 hasta la 0+478 m, en este túnel se registró un aporte de caudal en un 28,14 %.

Figura 50

Sección transversal óptima para túnel 3, tramo de conducción



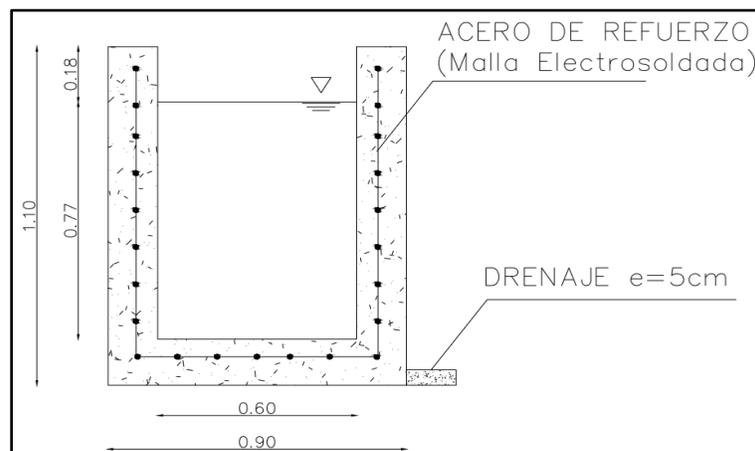
Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Túnel 4**

La sección rectangular va desde la abscisa 0+583 hasta la 0+611 m, en este túnel se registra una pérdida de caudal en un 2,23 %.

Figura 51

Sección transversal óptima para túnel 4, tramo de conducción



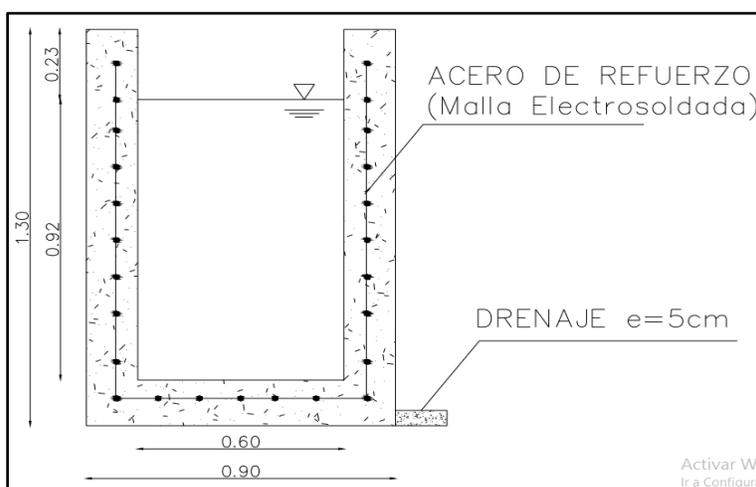
Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Túnel 5**

La sección rectangular va desde la abscisa 0+713 hasta la 0+730 m, en este túnel se registra una pérdida de 24,47 % de caudal, muy posiblemente por infiltraciones dentro del túnel.

Figura 52

Sección transversal óptima para túnel 5, tramo de conducción



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

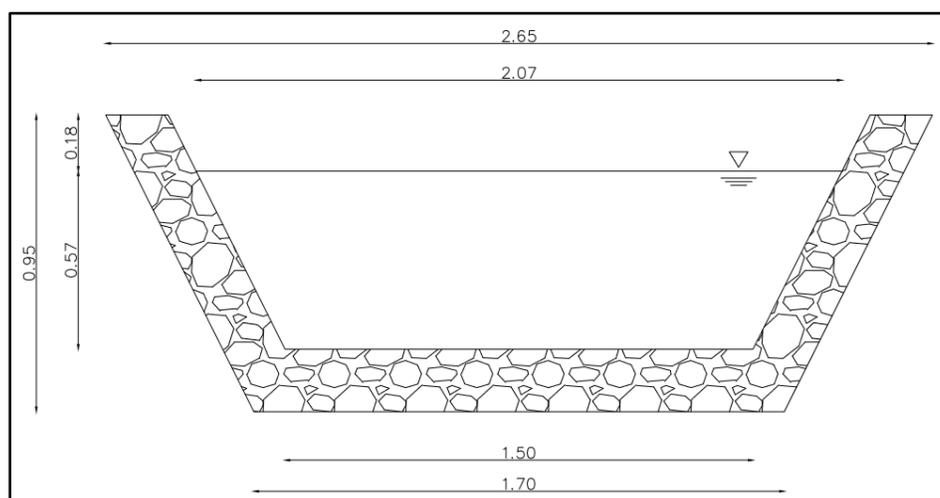
6.2.2 Geometría del canal en el tramo de distribución

En base a las propuestas planteadas en la tabla 30, y teniendo en cuenta el análisis de los caudales de escorrentía mencionados anteriormente, la sección transversal más conveniente para esta zona es la trapezoidal. Para mejorar la eficiencia de la acequia Pumamaqui se propone ubicar esta sección óptima en todas las zonas determinadas como críticas y en donde se ha podido evidenciar pérdidas de caudal a causa de las infiltraciones en el suelo. En los siguientes ítems se esquematiza la sección propuesta para cada zona de intervención.

- **Zona agrícola con suelo permeable (Aforo 5 – 6)**

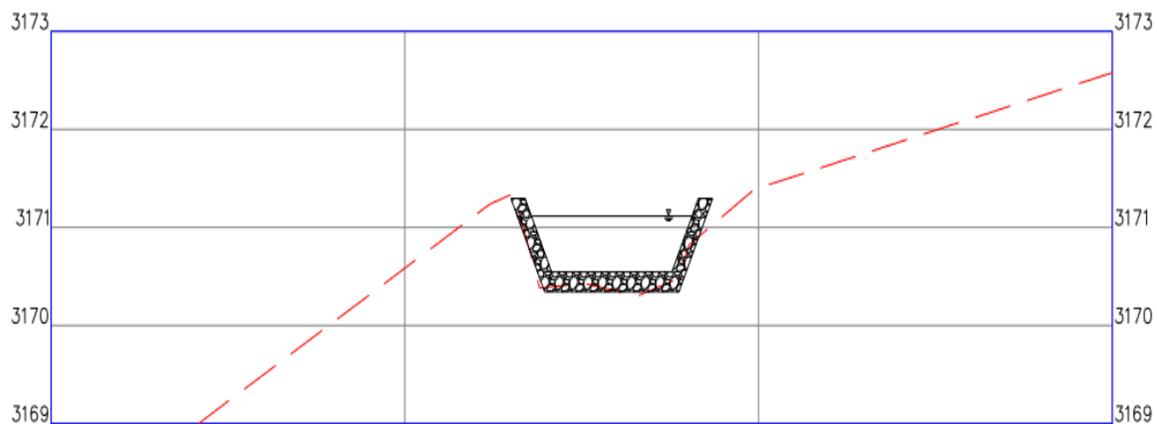
La sección trapezoidal propuesta va desde la abscisa 3+314 hasta la 4+075 m, para un caudal de diseño de $1,260 \text{ m}^3/\text{s}$ y en esta zona se registra una pérdida de caudal del 30,89 %.

Figura 53
Sección transversal óptima para el aforo 5-6, tramo de distribución



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 54
Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 3+320 m

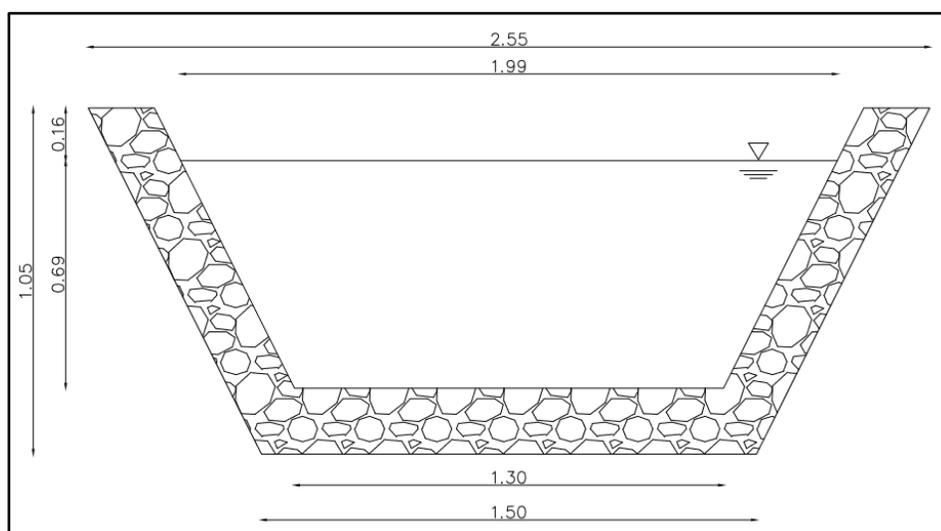


Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Zona agrícola con suelo permeable (Aforo 11 – 12)**

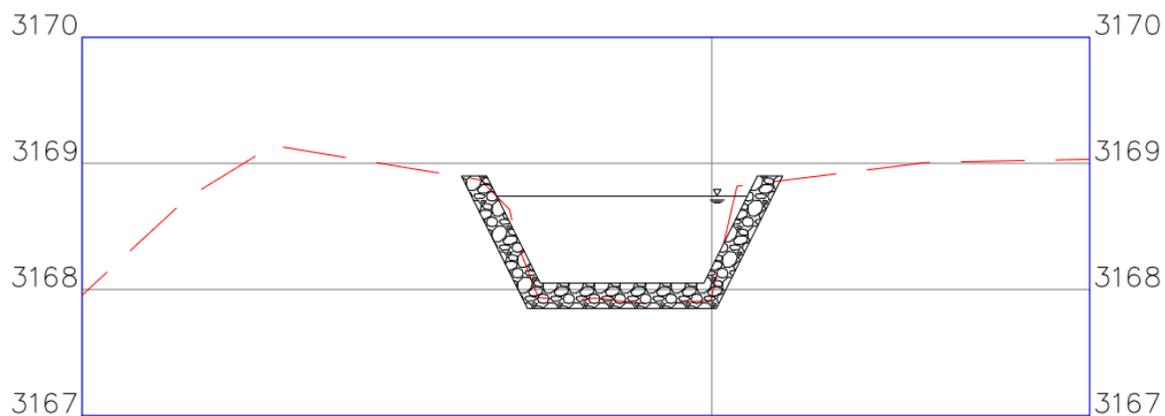
La sección trapezoidal propuesta va desde la abscisa 4+507 hasta la 4+858 m, para un caudal de diseño de $1,314 \text{ m}^3/\text{s}$ y en esta zona se registra una pérdida de caudal del 11,48 %.

