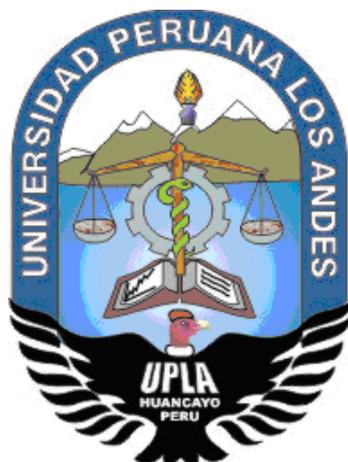


**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**MODELAMIENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DE ALCANTARILLAS  
EN EL TRAMO DE LA CARRETERA PUENTE CUCHARÁN HASTA  
UYRUMPI, ACORIA - HUANCAVELICA**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. BRAYAN VARGAS FLORES.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**HUANCAYO – PERÚ**

**2021**

## HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

---

Dr. Rubén Darío Tapia Silguera  
Presidente

---

Jurado Revisor

---

Jurado Revisor

---

Jurado Revisor

---

Mg. Miguel Ángel Carlos Canales  
Secretario Docente

## **Dedicatoria**

*A mis padres Rolando Vargas y Carmen  
Flores por su amor y apoyo incondicional  
durante todos estos años.*

*Brayan Vargas Flores.*

## **Agradecimiento**

*A la Universidad Peruana Los Andes y a los  
maestros por instruirme durante el proceso.*

*Brayan Vargas Flores.*

# Índice

<b>Índice de tablas</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>x</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>xi</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xii</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>15</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>15</b>
1.1. Problema .....	15
1.1.1. Problema general .....	15
1.1.2. Problemas específicos .....	15
1.2. Objetivos.....	16
1.2.1. Objetivo general .....	16
1.2.2. Objetivos específicos .....	16
1.3. Justificación .....	16
1.4. Delimitación .....	16
1.4.1. Delimitación espacial.....	16
1.4.2. Delimitación temporal.....	17
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>18</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
2.1. Antecedentes.....	18
2.2. Marco conceptual .....	22
2.2.1. Caudal máximo .....	22
2.2.2. Simulación de caudales máximos .....	22
2.2.3. Diseño Hidrológico para alcantarillas .....	23
2.2.4. Diseño Hidráulico de alcantarillas .....	28
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>33</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>33</b>
3.1. Tipo de estudio .....	33
3.2. Nivel de estudio .....	33
3.3. Diseño del estudio .....	34
3.4. Población y muestra .....	34
3.4.1. Población.....	34
3.4.2. Muestra .....	34
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	34
3.5.1. Técnicas de recolección de datos .....	34
3.5.2. Instrumentos de recolección de datos.....	35
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>36</b>
<b>DESARROLLO DEL INFORME</b> .....	<b>36</b>
4.1. Modelamiento hidrológico para el diseño de alcantarillas.....	36
4.1.1. Parámetros geomorfológicos.....	36
4.1.2. Parámetros hidrológicos.....	40
4.1.3. Caudal modelado .....	45
4.2. Diseño hidráulico de alcantarilla .....	48
4.2.1. Alcantarilla 01 .....	48
4.2.2. Alcantarilla 02, 06 y 08 .....	51
4.2.3. Alcantarilla 03 y 04 .....	54

4.2.4. Alcantarilla 05 .....	57
4.2.5. Alcantarilla 07 .....	60
4.3. Discusiones .....	63
4.3.1. Modelamiento hidrológico para el diseño de alcantarillas .....	63
4.3.2. Diseño hidráulico de alcantarilla .....	64
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>66</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO N° 01: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO N° 02: PANEL FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO N° 03: PLANOS .....</b>	<b>76</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Forma de la cuenca de acuerdo al coeficiente de compacidad.....	24
Tabla 2. Número de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad $I = 0.2S$ ). .....	27
Tabla 3. Tipo de revestimiento y la velocidad recomendada. ....	30
Tabla 4. Velocidades máximas según el tipo de material. ....	31
Tabla 5. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica I. ....	36
Tabla 6. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica II. ....	37
Tabla 7. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica III. ....	37
Tabla 8. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica IV.....	37
Tabla 9. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica V.....	38
Tabla 10. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica VI.....	38
Tabla 11. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica VII.....	39
Tabla 12. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica VIII.....	39
Tabla 13. Curva IDF considerando la estación meteorológica Salcabamba. ...	40
Tabla 14. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 5 años. ....	41
Tabla 15. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 10 años. ....	42
Tabla 16. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 25 años. ....	43
Tabla 17. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años. ....	43
Tabla 18. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años. ....	44
Tabla 19. Resumen de caudales máximos en cada alcantarilla. ....	48
Tabla 20. Condiciones de diseño en la alcantarilla 01. ....	48
Tabla 21. Diámetro en la alcantarilla 01.....	49
Tabla 22. Cálculo de la sección de la alcantarilla en la alcantarilla 01.....	49
Tabla 23. Longitud la transición de entrada en la alcantarilla 01.....	49
Tabla 24. Longitud de la tubería en la alcantarilla 01.....	49
Tabla 25. Cálculo de la carga hidráulica en la alcantarilla 01. ....	50
Tabla 26. Cálculo de las perdidas en la alcantarilla 01. ....	50
Tabla 27. Verificación de las perdidas en la alcantarilla 01.....	50
Tabla 28. Cálculo total de las perdidas en la alcantarilla 01. ....	50
Tabla 29. Altura de cobertura en la alcantarilla 01. ....	51