Figura 55
Sección transversal óptima para el aforo 11-12, tramo de distribución



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 56
Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 4+512 m

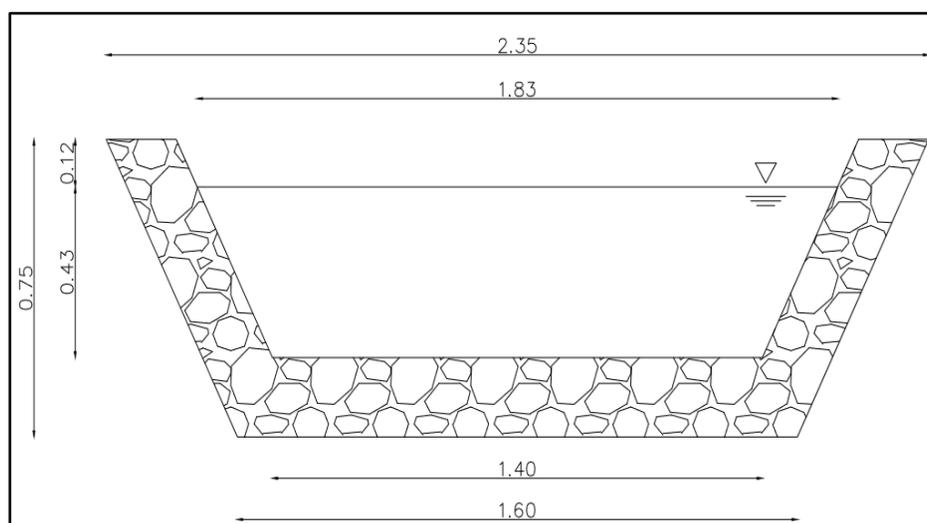


Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Zona agrícola con suelo permeable (Aforo 16 – 17)**

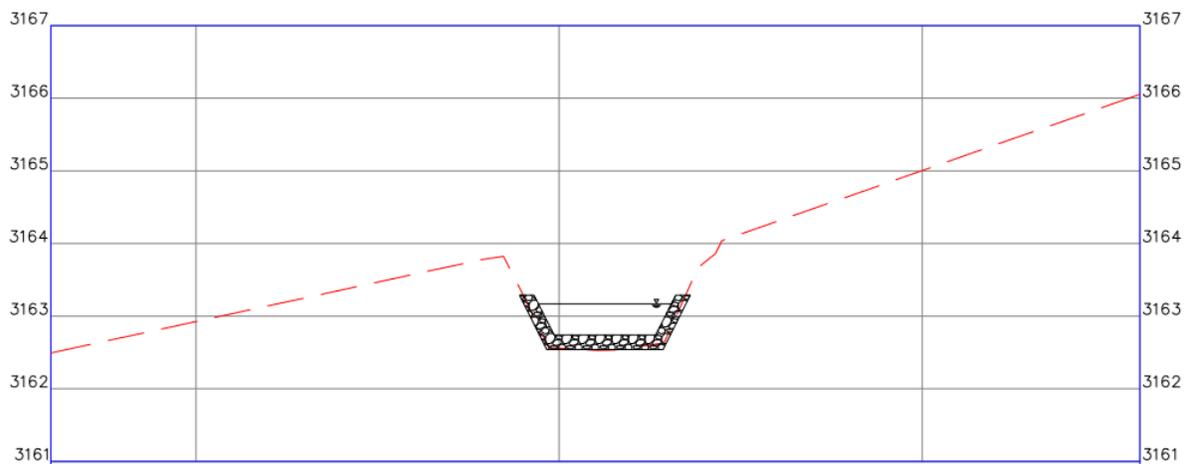
La sección trapezoidal propuesta va desde la abscisa 6+040 hasta la 6+809 m, para un caudal de diseño de $1,542 \text{ m}^3/\text{s}$ y en esta zona se registra una pérdida de caudal del 26,08 %.

Figura 57
Sección transversal óptima para el aforo 16-17, tramo de distribución



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 58
Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 6+044 m

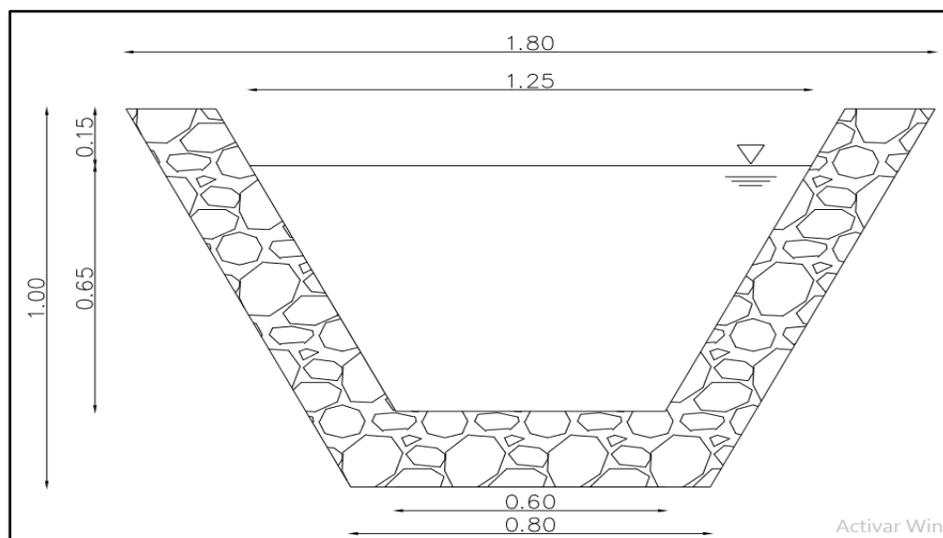


Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Zona agrícola con suelo permeable (Aforo 20 – 21)**

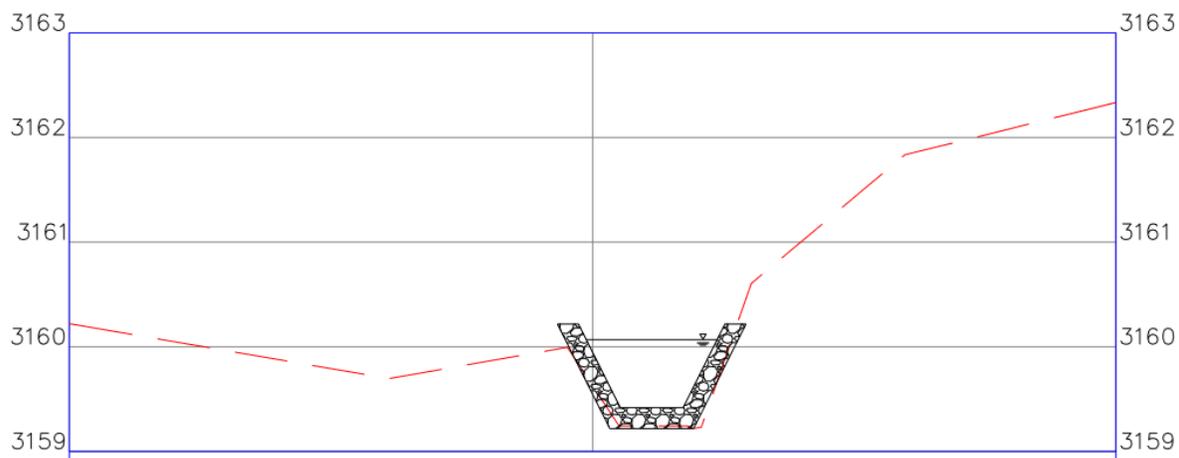
La sección trapezoidal propuesta va desde la abscisa 6+831 hasta la 7+554 m, para un caudal de diseño de $1,587 \text{ m}^3/\text{s}$ y en esta zona se registra una pérdida de caudal del 23,85 %.

Figura 59
Sección transversal óptima para el aforo 20-21, tramo de distribución



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 60
Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 6+845 m

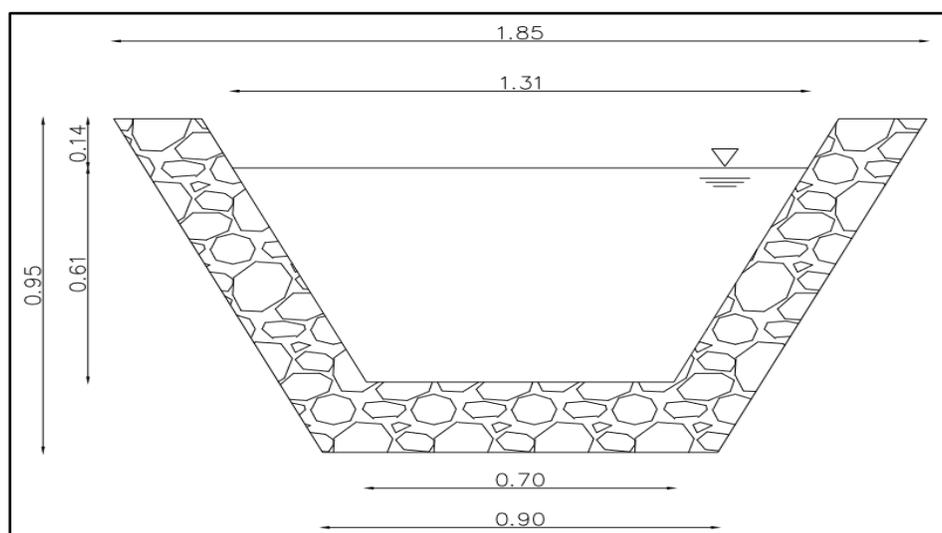


Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Zona agrícola con suelo permeable antes del vertedero lateral (Aforo 26 – 27)**

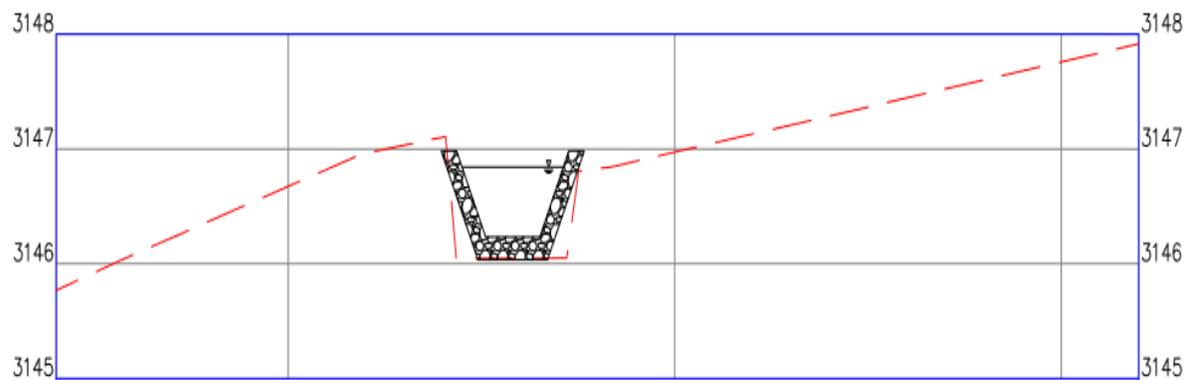
La sección trapezoidal propuesta va desde la abscisa 8+963 hasta la 9+358 m, para un caudal de diseño de $1,656 \text{ m}^3/\text{s}$ y en esta zona se registra una pérdida de caudal del 19,03 %.

Figura 61
Sección transversal óptima para el aforo 26-27, tramo de distribución



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 62
Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 8+967 m



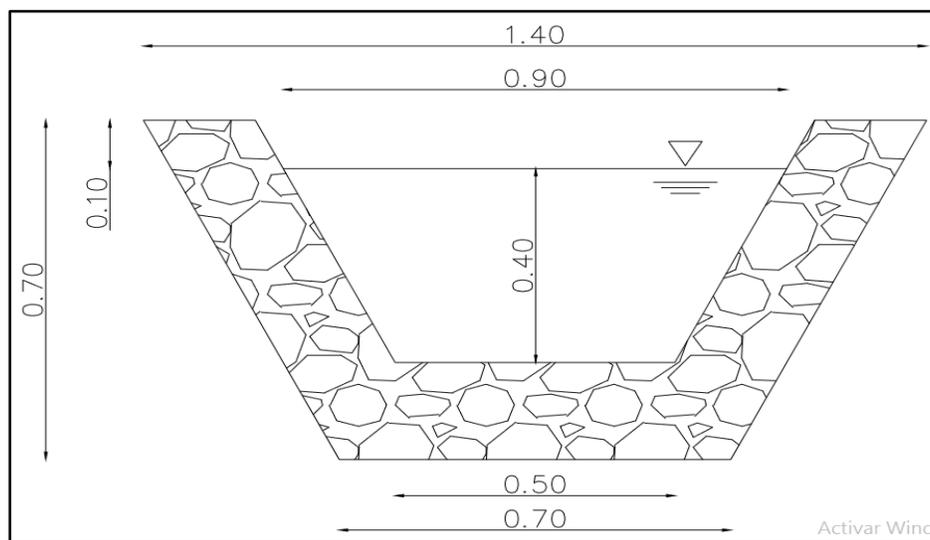
Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Zona agrícola con suelo permeable (Aforo 34 – 35)**

La sección trapezoidal propuesta va desde la abscisa 11+610 hasta la 11+945 m, para un caudal de diseño de $0,806 \text{ m}^3/\text{s}$ y en esta zona se registra una pérdida de caudal del 38,50 %.