Tabla 30. Longitud de protección de alcantarilla en la alcantarilla 01. ....	51
Tabla 31. Condiciones de diseño en la alcantarilla 02, 06 y 08.....	51
Tabla 32. Diámetro diseño en la alcantarilla 02, 06 y 08.....	52
Tabla 33. Cálculo de la sección de la alcantarilla 02, 06 y 08.....	52
Tabla 34. Longitud la transición de entrada en la alcantarilla 02, 06 y 08.....	52
Tabla 35. Longitud de la tubería en la alcantarilla 02, 06 y 08. ....	52
Tabla 36. Cálculo de la carga hidráulica en la alcantarilla 02, 06 y 08.....	53
Tabla 37. Cálculo de la carga hidráulica en la alcantarilla 02, 06 y 08.....	53
Tabla 38. Cálculo total de las perdidas en la alcantarilla 02, 06 y 08.....	53
Tabla 39. Verificación de las perdidas en la alcantarilla 02, 06 y 08.....	53
Tabla 40. Altura de cobertura en la alcantarilla 02, 06 y 08. ....	54
Tabla 41. Longitud de protección de alcantarilla en la alcantarilla 02, 06 y 08.	54
Tabla 42. Condiciones de diseño en la alcantarilla 03 y 04. ....	54
Tabla 43. Diámetro en la alcantarilla 03, 04.....	55
Tabla 44. Cálculo de la sección de la alcantarilla en la alcantarilla 03 y 04. ....	55
Tabla 45. Longitud la transición de entrada en la alcantarilla 03 y 04.....	55
Tabla 46. Longitud de la tubería en la alcantarilla 03 y 04.....	55
Tabla 47. Cálculo de la carga hidráulica en la alcantarilla 03 y 04.....	56
Tabla 48. Cálculo de las perdidas en la alcantarilla 03 y 04. ....	56
Tabla 49. Cálculo total de las perdidas en la alcantarilla 03 y 04.....	56
Tabla 50. Verificación de las perdidas en la alcantarilla 03, 04.....	56
Tabla 51. Cálculo de la altura de cobertura en la alcantarilla 03 y 04. ....	57
Tabla 52. Condiciones de diseño en la alcantarilla 05. ....	57
Tabla 53. Diámetro de la alcantarilla 05.....	58
Tabla 54. Cálculo de la sección de la alcantarilla en la alcantarilla 05.....	58
Tabla 55. Longitud la transición de entrada en la alcantarilla 05.....	58
Tabla 56. Longitud de la tubería en la alcantarilla 05.....	58
Tabla 57. Cálculo de la carga hidráulica en la alcantarilla 05. ....	59
Tabla 58. Cálculo de las perdidas en la alcantarilla 05. ....	59
Tabla 59. Cálculo total de las perdidas en la alcantarilla 05. ....	59
Tabla 60. Verificación de las perdidas en la alcantarilla 05.....	59
Tabla 61. Calculo de la altura de cobertura en la alcantarilla 05.....	60

Tabla 62. Longitud de protección de alcantarilla en la alcantarilla 05. ....	60
Tabla 63. Condiciones de diseño en la alcantarilla 07. ....	60
Tabla 64. Diámetro en la alcantarilla 07. ....	61
Tabla 65. Cálculo de la sección de la alcantarilla en la alcantarilla 07. ....	61
Tabla 66. Longitud la transición de entrada en la alcantarilla 07. ....	61
Tabla 67. Longitud de la tubería en la alcantarilla 07. ....	61
Tabla 68. Cálculo de la carga hidráulica en la alcantarilla 07. ....	62
Tabla 69. Cálculo de las perdidas en la alcantarilla 07. ....	62
Tabla 70. Cálculo total de las perdidas en la alcantarilla 07. ....	62
Tabla 71. Verificación de las perdidas en la alcantarilla 07. ....	62
Tabla 72. Altura de cobertura en la alcantarilla 07. ....	63
Tabla 73. Longitud de protección de alcantarilla en la alcantarilla 07. ....	63
Tabla 74. Precipitación máxima en 24 horas de acuerdo a la estación meteorológica Salcabamba. ....	71

## Índice de figuras

Figura 1. Croquis de la zona de trabajo. ....	17
Figura 2. Representación de la Intensidad – Duración – Frecuencia.....	40
Figura 3. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 5 años. ....	41
Figura 4. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 10 años. ....	42
Figura 5. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 25 años. ....	43
Figura 6. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años. ....	44
Figura 7. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años. ....	45
Figura 8. Caudales modelados para el periodo de retorno de 5 años.....	45
Figura 9. Caudales modelados para el periodo de retorno de 10 años.....	46
Figura 10. Caudales modelados para el periodo de retorno de 25 años.....	46
Figura 11. Caudales modelados para el periodo de retorno de 50 años.....	47
Figura 12. Caudales modelados para el periodo de retorno de 100 años.....	47

## Resumen

La investigación tiene como problema general: ¿Cuál es el modelamiento hidrológico e hidráulico de alcantarillas de alcantarillas en el tramo de la carretera puente Cucharán hasta Uyrumpi, Acoria - Huancavelica?, siendo el objetivo general: Realizar el modelamiento hidrológico e hidráulico de alcantarillas en el tramo de la carretera puente Cucharán hasta Uyrumpi, Acoria - Huancavelica.

El tipo de estudio fue aplicada, el nivel de estudio fue descriptivo y el diseño del estudio fue el no experimental. Para el modelamiento hidrológico fue necesario recolectar información de precipitación máxima en 24 y poder modelar el caudal máximo para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años; los cuales son aplicados para la simulación hidráulica en cada alcantarilla proyectada.

Los resultados obtenidos muestran que para un periodo de retorno de 50 años los caudales oscilan de 0.1 m<sup>3</sup>/s a 0.5 m<sup>3</sup>/s, por lo que el diámetro de las alcantarillas debe estar entre 24 y 36 pulgadas

Como conclusión principal es que el modelamiento hidrológico y el diseño hidráulico de alcantarilladas en el tramo de la carretera puente Cucharán hasta Uyrumpi, Acoria - Huancavelica, obteniéndose un total de ocho alcantarillas en todo el trayecto de la vía de estudio con diámetro variables en función del caudal máximo en un periodo de retorno de años.

**Palabras claves:** Alcantarilla, modelamiento hidrológico, diseño hidráulico, periodo de retorno, tiempo de concentración.

## **Abstract**

The research has as a general problem: What is the hydrological and hydraulic modeling of sewers in the section of the bridge Cucharán to Uyrumpi, Acoria - Huancavelica? The general objective: To carry out the hydrological and hydraulic modeling of sewers in the section of the bridge Cucharán to Uyrumpi, Acoria - Huancavelica.

The type of study was applied, the level of study was descriptive and the design of the study was non-experimental. For the hydrological modeling it was necessary to collect maximum precipitation information in 24 and be able to model the maximum flow for return periods of 5, 10, 25, 50 and 100 years; which are applied for hydraulic simulation in each alcanatrilla projected.

The results obtained show that for a return period of 50 years the flows range from 0.1 m<sup>3</sup>/s to 0.5 m<sup>3</sup>/s, so the diameter of the alkane must be between 24 and 36 inches.

The main conclusion is that the hydrological modeling and hydraulic design of sewers in the section of the Cucharán bridge road to Uyrumpi, Acoria - Huancavelica, obtaining a total of eight sewers along the entire path of the study with variable diameters depending on the maximum flow in a return period of years.

**Keywords:** Sewer, hydrological modeling, hydraulic design, return period, concentration time.

## Introducción

El presente informe técnico titulado “Modelamiento hidrológico e hidráulico de alcantarillas en el tramo de la carretera puente Cucharán hasta Uyrumpi, Acoria - Huancavelica”, evaluó los principales parámetros para realizar el modelamiento hidrológico en base a la precipitación máxima diaria que se da en la zona; para ello se usó la información proporcionada por la estación meteorológica Salcabamba.