Figura 63

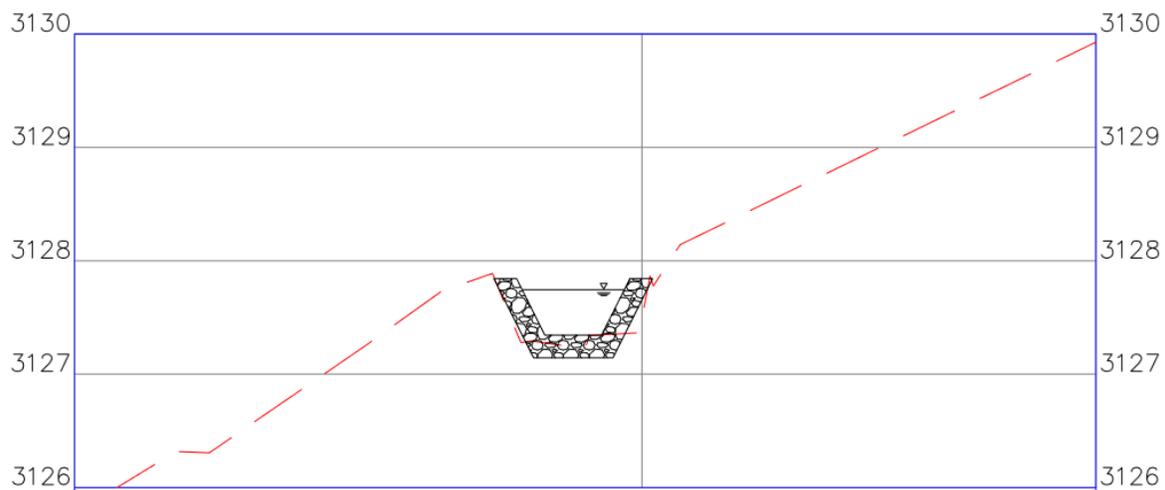
Sección transversal óptima para el aforo 34-35, tramo de distribución



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 64

Implantación de la sección transversal en el perfil del terreno, abscisa 11+850 m



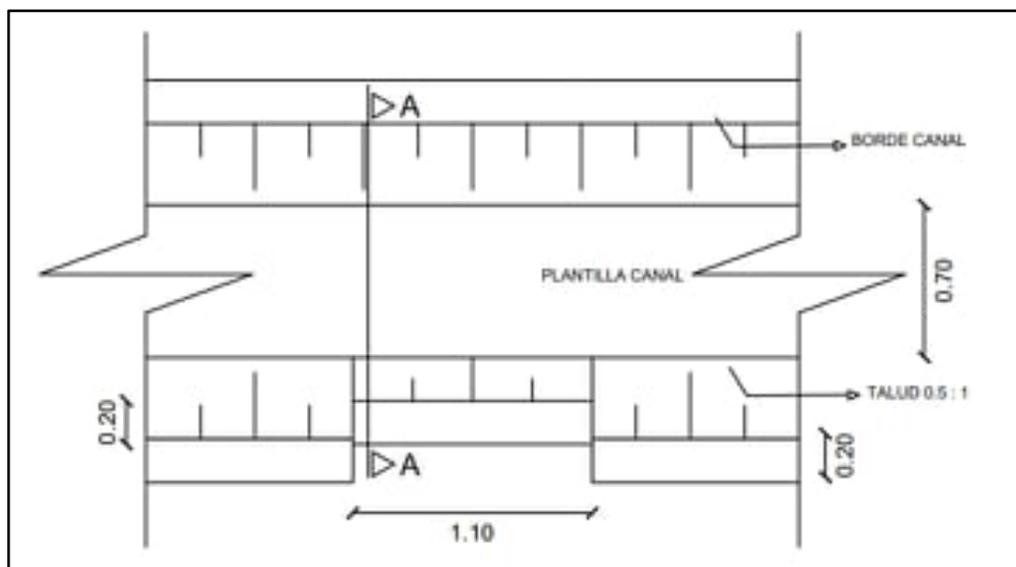
Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

- **Zona de la Quebrada (vertedero lateral)**

El aliviadero lateral inicia en la abscisa 9+358 m y está diseñado para evacuar un caudal excedente de $0,851 \text{ m}^3/\text{s}$, las dimensiones de la sección seleccionada se muestran a continuación, tanto en planta como en corte. Adicionalmente se diseña y se presenta el dimensionamiento del sistema de evacuación del caudal excedente, el cual se unirá posteriormente con el cauce natural aguas abajo, es decir el flujo de la quebrada correspondiente a la microcuenca 1.

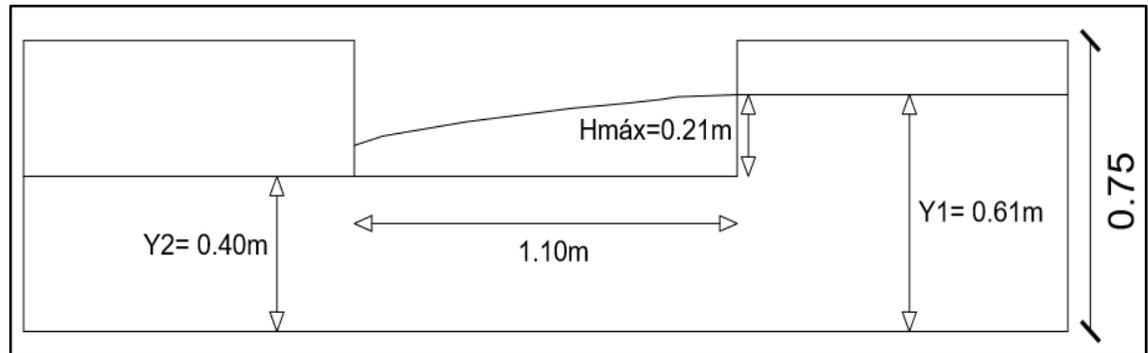
Figura 65

Vista en planta del vertedero lateral



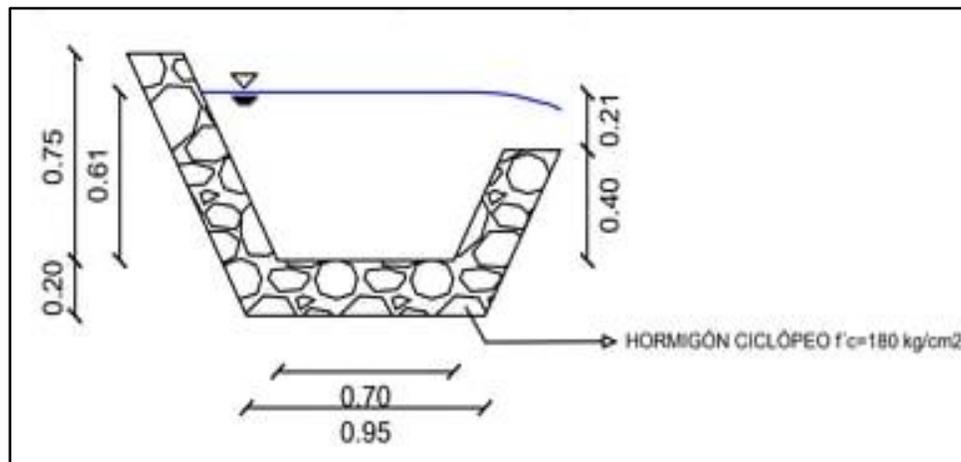
Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 66
 Vista frontal del vertedero lateral



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

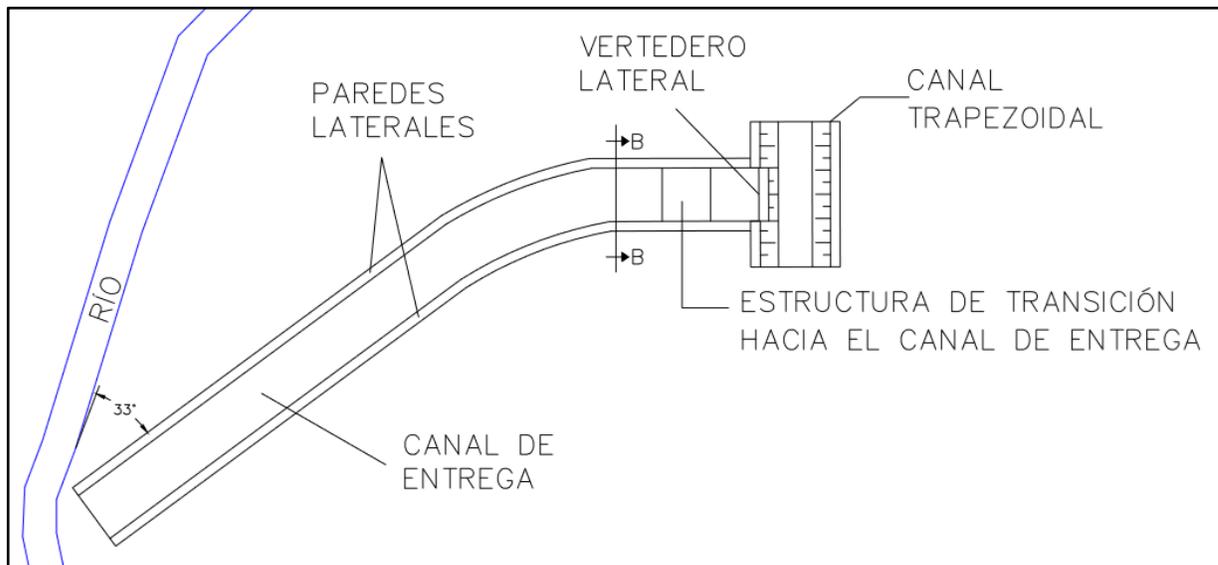
Figura 67
 Vista del corte transversal A-A en el vertedero



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 68

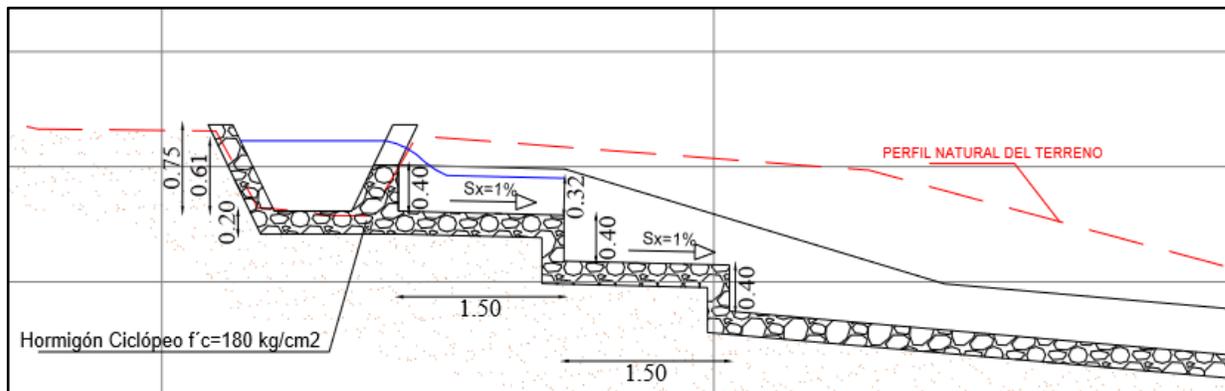
Vista en planta del sistema de evacuación del caudal excedente en el vertedero hacia aguas abajo en la unión con el cauce natural de la quebrada



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 69

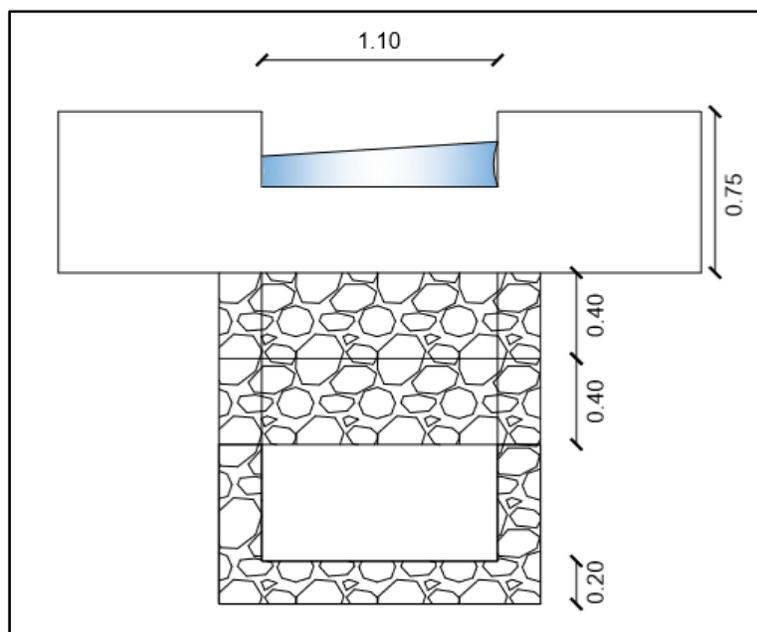
Vista lateral del sistema de evacuación del caudal excedente desde el vertedero hacia aguas abajo



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 70

Vista del corte transversal B-B en el sistema de evacuación del caudal excedente



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

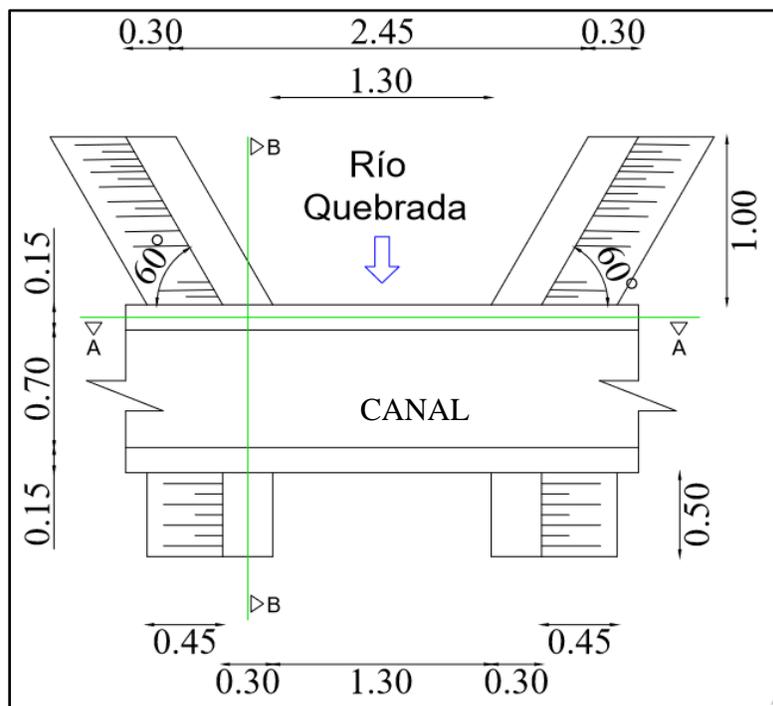
- **Zona de la Quebrada (acueducto)**

El diseño del acueducto se realizó pensando en solucionar el problema actual que presenta la acequia Pumamaqui en la zona crítica descrita en este proyecto como la quebrada, debido a que es un problema puntual que presenta la acequia, se ha propuesto realizar el siguiente diseño para poder mejorar el funcionamiento de la misma.

El objetivo principal del acueducto es transportar el caudal proveniente de la microcuenca 1, para lo cual se realizó un estudio de crecida máxima utilizando el método racional CIA, donde se determinó un caudal máximo de $0,657 \text{ m}^3/\text{s}$. Dicho caudal cruzará por un ducto de $1.30 \times 0.55 \text{ m}$, sin que intervenga con la sección del canal que transporta el agua correspondiente a los usuarios del sistema de riego, teniendo en cuenta la situación morfológica del terreno se propone que la estructura se ubique en la abscisa $9+366 \text{ m}$ y que se realice un análisis mecánico básico de suelos en el sitio de implantación del acueducto.

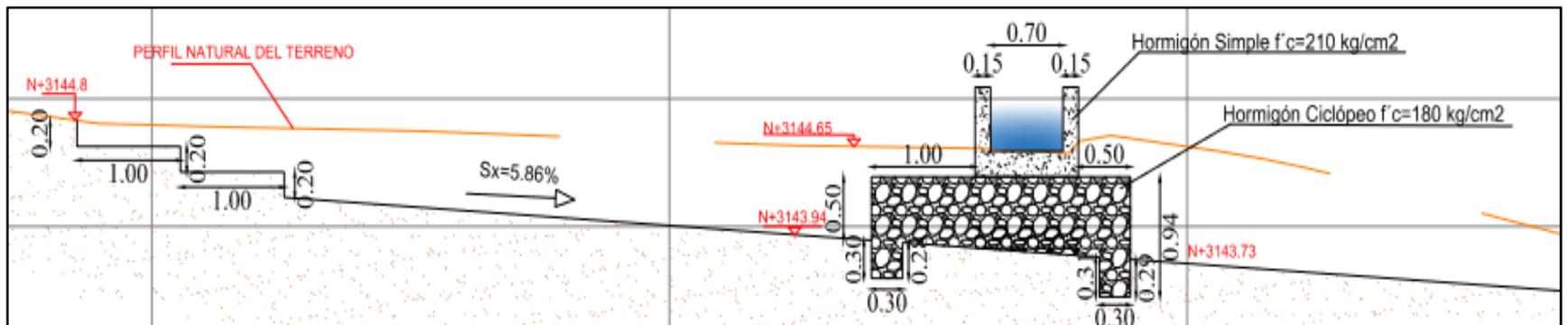
Todo el procedimiento de cálculo para la obtención de los parámetros de diseños del acueducto, el caudal máximo de diseño y el canal correspondiente a la acequia, se puede evidenciar en el **ANEXO N° 12** a continuación, se muestran los diseños finales en la zona de la quebrada del tramo de distribución en la acequia Pumamaqui.

Figura 71
Vista en planta del acueducto



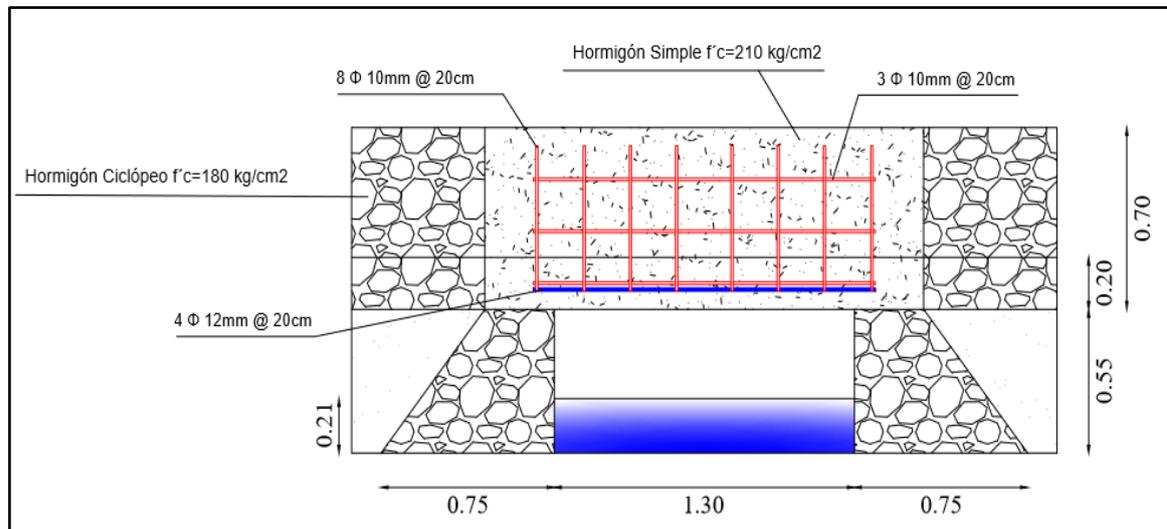
Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 72
 Vista lateral de la implantación del acueducto en el terreno



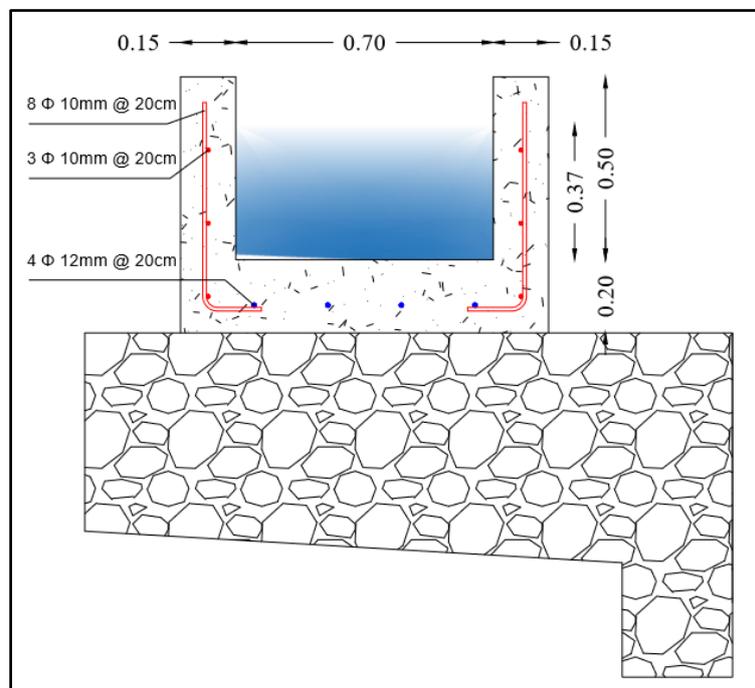
Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 73
Vista del corte transversal A-A en el acueducto