Además, se consideró las características morfométricas de cada una de las unidades hidrográfica que generan escorrentía, a fin de obtener los caudales de diseño para un periodo de retorno de 50 años. Estos caudales fueron utilizados para el cálculo del diámetro de las tuberías siguiendo los parámetros de la hidráulica de fluidos.

Los resultados obtenidos muestran que, para las condiciones actuales de la zona de estudio es necesario alcantarillas con diámetros de 24 y 36 pulgadas. Esto con la finalidad de establecer una adecuada evacuación del agua e incrementar el tiempo de mantenimiento de la vía en estudio.

Para mayor comprensión se ha considerado los siguientes capítulos:

Capítulo I, concerniente al planteamiento del problema, donde especifica los problemas (tanto general y específicos) y los objetivos (general y específicos).

Capítulo II, el marco teórico, donde se ha considerado aspectos para la determinación del caudal máximo, características de las unidades hidrográficas, alcantarillas entre otros.

Capítulo III, la metodología considerando el tipo, el nivel, el diseño y las técnicas e instrumentos de recolección en el estudio.

Capítulo IV, el desarrollo del informe, donde se muestra los resultados y discusión.

Como parte final se tiene las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Problema**

#### **1.1.1. Problema general**

¿Cuál es el modelamiento hidrológico e hidráulico de alcantarillas de alcantarillas en el tramo de la carretera puente Cucharán hasta Uyrumpi, Acoria - Huancavelica?

#### **1.1.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cuál es el modelamiento hidrológico para el diseño de alcantarillas en el tramo de la carretera puente Cucharán hasta Uyrumpi, Acoria - Huancavelica?
- b) ¿Cuál es diseño hidráulico de alcantarillas en el tramo de la carretera puente Cucharán hasta Uyrumpi, Acoria - Huancavelica?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Realizar el modelamiento hidrológico e hidráulico de alcantarillas en el tramo de la carretera puente Cucharán hasta Uyrumpi, Acoria - Huancavelica.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar el modelamiento hidrológico para el diseño de alcantarillas en el tramo de la carretera puente Cucharán hasta Uyrumpi, Acoria - Huancavelica.
- b) Determinar el diseño hidráulico de alcantarillas en el tramo de la carretera puente Cucharán hasta Uyrumpi, Acoria - Huancavelica.

## **1.3. Justificación**

**Justificación práctica.** Con el presente informe se pretende determinar una estimación adecuada del proceso hidrológico en la zona de estudio y su posterior diseño de las obras de arte que son capaces de coadyuvar a una serviciabilidad adecuada a la carretera brindando transitabilidad e impidiendo que la vía no se vea perjudicada ante la ocurrencia de fenómenos naturales.

**Justificación metodológica.** El presente informe propone un procedimiento para el análisis hidrológico, además del criterio de diseño de alcantarillas en una carretera.

## **1.4. Delimitación**

### **1.4.1. Delimitación espacial**

El proyecto se ha desarrollado en la carretera cruce Carretera Central - Puente Cucharan - Huari - Alianza Andino - Paccti - Uyrumpi, distrito de Acoria, provincia de Huancavelica - Huancavelica.

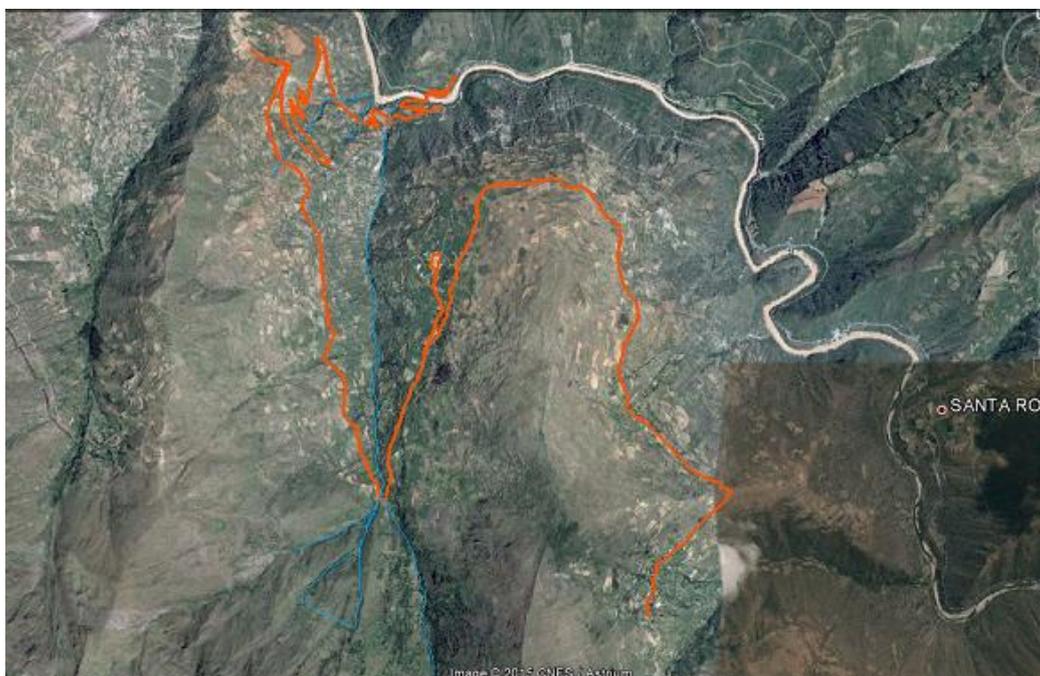


Figura 1. Croquis de la zona de trabajo.

#### **1.4.2. Delimitación temporal.**

El proyecto se ha desarrollado durante el periodo comprendido durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2019.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **Internacional**

Gencel (2013) en su investigación “Diseño mejorado de alcantarillas de drenaje pluvial en carreteras” pretendió implementar una novedosa propuesta que cumple con ser resistente al daño del terraplén y que permita el paso de agua sobre la carretera cuando supere su capacidad.

Los resultados demostraron que el método propuesto puede usarse y ser efectivo para mejorar el diseño de las alcantarillas.

Concluyo que, fue posible el aumento de la capacidad de las alcantarillas usando la solución propuesta en la investigación. En el tramo del perfil longitudinal de la carretera tiene que presentar facilidad para el vertimiento que crea una depresión de longitud suficiente y con suficiente diferencia de alturas para que actúe como un vertedero de umbral ancho.