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

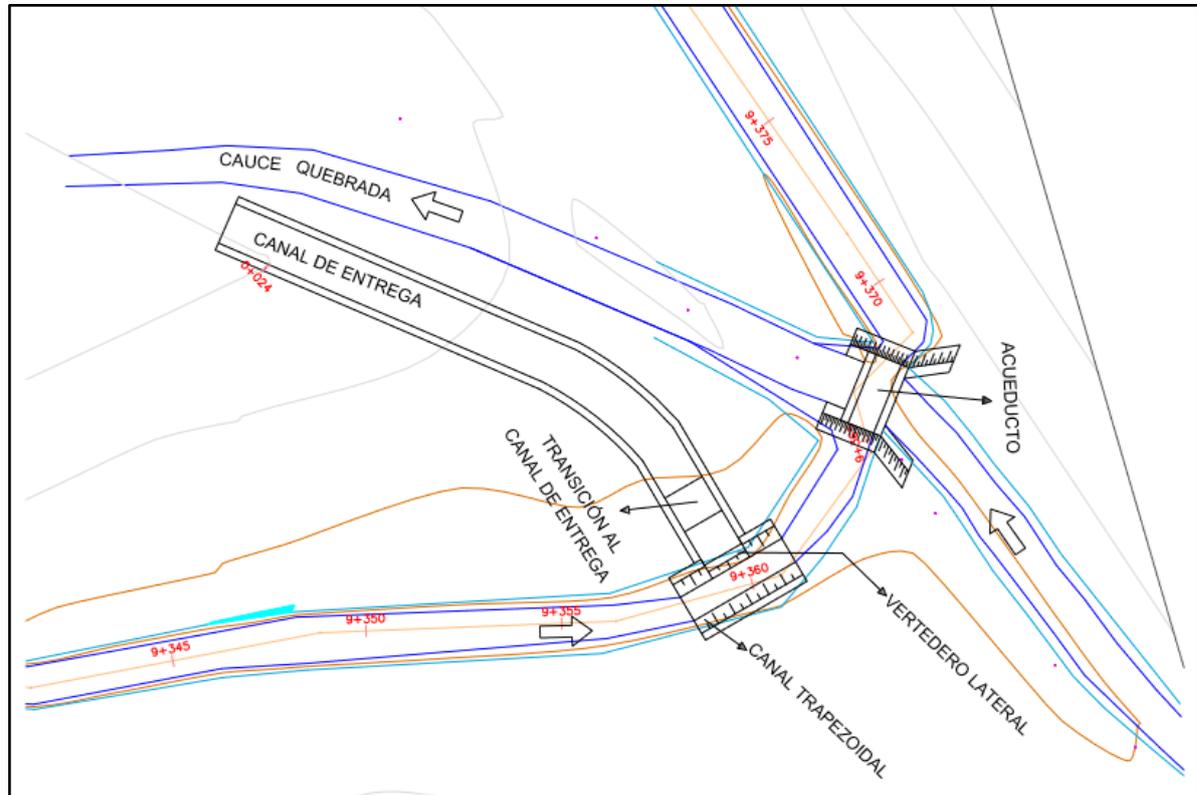
Figura 74
Vista del corte transversal B-B en el acueducto



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Figura 75

Implantación del vertedero lateral en la abscisa 9+358m y del acueducto en la abscisa 9+366m



Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

6.3 Material de revestimiento

Tomando en cuenta las consideraciones mostradas en la tabla 22, la descripción realizada en el subcapítulo 5.3 y en función a las condiciones naturales de la acequia Pumamaqui se ha tomado la decisión de utilizar como material predominante el hormigón debido a que es el material más adecuado para el revestimiento por ser económico y duradero.

- **Hormigón ciclópeo**

Este material será utilizado en la zona sin intervención del tramo de conducción desde la abscisa 0+200 hasta 0+300 m.

También se propone el uso del hormigón ciclópeo para todas las zonas agrícolas con suelo permeable en el tramo de distribución, la aplicación de este material se distribuye en función de la esquematización propuesta en la selección de la geometría del canal tratado en el subcapítulo anterior.

- **Hormigón estructural**

El hormigón estructural se implantará en todas las secciones rectangulares propuestas para los túneles en el tramo de conducción de la acequia Pumamaqui. Para el tramo de distribución se propone construir la parte del canal trapezoidal en la zona de la quebrada después de la ubicación del vertedero lateral hasta después del cruce con el acueducto es decir desde la abscisa 9+364 hasta 9+368 m.

CAPÍTULO VII

7. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

7.1 Situación Actual

En la comunidad de Pesillo perteneciente a la Parroquia de Olmedo del cantón Cayambe funciona actualmente la acequia Pumamaqui que tiene una extensión de 11.954 km, la cual ha sido construida artesanalmente por los usuarios del sistema hace varios centenares de años. En la actualidad el 97.5% de la acequia se encuentra a flor de tierra por lo que el desgaste de esta se ha venido profundizando en los últimos años generándose problemas de infiltraciones debido a las condiciones del suelo en varios sectores, razón por la cual los beneficiarios del sistema necesitan una intervención técnica que les ayude a mejorar significativamente la eficiencia actual de la acequia Pumamaqui.

La acequia Pumamaqui es la columna vertebral de todo el sistema de riego en el sector de Pesillo, actualmente los usuarios hacen uso del recurso agua proporcionado por la acequia para sus distintas necesidades y labores diarias, tales como el riego de flores, agricultura familiar, agricultura diversificada y pasto para la ganadería y producción pecuaria. El ambiente natural donde se desarrolla el proyecto es en la sierra, que se caracteriza por tener un clima frío.

La ubicación geográfica, área de influencia e información poblacional de la acequia Pumamaqui han sido abordados en el primer capítulo del proyecto actual, esta información es muy importante para representar el problema a tratarse. Es importante mencionar también que esta investigación ayuda a la comunidad de Pesillo y a toda la zona de influencia directa de la acequia Pumamaqui, permitiendo mejorar el desarrollo sustentable y la calidad de vida.

7.2 Caracterización Ambiental

Este proceso permite anticipar los efectos negativos y positivos generados durante todas las etapas del proyecto y los resultados me ayudan a priorizar los impactos con el fin de planificar las medidas de mitigación.

Los criterios particulares que evalúan cada componente se refieren a los ecosistemas bióticos, abióticos y antrópicos, todos estos, estudiándose en función de las áreas de influencia directa o indirecta para su correspondiente homogenización.

7.2.1 Caracterización del medio biótico

- **Paisaje**

La gran distancia de la acequia Pumamaqui permite apreciar grandes extensiones de terreno a lo largo de su recorrido, en donde se puede evidenciar bastante flora y fauna. La naturaleza del lugar está rodeada de bellos y hermosos parajes y se pueden encontrar sitios llamativos tales como: bosques, ríos, cascadas, etc.

Ventajosamente el asentamiento poblacional se encuentra en una zona donde no afecta la vista paisajística natural del sitio, pero según el ritmo del crecimiento poblacional el paisaje urbano ira ganando poco a poco más espacio.

- **Flora**

Pesillo es una comunidad que se encuentra rodeada de paramo Andino, al estar ubicada en las faldas del nevado Cayambe se encuentra dentro de una zona de accidentes montañosos, lo que da lugar a la creación de un sin número de quebradas, ríos y suelos irregulares.

Su constitución vegetal es propia de la zona andina, se puede destacar principalmente que cuenta con presencia abundante de pajonales, bosques

primarios, bosques forestales con especies introducidas como el pino y eucalipto, árboles nativos, musgos, arbustos, plantas frutales, plantas medicinales (Echeverría , Manosalvas, & Túquerres, 2016). Siendo estas especies de flora las más representativas en todo sector de la acequia Pumamaqui.

- **Fauna**

La diversidad faunística del sector de Pesillo y sus alrededores es bastante amplia debido a que está influenciada por la reserva ecológica Cayambe-Coca, por su gran variedad de especies animales resulta bastante complicado poder cuantificar exactamente la cantidad total de fauna. Pero de manera general se han podido identificar la presencia de 200 especies de mamíferos, 140 especies de reptiles, 110 especies de anfibios y más de 900 especie de aves, sin olvidar que en épocas de lluvia la presencia de insectos aumenta en todo el sector, especialmente en los pastizales (Escobar Tobar & Flores Guamán, 2018).

7.2.2 Caracterización del medio abiótico

- **Temperatura**

Pesillo posee una temperatura promedio anual de 11.69 °C, con pequeñas oscilaciones mensuales no mayores a 3°C. Debido a que la comunidad de Pesillo está ubicada en la Sierra Ecuatoriana, cuenta con un clima mesotérmico húmedo (IUS; Equipo UPS, 2018).

- **Precipitación**

Tomando en cuenta la información de los registros mensuales proporcionados por la estación OLMEDO-PICHICHA (M0023) del INAMHI y la estación de la Universidad Politécnica Salesiana, ubicada en la acequia Pumamaqui (fin del

tramo de conducción), se registra una pluviosidad anual de 674 mm (IUS; Equipo UPS, 2018). Siendo desde enero hasta marzo y desde octubre hasta diciembre los meses con mayor presencia de lluvias y desde julio hasta septiembre la temporada seca o de verano.

- **Suelo y Geomorfología**

Debido a las formaciones volcánicas andinas en la parroquia de Olmedo del cantón Cayambe los suelos del sector están constituidos por diversas formaciones y depósitos, específicamente la comunidad de Pesillo está compuesta por depósitos glaciares, coluvio-aluviales y formaciones volcánicas de angochagua y cangahua (GOBIERNO PARROQUIAL OLMEDO, 2014).

Los suelos de toda la zona se caracterizan por ser esponjosos y fértiles, donde se pueden realizar cualquier tipo de cultivos y su cobertura vegetal en su mayoría está formada por pisos alpinos, paramos y bosques húmedos (GOBIERNO PARROQUIAL OLMEDO, 2014).

- **Hidrografía**

La comunidad de Pesillo y la acequia Pumamaqui pertenecen a la subcuenca del río Pisque, que luego forma parte de la cuenca del río Guayllabamba finalizando en el sistema hidrográfico del río Esmeraldas (GOBIERNO PARROQUIAL OLMEDO, 2014).

El río la Chimba nace en las faldas del nevado Cayambe y es un afluente principal del río Pisque, desde este afluente inicia la captación de la acequia Pumamaqui, la cual cuenta con una dotación actual de 205 l/s utilizadas para el

riego, dicho valor fue autorizado por la entidad reguladora del agua del Ecuador (SENAGUA).

7.2.3 Caracterización del medio antrópico

- **Población**

La comunidad de Pesillo cuenta con una población de 2.665 habitantes en el año actual, de los cuales el 90.4 % son indígenas y el resto de las personas son mestizas, siendo el idioma predominante el castellano, toda esta información está en base al último censo realizado en el año 2010.

- **Actividad económica**

Las principales actividades económicas que realizan las personas de la comunidad de Pesillo son la ganadería, agricultura y turismo. En la agricultura su mayor producción está en la producción de papa y cebolla, también cultivan pasto mejorado, esto va de la mano para la alimentación del ganado y la producción de leche y sus derivados de excelente calidad (IUS; Equipo UPS, 2018). Por otra parte, el turismo se ve alimentado por las cabalgatas que se pueden realizar en sus bosques, el conjunto de estas actividades ayuda al sustento de cada familia y a el desarrollo de toda la comunidad.

- **Salud y educación**

La salud está contemplada por un seguro social campesino y un subcentro de salud público, donde los profesionales a cargo son responsables de la atención primaria y medicina preventiva, todo este servicio es gratuito además que la comunidad cuenta con la medicina tradicional como son los curanderos y las parteras (IUS; Equipo UPS, 2018).

En cuanto a la educación, en el centro de la comunidad de Pesillo está ubicada la escuela del milenio “Ernesto Noboa y Caamaño”. Como datos general se puede describir que el 31% de la comunidad cuenta con educación primaria, el 4% educación secundaria y tan solo el 2% ha alcanzado la educación superior, adicionalmente a esta información se tiene que el 17% de los pobladores de Pesillo han sido alfabetizados mientras que el 46% restante no han obtenido ningún nivel de instrucción (IUS; Equipo UPS, 2018).

- **Vivienda y servicios básicos**

Según el censo realizado en el año 2010 por el INEN se tiene que el 90% de las familias en Pesillo poseen una casa o villa adecuada, mientras que el 10% restante habita en chozas o mediaguas con falta de servicios básicos.

Por otro lado, el acceso a los servicios básicos de los pobladores de Pesillo se ha podido cuantificar de la siguiente manera: el 80% de los habitantes cuenta con agua potable, el 60% con electricidad y poseen alumbrado público en un 35%, principalmente en el centro del poblado y en las vías principales. El alcantarillado únicamente está instalado en el centro de la comunidad con un 30% de alcance y la recolección de basura en un 50% (IUS; Equipo UPS, 2018).

7.3 Valoración de Impactos Ambientales

La evaluación de los impactos consiste en investigar los posibles daños que causan todas las actividades mencionadas durante el proyecto y su respectiva magnitud de impacto. El fin de todo este proceso es determinar una calificación que nos dé idea del impacto que genera la intervención en el sitio del proyecto y su importancia, los factores

ambientales son los componentes necesarios de identificar para posteriormente evaluarlos.

Para realizar el estudio y análisis se considerará una matriz de Leopold Modificada, para la etapa de construcción y operación del proyecto. El análisis consiste en calificar cada uno de los factores ambientales en función de las afectaciones que puedan causar las distintas actividades dentro de cada etapa, sin olvidar que las variables a evaluarse son subjetivas y dependen mucho del punto de vista del analista. Para este proceso es necesario realizar una categorización de todas estas actividades, con el fin de evaluarlas tomando en cuenta las consideraciones mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 33
Rubrica de valoración de variables

PARÁMETRO	VALORACIÓN	
Medioambiente	Benéficas	B
	Infructuoso	I
Probabilidad de Ocurrencia	Verídico	V
	Potencial	P
	Improbable	M
	Desconocido	D
Duración de efecto	Temporal	T
	Permanente	E
Forma de ejecución de las acciones a tomarse	Inmediato	i
	Mediato	m
	Largo plazo	l
Grado de Impacto	Menor	1
	Moderada	2
	Mayor	3

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

7.4 Identificación y calificación de Impactos Ambientales

La matriz de Leopold consiste en valorar y evaluar ambientalmente un proyecto en desarrollo, esta matriz fue propuesta en 1971. Este análisis tiene como objetivo garantizar que estos impactos sean evaluados de forma correcta.

Este método está basado en una matriz de acciones y factores ambientales como se muestra a continuación en las siguientes tablas para las etapas de construcción y operación respectivamente.

Tabla 34
Matriz de Leopold en la etapa de construcción

FACTORES AMBIENTALES	FASE DE CONSTRUCCIÓN											IMPACTOS		
	MEDIO ABIÓTICO			MEDIO BIÓTICO			MEDIO ANTRÓPICO					POSITIVOS	NEGATIVOS	IMPACTOS
ACTIVIDADES	AIRE	AGUA	SUELO	PAISAJE	FLORA	FAUNA	EMPLEO	SALUD Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	SERVICIOS	USO ACTUAL DEL SUELO				
Desbroce y limpieza del terreno	NA	IVTi-1	IVTi-1	IMTm-1	NA	IVTi-1	BVTm+1	NA	NA	IVTi-1	1	5	-4	
Perfilación y nivelación del terreno	NA	IVTi-1	IVEi-1	BPEI+1	NA	NA	BVTm+2	IMTi-1	NA	IVTi-1	2	4	-1	
Corte, relleno y compactación de tierras	NA	IVTi-1	IVEi-1	BPEI+1	NA	NA	BVTm+3	IMTi-1	NA	IVTi-1	2	4	0	
Movimiento de tierras y cobertura vegetal	IVTi-1	IVTi-1	IVEi-1	IPTi-1	IVTi-1	NA	BVTm+1	NA	NA	IVTi-1	1	6	-5	
Encofrado	NA	NA	NA	IPTi-1	NA	NA	BVTm+1	IMTi-1	NA	NA	1	2	-1	
Transporte de materiales petreos y áridos	NA	NA	IVTi-1	NA	NA	NA	BVTm+1	IPTi-1	NA	NA	1	2	-1	
Preparación de hormigones	IVTi-1	IPTi-1	IVEi-1	NA	IPTi-1	IPTi-1	BVTi+3	IPTi-1	NA	NA	1	6	-3	
Uso de herramienta menor	IVTi-1	IPTi-1	NA	NA	NA	IPTi-1	BVTm+3	IPTi-1	NA	NA	1	4	-1	
Contratación de mano de Obra	NA	NA	NA	NA	NA	NA	BVTi+3	NA	NA	NA	1	0	3	
Generación de desechos	IVTi-1	IPEI-2	IVTi-1	IVTi-1	IVEi-1	IPTi-1	BVTi+2	NA	IMTi-1	IPTi-1	1	8	-7	
POSITIVOS	0	0	0	2	0	0	10	0	0	0	-20			
NEGATIVOS	4	7	7	4	3	4	0	6	1	5				
IMPACTOS	-4	-8	-7	-2	-3	-4	20	-6	-1	-5				

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

Tabla 35
Matiz de Leopold en la etapa de operación

FACTORES AMBIENTALES	FASE DE OPERACIÓN											IMPACTOS		
	MEDIO ABIÓTICO			MEDIO BIÓTICO			MEDIO ANTRÓPICO					POSITIVOS	NEGATIVOS	IMPACTOS
ACTIVIDADES	CALIDAD DE AIRE	CALIDAD DE AGUA	CALIDAD DE SUELO	PAISAJE	FLORA	FAUNA	EMPLEO	SALUD Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	SERVICIOS	USO ACTUAL DEL SUELO				
Uso de compuertas	NA	BPTI+1	NA	IMTm-1	NA	NA	BPTm+1	NA	NA	NA	2	1	1	
Mantenimiento de compuertas	NA	BPTI+1	NA	BPEI+1	NA	NA	BPTi+1	IMTi-1	NA	NA	3	1	2	
Mantenimiento de la estructura	NA	BPTI+2	NA	BPEI+1	BPTm+1	NA	BPTi+1	IMTi-1	NA	NA	4	1	4	
Limpieza general de la acequia	NA	BPTI+2	BPEI+1	BPEI+1	BPTm+1	BVPI+1	BPTi+1	IMTi-1	NA	BPTI+1	7	1	7	
Sistema de riego	NA	BVTI+2	BVEm+2	BPEI+1	BVPI+1	BVEI+3	BVEm+3	NA	NA	BPTI+2	7	0	14	
Infiltraciones	NA	NA	BPEI+2	NA	NA	NA	NA	NA	NA	IMEI-1	1	1	1	
POSITIVOS	0	5	3	4	3	2	5	0	0	2	29			
NEGATIVOS	0	0	0	1	0	0	0	3	0	1				
IMPACTOS	0	8	5	3	3	4	7	-3	0	2				

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

	MAYOR IMPACTO POSITIVO
	MAYOR IMPACTO NEGATIVO

7.5 Plan de mitigación de impactos Ambientales

7.5.1 Impactos positivos y negativos

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación descrita en las tablas 36 y 37, se puede determinar los impactos con mayor influencia en el proyecto de la acequia Pumamaqui.

- **Impactos positivos en la etapa de construcción**

La mayor cantidad de impactos positivos en la etapa de construcción se genera únicamente en la creación de empleo, aunque hay que recalcar que este beneficio es temporal.

- **Impactos positivos en la etapa de operación**

Prácticamente todos los impactos serán positivos una vez que se haya intervenido en la acequia Pumamaqui, pero de todos se debe destacar que la calidad del agua para el sistema de riego y la creación de empleo a largo plazo debido al constante mantenimiento que debe tener la acequia, son los dos aspectos con mayor impacto.

- **Impactos negativos en la etapa de construcción**

En esta etapa prácticamente el 90% son impactos negativos, pero se debe tener en cuenta que la mayoría no son permanentes. De toda la evaluación realizada anteriormente, las variables con mayor impacto son: el agua y el suelo debido a la generación de desechos. La salud y seguridad de la mano de obra si no se tiene el respectivo cuidado con la manipulación de las herramientas por parte de los obreros.

- **Impactos negativos en la etapa de operación**

Los impactos negativos en esta etapa prácticamente son nulos, únicamente se debe mencionar que siempre los usuarios dedicados al mantenimiento deben tener precauciones si se utiliza algún tipo de herramienta.

7.5.2 Medidas mitigadoras para el recurso agua

- Para la construcción de la sección transversal óptima en las longitudes establecidas, se suspenderá el paso del agua desde la toma para evitar contaminación.
- Posteriormente al desbroce, limpieza y corte de tierra en las zonas a intervenir se manejará el desalojo y movimiento de tierra de manera adecuada y oportuna.
- De igual forma para el desalojo de escombros y desechos creados durante la construcción se utilizará el método más eficaz para evitar inconvenientes.

7.5.3 Medidas mitigadoras para el recurso suelo

- Se debe ejecutar la construcción del canal de acuerdo con los planos y diseños planteados en el proyecto, para evitar cortes y excavaciones innecesarias en el terreno.
- Utilizar el mismo suelo que se ha excavado, en sitios donde se necesite rellenar, de esta forma se optimiza este recurso.
- Separar adecuadamente el suelo excavado de los escombros de madera, piedra, hormigón, para una posible reutilización. Evitar mezclarlos para un mejor manejo.

- Evacuar todos los desechos de manera correcta, ya que, de no ser así, esto podría afectar al suelo y por ende a la agricultura.

7.5.4 Medidas mitigadoras para la flora y fauna

- Evitar talar los árboles ubicados en la superficie de los costados de la acequia, en caso de ser inevitable la tala, se deberá extraer el árbol para su posterior reubicación.
- Una vez terminada la construcción del canal, verificar que todos los desechos se hayan retirado del proyecto, para evitar contaminación en el agua una vez que la acequia entre nuevamente en funcionamiento.

7.5.5 Medidas mitigadoras para la salud y seguridad industrial

- Proporcionar a todos los trabajadores los materiales necesarios para su seguridad personal como son: botas, casco, guantes, mascarillas y protección para los ojos.
- En el caso de utilizarse alguna maquinaria, esta debe ser operada por una persona con experiencia y capacitada para su manejo.

CAPÍTULO VIII

8. PRESUPUESTO

8.1 Análisis de Precios Unitarios

Este análisis es el precio por unidad de cada bien o servicio. Los rubros contemplados para el proyecto actual están fundamentados en el análisis de precios unitarios los cuales se basan en los precios fijados por la Cámara de la Industria de la Construcción para el año 2019, los mismos que se muestran en el **ANEXO N° 14**. Con esta información se realiza un presupuesto referencial del proyecto.

8.2 Presupuesto Referencial

Gracias a un presupuesto se pretende expresar a través de términos monetarios el plan de acción de un proyecto en particular, permitiendo el correcto uso de los recursos con los que se cuenta, pudiendo ser asignados eficientemente si se dispone de una planificación previa (Sánchez Galán, 2019).

En este proyecto se refleja el presupuesto referencial de las alternativas seleccionadas para los diferentes puntos de estudio tratados en este documento. Las cantidades de obra se han calculado en base a los planos de diseño geométrico e hidráulico, obteniendo así los siguientes resultados.