Cely & Betancurt (2018) en su investigación "Modelo computacional de alcantarillas existentes para vías con bajos volúmenes de tránsito" propusieron solucionar una problemática palpable del municipio de Girardot, en donde el mal funcionamiento de los sistemas de alcantarillado en las vías terciarias reside en el adimensionamiento y la falta de mantenimiento de las obras de drenaje pluvial. Plantean posibles soluciones para evaluar el estado actual de 2 alcantarillas existentes ubicadas en la vereda Agua Blanca y la urbanización Solaris y realizan una estimación con la finalidad de verificar las condiciones en la que están. Implementaron un modelo computacional a través de un software libre (HY-8) en la región ya que trabaja específicamente con el análisis y la evaluación de sistemas de alcantarillados, permitiéndoles identificar el nivel crítico del funcionamiento hidráulico de los canales.

La simulación arrojó como resultados los niveles de caudales hidráulicos que estima al momento de dar las especificaciones de diseño.

Concluyo que el software HY-8 permitió identificar el estado actual y funcionalidad de dos sistemas de alcantarillado los cuales presentaron unos análisis arrojados por el programa.

Álvarez & Calle (2013) realizó la investigación "Estudio de parámetros hidráulicos e hidrológicos para el dimensionamiento de obras para drenaje vial en la vía de acceso al sector "La Union" en Santa Isabel-Azuay" en la que mostró todos los parámetros y cálculos necesarios de un estudio hidrológico e hidráulico para el diseño de un puente, alcantarillas y cunetas. Los métodos que aplicaron fueron manejo de control de calidad de información disponible, aplicaciones de métodos computacionales como Hec-Ras.

Según los resultados los diseños para periodos de retorno de 25 años (cunetas y alcantarillas) y de 100 años (puentes), permitió que la obra sea confiable y estuviera dentro de las restricciones de seguridad para cuando suceda un evento de crecida extremo.

En conclusión, el dimensionamiento para el río Llaushiri de estudio no considero en su diseño un evento de crecida de un periodo de retorno de 100 años, por lo que es posible que se produzca un desborde del cauce. Para el puente del río Chantaco, tiene una buena sección de canal y no tendría problemas de inundaciones, mientras que las altas velocidades provocan transporte de materiales, sedimentación y socavación.

### **Nacional**

Chavarria (2015) en su investigación "Evaluación de las estructuras de drenaje superficial de la carretera Paria-Wilcahuain-Yanacancha Km 8+500 al Km 11+770, 2014" estudió los problemas de drenaje superficial de la carretera Paria-Wilcahuain-Yanacancha. Hizo reconocimientos de la zona de estudios, verificación de la ubicación y toma de las características topográficas, estado físico e hidráulico de las estructuras de drenaje superficial. También realizó la delimitación de las áreas aportantes al drenaje superficial de la carretera, cálculo de las áreas de aporte, longitud y pendiente de los cauces principales. Realizó estudios hidrológicos para obtener los caudales.

Los resultados determinaron que existe un sub dimensionamiento en las 4 alcantarillas de mampostería ubicadas en el km 9+200, km 9+ 355, km 9+780 y km 11 +545.

En conclusión, propuso que las alcantarillas de mampostería fueran cambiadas a alcantarillas de concreto. Las cunetas del km 10+320 al 10+560, 10+560 al 10+870 y 10+870 al 11+410 no cumplen con el dimensionamiento por lo que deberán proyectar alcantarillas de alivio de sección 0.6x0.6 m en los km 10+420, km 10+710 y km 11+ 100.

Santos (2011) en su investigación “Diseño geométrico y de alcantarilla de la carretera Shamboyacu-Lejia-Provincia de Picota” realizó el proyecto de diseño geométrico de la vía, este comprende un diseño del eje de planta, del perfil longitudinal, de secciones transversales y señalización. Con respecto a la parte hidráulica, determinó inicialmente los caudales mediante el método directo o de aforo, métodos experimentales, métodos racionales y métodos Empíricos.

Según los resultados, el suelo se consideró como terreno de fundación de categoría regular a malo, el CBR tiene un mínimo de 8.2 y un máximo de 32.0. El proyecto cumple con seguridad economía y estética. La zona de estudio es perfecta para realizar prácticas de desarrollo sostenible.

Concluyo que la construcción y posterior funcionamiento de la carretera incrementará el potencial turístico y mejorará los servicios de los pueblos aledaños. Los impactos positivos se verán en la fase de funcionamiento de la vía.

Zuloeta (2018) en su investigación “Propuesta de planeamiento según guía PMBOK para la construcción de alcantarillas de gran luz en carreteras de la región Moquegua 2018” elaboró una propuesta de planeamiento, que sirva de guía para abordar el proyecto “construcción de alcantarillas de Gran Luz”. Para la realización de la investigación tomó como modelo la guía PMBOK (Project

Management Body of knowledge). La investigación la hizo en base a los Procesos de Planificación de la Guía PMBOK y cómo aplicarlo en un caso específico.

Como resultado obtuvo una data de información del proyecto, que le permitió tener un mejor control sobre el mismo.

En conclusión, la metodología permitió recopilar información necesaria para tener un panorama claro de las necesidades del proyecto. Al contar con una guía de planeamiento brindará de una manera ordenada y sencilla el desarrollo del proyecto, y sobre todo conocer los riesgos, el capital que requerirá, los equipos, la mano de obra y todas las cosas de tal manera que el proyecto logré tener éxito.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Caudal máximo**

“El caudal máximo es el caudal más alto que llega a desbordar el cauce normal de un río, y su cálculo se describen con sus elevaciones y volúmenes. La importancia de su uso es para el diseño hidrológico de diferentes estructuras con la finalidad de prever futuros daños la mencionada infraestructura” (Chow, 1994).

### **2.2.2. Simulación de caudales máximos**

Hasta la fecha los modelos encargados del modelamiento hidrológico han basado su simulación en modelos determinísticos de lluvia - escorrentía

“Hasta la actualidad se ha desarrollado una gran gama de modelos determinísticos de simulación hidrológica, tanto como lluvia – escorrentía o o simulación continua como lo realiza el programa HEC-HMS desarrollado por

United States Army Corps of Engineers que da la estimación inicial de lluvia escorrentía, mediante modelos como el "Muskingum, Pulse Method" (Bateman, 2007).

### 2.2.3. Diseño Hidrológico para alcantarillas

#### Morfometría de cuencas hidrográficas

Según Linsley et al. (2003) la respuesta hidrológica de una cuenca o unidad hidrográfica depende de las características de la misma; en este contexto es importante conocer los parámetros que determinan la morfometría de una cuenca.