Tabla 36

Presupuesto referencial del estudio de factibilidad para el revestimiento de la acequia Pumamaqui

Nro.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL COSTO DIRECTO
MOVIMIENTO DE TIERRAS						
1	100	EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO A MANO EN TIERRA	m3	13.46	9.84	132.41
2	101	DESBANQUE Y NIVELACIÓN DEL TERRENO	m3	2,216.17	10.93	24,228.35
3	102	RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL DEL LUGAR	m3	156.21	21.26	3,320.96
4	103	ACARREO MANUAL DE MATERIAL EXCEDENTE DISTANCIA 100m	m3	2,059.96	10.40	21,416.12
ACERO DE REFUERZO						
5	104	ACERO DE REFUERZO 4200 kg/cm2 $\phi=10$ mm	kg	12.50	1.77	22.10
6	105	ACERO DE REFUERZO 4200 kg/cm2 $\phi=12$ mm	kg	5.08	1.77	8.98
7	106	MALLA ELECTROSOLDADA 6,25 X 2,40 mts (15 m ²) 8.00mm 10x10	m2	317.84	15.62	4,964.78
ENCOFRADOS						
8	107	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN CANAL TIPO TÚNEL	m	215.60	32.53	7,013.02
9	108	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN CANAL A CIELO ABIERTO	m	3,345.00	16.18	54,132.30
HORMIGONES						
10	109	HORMIGÓN EN REPLANTILLO f'c=140kg/cm2	m3	0.91	93.36	85.14
11	110	HORMIGÓN CICLÓPEO (40% piedra y 60% hormigón) f'c=180 kg/cm2	m3	1,897.91	84.55	160,459.52
12	111	HORMIGÓN SIMPLE (no premezclado) f'c=210 kg/cm2	m3	50.63	117.91	5,969.94
METÁLICOS						
13	112	COMPUERTA	u	2.00	2,399.44	4,798.87
			TOTAL:			286,552,51
SON: DOSCIENTOS OCHENTA Y SEIS MIL QUINIENTOS CINCUENTA Y DOS dólares CINCUENTA Y UN centavos						

Autores: Huaraca & Sotalín, 2019

8.3 Cronograma Valorado

A continuación, se presenta el cronograma valorado de ejecución para el proyecto “Estudio de factibilidad para el revestimiento de la acequia Pumamaqui”.

Cabe aclarar que para la realización de este cronograma se consideró un grupo de trabajo de 24 personas las mismas que están distribuidas en las diferentes actividades contempladas en el presupuesto referencial.

Tabla 37

Cronograma valorado del estudio de factibilidad para el revestimiento de la acequia Pumamaqui

Nro.	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10	SEMANA 11	SEMANA 12	SEMANA 13	SEMANA 14	
A.- MOVIMIENTO DE TIERRAS																					
1	100	EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO A MANO EN TIERRA	m3	13,46	9,84	132,41	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	101	DESBANQUE Y NIVELACIÓN DEL TERRENO	m3	2.216,17	10,93	24.228,35	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	
							0,00	0,00	0,00	0,00	1.695,98	0,00	1.695,98	0,00	1.695,98	0,00	1.695,98	0,00	1.695,98	0,00	
3	102	RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL DEL LUGAR	m3	156,21	21,26	3.320,96	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
4	103	ACARREO MANUAL DE MATERIAL EXCEDENTE DISTANCIA 100m	m3	2.059,96	10,40	21.416,12	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	6,00%	0,00%	6,00%	0,00%	6,00%	0,00%	6,00%	0,00%	6,00%	0,00%	
							0,00	0,00	0,00	0,00	1.284,97	0,00	1.284,97	0,00	1.284,97	0,00	1.284,97	0,00	1.284,97	0,00	
B.- ACERO DE REFUERZO																					
5	104	ACERO DE REFUERZO 4200 kg/cm2 Ø=10mm	kg	12,50	1,77	22,10	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
6	105	ACERO DE REFUERZO 4200 kg/cm2 Ø=12mm	kg	5,08	1,77	8,98	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
7	106	MALLA ELECTROSOLDADA 6,25 X 2,40 mts (15 m²) 8.00mm 10x10	m2	317,84	15,62	4.964,78	96,81%	3,19%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
							4.806,41	158,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
C.- ENCOFRADOS																					
8	107	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN CANAL TIPO TUNEL	m	215,60	32,53	7.013,02	41,85%	41,85%	16,30%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
							2.934,95	2.934,95	1.143,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9	108	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN CANAL A CIELO ABIERTO	m	3.345,00	16,18	54.132,30	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	
							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3.789,26	0,00	3.789,26	0,00	3.789,26	0,00	3.789,26	0,00	3.789,26	
D.- HORMIGONES																					
10	109	HORMIGON EN REPLANTILLO f'c=140kg/cm2	m3	0,91	93,36	85,14	0,00%	0,00%	50,00%	50,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
							0,00	0,00	42,57	42,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
11	110	HORMIGÓN CICLÓPEO (40% piedra y 60% hormigón) f'c=180 kg/cm2	m3	1.897,91	84,55	160.459,52	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	
							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11.232,17	0,00	11.232,17	0,00	11.232,17	0,00	11.232,17	0,00	11.232,17	
12	111	HORMIGÓN SIMPLE (no premezclado) f'c=210 kg/cm2	m3	50,63	117,91	5.969,94	41,85%	41,85%	15,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
							2.498,42	2.498,42	895,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
E.- METÁLICOS																					
13	112	COMPUERTA	u	2,00	2.399,44	4.798,87	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
							0,00	0,00	0,00	4.798,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sub Total						286.552,51															
TOTAL SIN IVA USD \$ ACUMULADO						286.552,51	10.239,78	5.591,75	2.081,19	4.841,44	2.980,95	15.021,43	2.980,95	15.021,43	2.980,95	15.021,43	2.980,95	15.021,43	2.980,95	15.021,43	2.980,95
% ACUMULADO							3,57%	5,52%	6,25%	7,94%	8,98%	14,22%	15,26%	20,51%	21,55%	26,79%	27,83%	33,07%	34,11%	39,35%	

Continuación de la Tabla 37

SEMANA 15	SEMANA 16	SEMANA 17	SEMANA 18	SEMANA 19	SEMANA 20	SEMANA 21	SEMANA 22	SEMANA 23	SEMANA 24	SEMANA 25	SEMANA 26	SEMANA 27	SEMANA 28	SEMANA 29	SEMANA 30	SEMANA 31	SEMANA 32	SEMANA 33	SEMANA 34
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	132,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	0,00%	0,00%	16,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1.695,98	0,00	1.695,98	0,00	1.695,98	0,00	1.695,98	0,00	1.695,98	0,00	1.695,98	0,00	1.695,98	0,00	0,00	0,00	3.876,54	0,00	0,00	0,00
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	50,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	50,00%	0,00%
0,00	0,00	0,00	0,00	1.660,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.660,48	0,00
6,00%	0,00%	6,00%	0,00%	7,00%	0,00%	6,00%	0,00%	6,00%	0,00%	6,00%	0,00%	6,00%	0,00%	11,00%	0,00%	0,00%	0,00%	8,00%	8,00%
1.284,97	0,00	1.284,97	0,00	1.499,13	0,00	1.284,97	0,00	1.284,97	0,00	1.284,97	0,00	1.284,97	0,00	2.355,77	0,00	0,00	0,00	1.713,29	1.713,29
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,10	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,98	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	9,00%	0,00%	0,00%
0,00	3.789,26	0,00	3.789,26	0,00	3.789,26	0,00	3.789,26	0,00	3.789,26	0,00	3.789,26	0,00	3.789,26	0,00	3.789,26	0,00	4.871,91	0,00	0,00
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	7,00%	0,00%	9,00%	0,00%	0,00%
0,00	11.232,17	0,00	11.232,17	0,00	11.232,17	0,00	11.232,17	0,00	11.232,17	0,00	11.232,17	0,00	11.232,17	0,00	11.232,17	0,00	14.441,36	0,00	0,00
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,30%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,61	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2.980,95	15.021,43	2.980,95	15.021,43	4.855,59	15.021,43	2.980,95	15.021,43	2.980,95	15.021,43	2.980,95	15.021,43	2.980,95	15.021,43	2.488,19	15.130,12	3.876,54	19.313,26	3.373,77	1.713,29
115.747,00	130.768,43	133.749,38	148.770,81	153.626,40	168.647,83	171.628,78	186.650,21	189.631,16	204.652,59	207.633,54	222.654,97	225.635,92	240.657,34	243.145,53	258.275,65	262.152,19	281.465,45	284.839,22	286.552,51
40,39%	45,64%	46,68%	51,92%	53,61%	58,85%	59,89%	65,14%	66,18%	71,42%	72,46%	77,70%	78,74%	83,98%	84,85%	90,13%	91,48%	98,22%	99,40%	100,00%

CAPÍTULO IX

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

- Después de haber realizado el levantamiento topográfico en la acequia Pumamaqui, se evidenció que la metodología por estación total fue de mayor utilidad en comparación al método del RTK, puesto que por las condiciones del terreno, naturaleza y propias del clima la metodología RTK no tuvo el mismo rendimiento que la estación total.
- Durante el procesamiento de datos la información más eficaz fue la obtenida por el método RTK, mientras que los datos arrojados por la estación total en algunos tramos tuvieron que ser corregidos, esto debido a errores por parte del operador, a consecuencia de esto el procesamiento de la información de la estación total fue más demorosa.
- Partiendo de la premisa que una eficiencia adecuada para el funcionamiento de un sistema de riego es de al menos el 85% se determina que las zonas de túneles y sin intervención en el tramo de conducción, están trabajando con una eficiencia promedio del 77.35% actualmente. Las comparaciones entre aforos con mayor pérdida son los siguientes: aforo entre 1-2 pierde el 18.52%; aforo entre 2-3 pierde el 29.09%; aforo entre 7-8 pierde el 24.47%.
- Teniendo en cuenta la premisa del ítem anterior, la zona agrícola con suelo permeable y la quebrada del tramo de distribución trabajan con una eficiencia promedio del 75.57% y de igual manera, se ha evidenciado que las mayores pérdidas de caudal por infiltración se dan en las comparaciones de los siguientes aforos: aforo entre 5-6 pierde el 30.89%; aforo entre 16-17 pierde el 26.08%;

aforo entre 20-21 pierde el 23.85%; aforo entre 26-27 pierde el 19.03% y el aforo entre 34-35 pierde el 38.50%.

- De acuerdo con los resultados descritos anteriormente, la acequia Pumamaqui cuenta con un déficit en las zonas críticas, por lo que se necesita mejorar su eficiencia en las zonas ya definidas, en base a esta información se debe revestir dichas zonas para brindar una mejora considerable al sistema.
- A consecuencia de las condiciones del lugar, de las variables para el tipo de análisis que se considera en el cálculo de la escorrentía, se determinó finalmente que el mejor método para obtener el caudal de aportación es el del número de curva SCS, resultando así un caudal total de aportación de $0.6704 \text{ m}^3/\text{s}$, área de aportación total de 1 582.16 Ha con una pendiente media igual al 41,79%.
- Después de comparar los resultados de evapotranspiración entre las estaciones OTAVALO (M0105) y OLMEDO-PICHINCHA (M0023), se concluye que estos valores son similares por lo que no fue necesario una transposición de datos, además de ser un valor bastante pequeño, este no afecta significativamente a la cuantificación del caudal de diseño.
- Sabiendo que la eficiencia de la acequia mejorará gracias al revestimiento y analizando la situación más desfavorable para el funcionamiento de la acequia Pumamaqui, el caudal máximo de diseño para el tramo de conducción será de $1.211 \text{ m}^3/\text{s}$. Para el tramo de distribución el caudal de diseño ira aumentando para cada zona crítica dependiendo del caudal de aportación, por lo que es necesario diseñar y construir un vertedero lateral que permita evacuar todo este caudal excedente.