Parámetros físicos de la forma de la cuenca:

- Área (km<sup>2</sup>)
- Perímetro (km)
- Longitud de cauce más largo (km)
- Ancho promedio:

$$\text{Ancho promedio} = \frac{\text{Área}}{\text{Longitud de cauce más largo}}$$

- Factor de forma de Horton (Kf):

$$Kf = \frac{\text{Área}}{\text{Perímetro}^2}$$

- Coeficiente de compacidad (kc):

$$kc = \frac{P}{Pc} = \frac{P}{2\pi R}$$

En la que, P es el perímetro de la cuenca, Pc es el perímetro de la circunferencia y R es el radio de la circunferencia.

Otro aspecto importante es poder determinar la forma de la cuenca, la cual se determina en base a la siguiente tabla:

Tabla 1. Forma de la cuenca de acuerdo al coeficiente de compacidad.

Clase de forma	Coeficiente de compacidad	Forma de la cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval - redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval - redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 o más de 2	Oval - oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Lux (2012).

- Cota mínima.
- Cota máxima.
- Densidad de drenaje (Dd):

$$Dd = \frac{\text{Longitud del cauce}}{\text{Área}}$$

- Pendiente del cauce.
- Altitud media.

### **Curva Intensidad – Duración – Frecuencia**

La mejor forma para asociar la intensidad con la duración de un precipitación son las curvas IDF , con la que además de cuantificar la profundidad de lámina de la precipitación, también se puede predecir su comportamiento a diferentes periodos de retorno (Bateman, 2007).

De acuerdo a Fattorelli y Fernández (2011), la distribución más utilizada para clacular las curvas IDF es el de una distribución de valores extremos tipo I o tipo Gumbel; para lo cual se utiliza las siguientes fórmulas:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{n} S$$

$$u = \bar{x} - 0.5772\alpha$$

$$F(x) = e^{e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

### **Tiempo de concentración**

De acuerdo a Ibáñez, Moreno y Gisbert (2015) es el mínimo tiempo para desde el extremos más lejano de la cuenca aporte agua de forma simultánea al punto de desembocadura; asimismo representa el tiempo en que el cauda la unidad hidrológica puede considerarse como constante (Ibáñez, Moreno y Gisbert, 2015).

Para la estimación del tiempo de concentración se pueden considerar varios métodos propuesto por diferentes autores; sin embargo, de acuerdo al método SCS, la estimación de su valor resulta más eficiente mediante la fórmula planteada por Kirpich, y cuya fórmula se muestra a continuación

$$T = 0.02 L^{0.77} S^{-0.385}$$

Dónde: T es el tiempo de concentración en minutos, L es la longitud máxima a la salida en metros y S es la pendiente del cauce en m/m.

### **Hietograma de diseño: método del bloque alterno**

La manera más simple para obtener los hietogramas a partir de las curvas IDF es la aplicación de método del bloque alterno, este método logra determinar la profundidad de la precipitación a diferentes intervalos de tiempo.

Para el desarrollo del método de bloque alterno, se debe elegir un periodo de diseño de las curvas IDF para las diferentes duraciones ( $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$ ,  $4\Delta t$ ).

Tomando las diferencias entre valores de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo  $\Delta t$ , estos aumentos o bloques se ordenan en base a una secuencia temporal de tal modo que la intensidad máxima se encuentre en el centro del Hietograma en el tiempo requerido ( $T_d$ ), mientras que los demás bloques queden en orden descendente tanto hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque, formando de esta manera el hietograma de diseño (MTC, 2008).

### **Número curva**

Es la metodología más utilizada para transformar la precipitación en escurrimiento. Esta metodología se basa principalmente en los usos del suelo y para su cálculo se consideran las siguientes variables (Lavao y Corredor, 2014):

- La precipitación, representada por la precipitación para un periodo de tiempo determinado.
- La complejidad del suelo – hidrología que considera la interrelación suelo – cobertura vegetal.
- La condición de humedad antecedente.

El valor de la curva número (N) están comprendidos entre 0 y 100, y se obtiene de resolver la siguiente ecuación:

$$s = \frac{100}{CN} - 10$$

Dónde: CN es el número de curva y S es la diferencia potencial máxima entre la precipitación y el caudal en una hora iniciada la tormenta representando proporcionalmente la pérdida de escurrimiento por infiltración, interceptación y almacenamiento superficial.

Tabla 2. Número de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad I = 0.2S).

Descripción del uso de tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada: sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
con tratamiento 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 <sup>1</sup>	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 <sup>2</sup> :				
Tamaño promedio del lote				
Porcentaje promedio impermeable <sup>3</sup>				
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>4</sup>	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>4</sup>	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

Fuente: Chow (1994).

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

2 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 de agua del techo dirigida hacia el césped donde puede infiltración adicional.

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

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

#### **2.2.4. Diseño Hidráulico de alcantarillas**

La alcantarilla es una estructura cuya luz es menor a 6.0 m y su función principal es evacuar aguas que provienen de cursos naturales o artificiales que cruzan una carretera; asimismo, la cantidad de las alcantarillas en un proyecto inciden considerablemente en el costo, por lo que resulta muy importante una correcta elección para su ubicación. Una adecuada ubicación de las alcantarillas depende de su alineamiento y pendiente, pues la variación de esta última incide directamente en la velocidad del flujo y por ende en la capacidad de transporte de materiales en suspensión (MTC, 2008).

##### **Ubicación en planta**

La mejor ubicación en planta de una alcantarilla es la que sigue la dirección de la corriente natural del cauce, pero también puede desplazarse, lo que implica el acondicionamiento del nuevo eje del cauce, con la construcción de obras de encauzamiento (MTC, 2008).

##### **Pendiente longitudinal**

La pendiente ideal en una alcantarilla es la que no altere drásticamente procesos geomorfológicos como la erosión y sedimentación; la pendiente longitudinal de la alcantarilla debe ser tal que no altere desmesuradamente los procesos geomorfológicos, como la erosión y sedimentación (MTC, 2008).

##### **Tipo de alcantarilla**

###### **a) Tipo y sección**

Comúnmente las alcantarillas más utilizadas son de marco de concreto, tuberías metálicas corrugadas, de concreto y de polietileno de alta densidad; en

vías de alto volumen de tránsito y por necesidad de limpieza, se debe adoptar una sección mínima de 0.90 m de diámetro o su equivalente en otra sección. Es importante instalar alcantarillas permanentes con un tamaño lo suficientemente grande como para desalojar las avenidas de diseño más los escombros que se puedan anticipar. Para el proceso constructivo de alcantarillas de tubos múltiples, se recomienda una separación entre ellas, tal que facilite la compactación del material que sirve de relleno igual a la mitad del diámetro de la tubería (MTC, 2008).

### **b) Materiales**

Es complicado dar una referencia exacta del material adecuado para la construcción de una alcantarilla, sin embargo, para elegirlo debemos tener en cuenta el tiempo de vida útil, costo, resistencia, rugosidad, etc. (MTC, 2008).

### **Recomendaciones y factores a tomar en cuenta para el diseño de una alcantarilla**

Para el diseño adecuado de una alcantarilla se debe considerar:

- Utilizar el período de retorno para el diseño.
- La alcantarilla debe asegurar impermeabilidad, para asegurar la estabilidad de la carretera frente a posibles asentamientos.

Asimismo, dentro de los factores se mencionan los siguientes:

- Factores físicos y estructurales: la durabilidad, altura de relleno disponible para la colocación de la alcantarilla, cargas actuantes sobre la alcantarilla y calidad y tipo de terreno existente.

- Factores hidráulicos: el caudal de diseño, pendiente del cauce, velocidad de flujo, material de arrastre, pendiente de la alcantarilla y rugosidad del conducto.

### Diseño hidráulico

Para establecer las dimensiones mínimas de la sección de una alcantarilla, debe considerarse lo establecido por la fórmula de Manning para canales abiertos y tuberías, basada en las siguientes ecuaciones:

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

$$R = A/P$$

$$Q = VA$$

Dónde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s).

V: velocidad media de flujo (m/s).

A: área de la sección hidráulica (m<sup>2</sup>).

P: perímetro mojado (m).

R: radio hidráulico (m).

S: pendiente de fondo (m/m).

N: coeficiente de Manning.

Una vez determinado los valores, es necesario verificar la velocidad máxima del flujo con respecto a la siguiente tabla:

Tabla 3. Tipo de revestimiento y la velocidad recomendada.

Tipo de revestimiento	Velocidad (m/s)
Concreto	3.0 - 6.0
Ladrillo con concreto	2.5 - 3.5
Mampostería de piedra y concreto	2.0

Fuente: MTC (2008).

También se debe verificar la velocidad mínima del flujo, la cual no debe ser menor a 0.25 m/s; además de debe tener en cuenta la velocidad a la salida de la alcantarilla a fin de evitar procesos de socavación (MTC, 2008).

A continuación, se presenta una tabla con valores máximos admisibles de velocidades de flujo según el tipo de material donde se desplaza.

Tabla 4. Velocidades máximas según el tipo de material.

Tipo de terreno	Flujo intermitente	Flujo permanente
Arena fina (no coloidal)	0.75	0.75
Arcilla arenosa (no coloidal)	0.75	0.75
Arcilla limosa (no coloidal)	0.9	0.9
Arcilla fina	1	1
Ceniza volcánica	1.2	1
Grava fina	1.5	1.2
Arcilla dura (coloidal)	1.8	1.4
Material graduado (no coloidal)		
Desde arcilla a grava	2	1.5
Desde limo a grava	2.1	1.7
Grava	2.3	1.8
Grava gruesa	2.4	2
Desde grava a piedras (>20 cm)	2.7	2.1
Desde grava a piedras (<15 cm)	3	2.4

Fuente: MTC (2008).

### Consideraciones para el diseño

**Borde libre.** - Las alcantarillas no deben ser diseñadas a tubería llena, pues incrementa su riesgo a obstrucción, afectando su capacidad hidráulica. Se recomienda que el diseño hidráulico considere como mínimo el 25 % de la altura, diámetro o flecha de la estructura (MTC, 2008).

**Socavación local a la salida de la alcantarilla.** - Si la velocidad de salida es alta, puede producir socavaciones que afecten su estabilidad, siendo necesario una protección del cauce natural mediante emboquillados de piedra (MTC,

2008). Se presenta la fórmula de Laushey para calcular el diámetro medio de elementos de protección a la salida de alcantarillas según la velocidad del flujo.

$$d_{50} = \frac{V^2}{(3.1g)}$$

Dónde:  $d_{50}$ : diámetro medio de los elementos de protección (m),  $V$ : velocidad media del flujo a la salida de la alcantarilla (m/s),  $g$ : aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo de estudio**

El estudio corresponde al tipo aplicado pues según Hernández, Fernández, & Baptista (2014) el presente informe considera teorías existentes; tal es el caso como el de la distribución de Gumbel para la obtención de curvas IDF, la curva número para la generación de lluvia a escorrentía y la ecuación de Manning para el diseño de estructuras hidráulicas; para solucionar problemas reales.

#### **3.2. Nivel de estudio**

El nivel del estudio es descriptivo puesto que según Hernández et al. (2014), al fenómeno en estudio se le describen sus principales características con la finalidad de proponer estrategias y aspectos fundamentales.

Con base a lo anterior el presente informe describe específicamente el correcto cálculo hidrológico y diseño hidráulico en carreteras, debido a la gran importancia que tienen para permitir la transitabilidad de vehículos en épocas de lluvias.

### **3.3. Diseño del estudio**

El diseño del estudio por el que se guía este informe técnico es no experimental de corte transversal pues según Bernal (2006), este tipo de diseño no realizan manipulación de variables y además la toma de información se realiza en un solo momento.

### **3.4. Población y muestra**

#### **3.4.1. Población**

La población considerada en el presente trabajo corresponde a todas las alcantarillas ubicadas en el I cruce de la carretera Central - puente Cucharán-Huari – Alianza Andino – Paccti – Uyrumpi, Distrito de Acoria, Provicnia y departamento de Huancavelica.

#### **3.4.2. Muestra**

El tipo de muestreo fue el no probabilístico o intencional, siendo la muestra 08 alcantarillas del tramo Huari – Uyrumpi, Distrito de Acoria, Provicnia y departamento de Huancavelica.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.5.1. Técnicas de recolección de datos**

Las técnicas para la recolección de datos en el presente informe fueron el análisis documental de diversas bibliografías, la observación en campo de la situación actual de la zona de estudio y la entrevista no estructurada con los pobladores de las comunidades aledañas al proyecto a fin de determinar las posibles ubicaciones de las alcantarillas.

El principal instrumento de recolección de datos fue las fichas de campo en la que se anotaron las principales características de las obras de arte existente en la zona del proyecto.

### **3.5.2. Instrumentos de recolección de datos**

El instrumento de recolección de datos consistió en el uso de equipos de ingeniería como la estación total, el nivel de ingeniero y fichas de levantamiento topográfico. Para la recolección de la información pluviométrica se solicitó al SENAMHI.

## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO DEL INFORME

#### 4.1. Modelamiento hidrológico para el diseño de alcantarillas

##### 4.1.1. Parámetros geomorfológicos

Tabla 5. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica I.

Parámetros	Valores
Área (km <sup>2</sup> )	0.01
Perímetro (km)	0.41
Ancho promedio (km)	0.02
Factor de forma de Horton (Kf)	0.06
Coefficiente de compacidad (kc)	1.16
Cota mínima (msnm)	2875.00
Cota máxima (msnm)	2975.00
Altitud media (msnm)	2925.00

En la tabla se especifica los parámetros geomorfológicos considerados de la unidad hidrográfica I la misma que irriga a la alcantarilla I. Mientras más alto sea el factor de Horton mayor posibilidad de tener una tormenta intensa. Si el coeficiente de compacidad es mayor a 1 reduce las posibilidades que la cuenca sea cubierta por una tormenta en su totalidad.