- Específicamente en la zona de la quebrada existe un problema de confluencia entre el caudal de la acequia y el flujo proveniente de la quebrada, con el fin de mejorar esta situación se planteó diseñar un acueducto que me ayude a solucionar este inconveniente, para el dimensionamiento del acueducto se realizó un análisis de crecida en la microcuenca 1 con el método racional CIA y se obtuvo un caudal máximo de crecida en la quebrada de $0,657 \text{ m}^3/\text{s}$.
- En el tramo de conducción existe actualmente dos compuertas planas deslizantes en funcionamiento, por lo que utilizar otro tipo de obra reguladora es innecesario, de esta manera se optimizaría los recursos actuales del proyecto.
- De todas las secciones propuestas para los diseños se escogió la sección rectangular para las zonas específicamente de túneles y en el canal que pasa encima del acueducto en la zona de la quebrada. Se trabajará con la sección trapezoidal en el resto de las zonas críticas, tanto en el tramo de conducción como el de distribución, el dimensionamiento de cada una de estas se diseñó en función de las condiciones actuales del terreno en cada zona.
- Posteriormente al análisis y entendimiento de las respectivas ventajas y desventajas de cada material de revestimiento, además de los resultados obtenidos del presupuesto referencial se decidió utilizar hormigón estructural para todas las secciones rectangulares y hormigón ciclópeo para todas las secciones trapezoidales, esto debido a que el hormigón es el material más económico y duradero.
- Se tiene una longitud total de revestimiento de 3.56 km en las zonas críticas, reduciéndose de esta manera los problemas de infiltraciones en dichas zonas y mejorando así la eficiencia actual de la acequia Pumamaqui.

- La mano de obra dentro de una construcción representa aproximadamente el 30% del costo de la misma, por lo cual en este tipo de proyectos en los que la comunidad dispone sus servicios de manera gratuita por el bienestar colectivo los costos presupuestados pueden disminuir. Sin embargo, para este proyecto el presupuesto referencial que se propuso no considera dicha situación ya que al ser un trabajo académico no se sabe con certeza que las condiciones nombradas anteriormente se presenten.
- El valor presupuestado para la ejecución del proyecto de revestimiento en la Acequia Pumamaqui es de 286,552.51 dólares americanos, el mismo que se estima dure aproximadamente 34 semanas para finalizar su ejecución.
- Tanto en la etapa de construcción y operación del proyecto el mayor impacto positivo se da en la generación de empleo. Cabe destacar que en la etapa de operación más del 90% son impactos positivos para cada variable ya que, al mejorar la eficiencia de la acequia, mejora también su calidad de agua y de manera global esto ayuda al desarrollo de toda la comunidad.
- Los mayores impactos negativos se dan únicamente en la etapa de construcción, pero cabe recalcar que estos impactos serán temporales, teniendo así una mínima afectación.
- De manera general los impactos positivos son más significativos, después de la evaluación a través de la matriz de Leopold se tiene una valoración en impactos positivos de 29 puntos en la etapa de operación e impactos negativos de -20 puntos en la etapa de construcción, por lo tanto, el proyecto de factibilidad para el revestimiento de la acequia Pumamaqui es viable sin causar afectaciones ambientales de gran magnitud.

9.2 Recomendaciones

- Para proyectos similares donde se necesite obtener información topográfica, es importante contar con todas las herramientas necesarias, verificar que los equipos funcionen correctamente, de esta manera el trabajo realizado será más eficaz.
- Conseguir toda la información necesaria que permita tener un panorama macro de la situación del proyecto para de esta forma realizar un trabajo más preciso.
- Diseñar una obra que permita regular el ingreso de agua en la captación, ya que así se controlaría el caudal necesario de dotación para los usuarios y se evitarían varios inconvenientes en el funcionamiento regular de la acequia, sobre todo en épocas de crecida.
- Para el actual proyecto es prioritario intervenir en primera instancia el tramo de conducción, debido a sus condiciones es necesario evitar que durante este tramo existan pérdidas de flujo, así se evitara déficit de caudal en el siguiente tramo.
- Se recomienda trabajar con las compuertas siempre abiertas, pero a la mitad de su capacidad de descarga, además de no olvidar su constante mantenimiento.
- Debido a que no se conoce la situación interna de los túneles, sería muy necesario realizar un trabajo técnico en estos, para conocer sus condiciones físicas y mecánicas, de esta manera tener la certeza de cómo realizar los trabajos previstos para estas zonas.
- Para la construcción del canal a lo largo de la acequia Pumamaqui se debe mantener la pendiente natural del terreno evitando así cambios bruscos en las velocidades y que a raíz de esto se produzcan otra clase de daños en la acequia.

- En los tramos donde se utilice el hormigón ciclópeo colocar un espesor de revestimiento de mínimo 20 cm, para evitar la formación de grietas y deformaciones producidas por la dilatación y contracción, en algunos casos se coloca una pequeña subbase de grava entre la losa y el terreno natural.
- Al momento de utilizar el hormigón estructural se deben colocar juntas de contracción entre 10 a 15 metros, también en lugares donde existan ángulos cóncavos y en cambios de pendientes.
- Tener un mejor control para la distribución del agua hacia los usuarios, evitando que existan puntos de extracción de agua no contemplados para el sistema de riego ya que esto perjudica a los usuarios aguas abajo de la acequia, además que el estudio de demanda para la concesión de agua únicamente contempla los óvalos previamente registrados.
- Una vez culminado los procesos de construcción verificar que el retiro de todos los desechos sea de manera responsable, evitando contaminar el recurso suelo y agua del sitio, además de realizar una limpieza del canal periódicamente con el fin de evitar daños al sistema ya que actualmente se evidencian pequeños derrumbes de tierra ocasionados por el paso del ganado, así como vegetación abundante en las paredes del canal, lo que impide un normal recorrido del agua.

CAPÍTULO X

10. BIBLIOGRAFÍA

Almeida Roman, M. (2 de Octubre de 2010). ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. Recuperado el 11 de junio de 2019, de ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2527/1/CD-3221.pdf>

Amaya, C. E. (2016). DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA COMPUERTA PLANA DESLIZANTE PARA LA EMPRESA ARMETCO. Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Azuay, Ecuador.

Barranco, L. M., & Álvarez, J. (2009). SIGTE. Recuperado el 2 de Mayo de 2019, de SERVEI DE SISTEMES D'INFORMACIÓ GEOGRÁFICA I TELEDETECCIÓ: <http://www.sigte.udg.edu/jornadassiglibre2009/uploads/Articulos/C12.pdf>

Blázquez Prieto, F. (2008). CANALES. Generalidades. Obras y elementos. Madrid, España.

Botella Plana, A., Muñoz Bollas, A., Olivella Gonzáles, R., Olmedillas Hernández, J. C., & Rodríguez Lloret, J. (2011). INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOTELEMÁTICA. Barcelona: UOC.

Cando, V. A. (2016). DISEÑO A NIVEL DE CARPETA ASFÁLTICA Y PAVIMENTO RÍGIDO DE LA VIA MULAUTE - LA FLORIDA, TRAMO 3 (Tesis de Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Pichincha, Ecuador.

Chiclote, O. A. (2017). EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN DEL CANAL DE RIEGO EL PROGRESO MAYANAL - JAÉN - CAJAMARCA, TRAMO: Km, 00+000-01+000. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Cajamarca. Jaén, Cajamarca, Perú.

Chow, V. T., Maidment, R. D., & Mays, L. W. (1994). HIDROLOGÍA APLICADA. Santafé de Bogotá: McGRAW - HILL INTERAMERICANA, S.A.

CONSTRUCCIÓN, & TOPOGRAFÍA. (2019).

DEMARSE. (10 de Junio de 2019). DDEMARSE, ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA PARED DEL TUBO. Obtenido de ddemarse: <https://demarse.ru/es/the-crosssectional-area-of-the-pipe-wall-methods-for-calculating-the-crosssectional-area-of-a-pipe.html>

Echeverría, O., Manosalvas, A., & Túquerres, E. (2016). issu. Recuperado el 01 de Julio de 2019, de issu: https://issuu.com/utnuniversity/docs/digital_plan_ag/53

Escobar Tobar, A. D., & Flores Guamán, O. A. (2018). ESTUDIO DE FÁCTIBILIDAD DE LA "ECO RUTA DE CAMINATA Y BICICLETA RÍO SAN JOSÉ" Y DISEÑO DEFINITIVO DE LA RED VÍAL DEL "COMPLEJO INTEGRAL AGROECOLÓGICO SAN JOSÉ DE AYORA, CANTÓN CAYAMBE". Tesis de pregrado. Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador.

Franzini, J. B., & Finnemore, J. E. (1999). MECANICA DE FLUIDOS CON APLICACIONES EN INGENIERÍA (Novena ed.). (C. F. Madrir, Ed., & B. Lambert, Trad.) Madrir, ESPAÑA: McGRAW-HILL.

García Trisolini, E. (2009). MANUAL PRÁCTICO DE PEQUEÑAS IRRIGACIONES. Lima, Perú.

GOBIERNO PARROQUIAL OLMEDO. (2014). Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Olmedo Pesillo. Recuperado el 02 de Julio de 2019, de Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Olmedo Pesillo: <http://olmedopesillo.gob.ec/pichincha/wp-content/uploads/2015/09/PDOT-OLMEDO-2015.pdf>

Gonzáles, F., Zamudio, E., & Corzo, C. (Diciembre de 2013). Vertedero lateral, soluciones teóricas verificadas experimentalmente y validadas con base en el análisis dimensional. 17, 122-132.

Google Earth. (29 de marzo de 2019). Google Earth. Obtenido de <http://earth.google.es/>

Gutiérrez, C. (2014). HIDROLOGÍA BÁSICA Y APLICADA. Quito: ABYA YALA.

HIDROLOGÍA, I. N. (2015). DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN. QUITO:

INAMHI. HIDROLOGÍA, I. N. (2017). INAMHI. Obtenido de INAMHI: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). (2010). ECUADORENCIFRAS. Obtenido de ecuadorencifras: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/pichincha.pdf>

IUS; Equipo UPS. (2018). PLAN DE MEJORAS DE LA ACEQUIA PUMAMAQUI DE LA COMUNIDAD DE PESILLO CANTÓN CAYAMBE - PROVINCIA DE PICHINCHA. Cayambe.

Leica Geosystems. (29 de marzo de 2019). INSTOP. Obtenido de https://www.instop.es/gps/gps_1200.php

Marbello, R. (2005). UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN. Recuperado el 7 de Junio de 2019, Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/12697/49/3353962.2005.Parte%209.pdf>

Martínez, M., Fernández, D., & Salas, R. (2012). SAGARPA. Recuperado el 26 de Abril de 2019, Obtenido de http://www.sagarpa.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/INSTRUCTIVO_HIDROLOG%20C3%208DA.pdf

Montaño Herrera, P. A., & Prieto Castiblanco, E. A. (11 de Mayo de 2014).
Researchgate. Obtenido de Researchgate:
[https://www.researchgate.net/publication/273257919_LABORATORY_OF_LEVEL_
CONTROL_FLOW_AND_TEMPERATURE_APPLIED_TO_A_FLUIDS_BANK](https://www.researchgate.net/publication/273257919_LABORATORY_OF_LEVEL_CONTROL_FLOW_AND_TEMPERATURE_APPLIED_TO_A_FLUIDS_BANK)

Mundo GEO. (02 de Abril de 2019). MundoGeo. Obtenido de MundoGeo:
<https://mundogeo.com/blog/2000/01/01/posicionamiento-en-tiempo-real-con-gps-rtk/>

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT). (2015). olmedopesillo.
Obtenido de olmedopesillo: [http://olmedopesillo.gob.ec/pichincha/wp-
content/uploads/2015/09/PDOT-OLMEDO-2015.pdf](http://olmedopesillo.gob.ec/pichincha/wp-content/uploads/2015/09/PDOT-OLMEDO-2015.pdf)

Román, J. S. (2017). HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRANEA. Salamanca:
safecreative.

Sánchez Galán, J. (19 de Febrero de 2019). ECONOMIPEDIA. Obtenido de
<https://economipedia.com/definiciones/presupuesto.html>

U.S. Bureau of Reclamation Manual. (1970). DESIGN OF SMALL DAMS. Madrid:
DOSSAT MADRID.

Villón, M. (2004). HIDROLOGÍA (Primera ed.). Cartago: Editorial Tecnológica de
Costa Rica.