Tabla 6. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica II.

Parámetros	Valores
Área (km <sup>2</sup> )	0.07
Perímetro (km)	1.11
Ancho promedio (km)	0.06
Factor de forma de Horton (Kf)	0.06
Coefficiente de compacidad (kc)	1.18
Cota mínima (msnm)	2925.00
Cota máxima (msnm)	3100.00
Altitud media (msnm)	3012.50

En la tabla se especifica los parámetros geomorfológicos considerados de la unidad hidrográfica II la misma que irriga a la alcantarilla II. Mientras más alto sea el factor de Horton mayor posibilidad de tener una tormenta intensa. Si el coeficiente de compacidad es mayor a 1 reduce las posibilidades que la cuenca sea cubierta por una tormenta en su totalidad.

Tabla 7. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica III.

Parámetros	Valores
Área (km <sup>2</sup> )	0.06
Perímetro (km)	1.06
Ancho promedio (km)	0.06
Factor de forma de Horton (Kf)	0.05
Coefficiente de compacidad (kc)	1.22
Cota mínima (msnm)	2950.00
Cota máxima (msnm)	3100.00
Altitud media (msnm)	3025.00

En la tabla se especifica los parámetros geomorfológicos considerados de la unidad hidrográfica III la misma que irriga a la alcantarilla III. Mientras más alto sea el factor de Horton mayor posibilidad de tener una tormenta intensa. Si el coeficiente de compacidad es mayor a 1 reduce las posibilidades que la cuenca sea cubierta por una tormenta en su totalidad.

Tabla 8. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica IV.

Parámetros	Valores
Área (km <sup>2</sup> )	0.06
Perímetro (km)	0.99
Ancho promedio (km)	0.06
Factor de forma de Horton (Kf)	0.06
Coefficiente de compacidad (kc)	1.19
Cota mínima (msnm)	2975.00

Cota máxima (msnm)	3100.00
Altitud media (msnm)	3037.50

En la tabla se especifica los parámetros geomorfológicos considerados de la unidad hidrográfica IV la misma que irriga a la alcantarilla IV. Mientras más alto sea el factor de Horton mayor posibilidad de tener una tormenta intensa. Si el coeficiente de compacidad es mayor a 1 reduce las posibilidades que la cuenca sea cubierta por una tormenta en su totalidad.

Tabla 9. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica V.

Parámetros	Valores
Área (km <sup>2</sup> )	0.03
Perímetro (km)	0.82
Ancho promedio (km)	0.04
Factor de forma de Horton (Kf)	0.04
Coeficiente de compacidad (kc)	1.34
Cota mínima (msnm)	3000.00
Cota máxima (msnm)	3120.00
Altitud media (msnm)	3060.00

En la tabla se especifica los parámetros geomorfológicos considerados de la unidad hidrográfica V la misma que irriga a la alcantarilla V. Mientras más alto sea el factor de Horton mayor posibilidad de tener una tormenta intensa. Si el coeficiente de compacidad es mayor a 1 reduce las posibilidades que la cuenca sea cubierta por una tormenta en su totalidad.

Tabla 10. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica VI.

Parámetros	Valores
Área (km <sup>2</sup> )	0.27
Perímetro (km)	1.98
Ancho promedio (km)	0.14
Factor de forma de Horton (Kf)	0.07
Coeficiente de compacidad (kc)	1.07
Cota mínima (msnm)	3200.00
Cota máxima (msnm)	3710.00
Altitud media (msnm)	3455.00

En la tabla se especifica los parámetros geomorfológicos considerados de la unidad hidrográfica VI la misma que irriga a la alcantarilla VI. Mientras más alto

sea el factor de Horton mayor posibilidad de tener una tormenta intensa. Si el coeficiente de compacidad es mayor a 1 reduce las posibilidades que la cuenca sea cubierta por una tormenta en su totalidad.

Tabla 11. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica VII.

Parámetros	Valores
Área (km <sup>2</sup> )	0.11
Perímetro (km)	1.30
Ancho promedio (km)	0.08
Factor de forma de Horton (Kf)	0.07
Coeficiente de compacidad (kc)	1.11
Cota mínima (msnm)	3150.00
Cota máxima (msnm)	3500.00
Altitud media (msnm)	3325.00

En la tabla se especifica los parámetros geomorfológicos considerados de la unidad hidrográfica VII la misma que irriga a la alcantarilla VII. Mientras más alto sea el factor de Horton mayor posibilidad de tener una tormenta intensa. Si el coeficiente de compacidad es mayor a 1 reduce las posibilidades que la cuenca sea cubierta por una tormenta en su totalidad.

Tabla 12. Parámetros geomorfológicos de la unidad hidrográfica VIII.

Parámetros	Valores
Área (km <sup>2</sup> )	0.07
Perímetro (km)	1.49
Ancho promedio (km)	0.05
Factor de forma de Horton (Kf)	0.03
Coeficiente de compacidad (kc)	1.59
Cota mínima (msnm)	3450.00
Cota máxima (msnm)	3550.00
Altitud media (msnm)	3500.00

En la tabla se especifica los parámetros geomorfológicos considerados de la unidad hidrográfica VIII la misma que irriga a la alcantarilla VIII. Con estos valores se diseñará la alcantarilla VIII.

## 4.1.2. Parámetros hidrológicos

### Curva IDF

Tabla 13. Curva IDF considerando la estación meteorológica Salcabamba.

Frecuencia en años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
5	49.4	32.2	25.0	20.9	18.2	16.3	14.8	13.6	12.7	11.9	11.2	10.6
10	58.1	37.9	29.4	24.6	21.5	19.2	17.4	16.0	14.9	14.0	13.2	12.5
25	72.1	47.0	36.5	30.6	26.6	23.8	21.6	19.9	18.5	17.3	16.3	15.5
50	84.9	55.3	43.0	36.0	31.3	28.0	25.4	23.4	21.8	20.4	19.2	18.2
100	99.9	65.0	50.6	42.3	36.9	32.9	29.9	27.6	25.6	24.0	22.6	21.4

En la tabla se consigna los valores referentes a la precipitación según duración y su frecuencia de ocurrencia para la generación de la curva IDF. El conocimiento de la intensidad de la lluvia es muy importante para el diseño de estructuras hidráulicas.

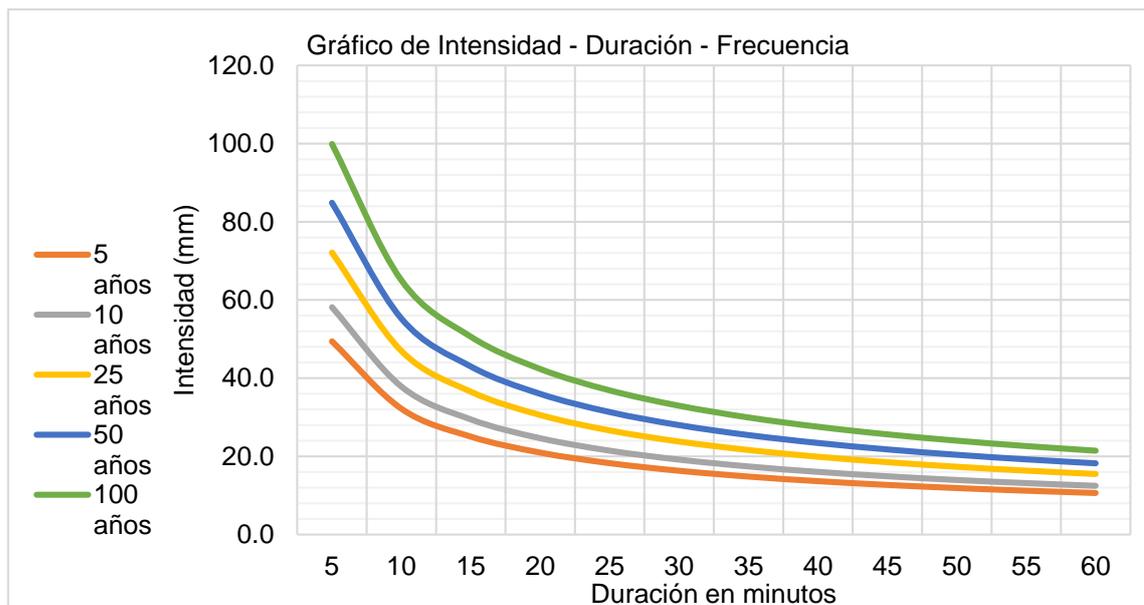


Figura 2. Representación de la Intensidad – Duración – Frecuencia.

La figura representa las curvas IDF para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años. Valores necesarios para los hietogramas de diseño.

## Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 5 años

Tabla 14. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 5 años.

Duración (min)	Intensidad (mm/hr)	P. acumulada (mm)	Profundidad incremental	Profundidad ordenada	Tiempo (min)		Precipitación
					De	A	
2	87.13	2.90	2.90	2.90	0	2	0.26
4	56.72	3.78	0.88	0.88	2	4	0.29
6	44.13	4.41	0.63	0.63	4	6	0.35
8	36.93	4.92	0.51	0.51	6	8	0.44
10	32.16	5.36	0.44	0.44	8	10	0.63
12	28.73	5.75	0.39	0.39	10	12	2.90
14	26.11	6.09	0.35	0.35	12	14	0.88
16	24.04	6.41	0.32	0.32	14	16	0.51
18	22.35	6.70	0.29	0.29	16	18	0.39
20	20.94	6.98	0.27	0.27	18	20	0.32
22	19.74	7.24	0.26	0.26	20	22	0.27
24	18.70	7.48	0.24	0.24	22	24	0.24

En la tabla se muestra el hietograma de diseño considerando un periodo de retorno de 5 años. Valores necesarios para calcular el caudal moderado.

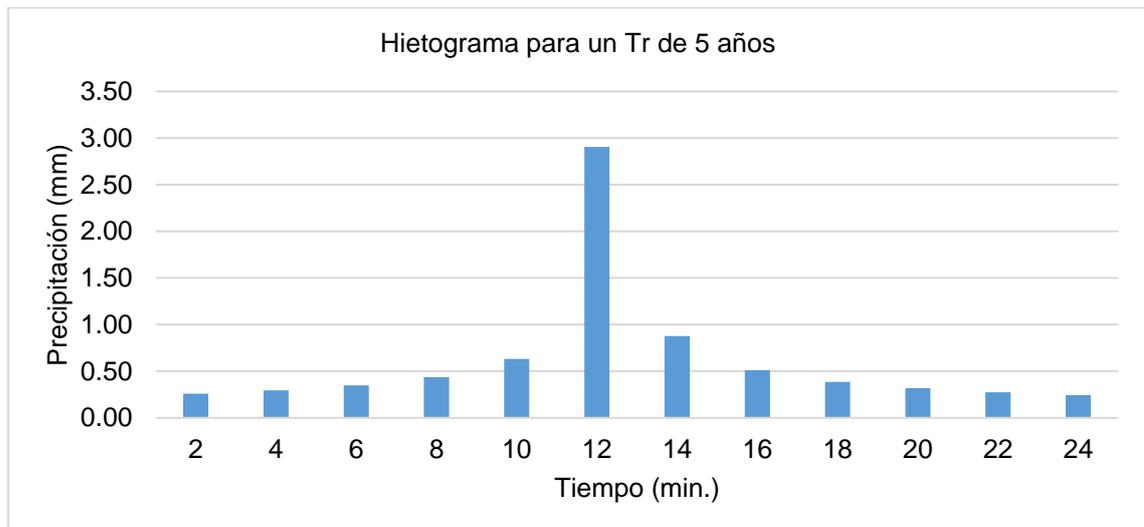


Figura 3. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 5 años.

La figura representa el hietograma de diseño considerando un periodo de retorno de 5 años. Valores necesarios para calcular el caudal moderado.

Tabla 15. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 10 años.

Duración (min)	Intensidad (mm/hr)	P. acumulada (mm)	Profundidad incremental	Profundidad ordenada	Tiempo (min)		Precipitación
					De	A	
2	102.55	3.42	3.42	3.42	0	2	0.30
4	66.76	4.45	1.03	1.03	2	4	0.35
6	51.94	5.19	0.74	0.74	4	6	0.41
8	43.46	5.79	0.60	0.60	6	8	0.51
10	37.85	6.31	0.51	0.51	8	10	0.74
12	33.81	6.76	0.45	0.45	10	12	3.42
14	30.73	7.17	0.41	0.41	12	14	1.03
16	28.29	7.55	0.37	0.37	14	16	0.60
18	26.30	7.89	0.35	0.35	16	18	0.45
20	24.64	8.21	0.32	0.32	18	20	0.37
22	23.23	8.52	0.30	0.30	20	22	0.32
24	22.01	8.80	0.29	0.29	22	24	0.29

En la tabla se muestra el hietograma de diseño considerando un periodo de retorno de 10 años. Valores necesarios para calcular el caudal moderado.

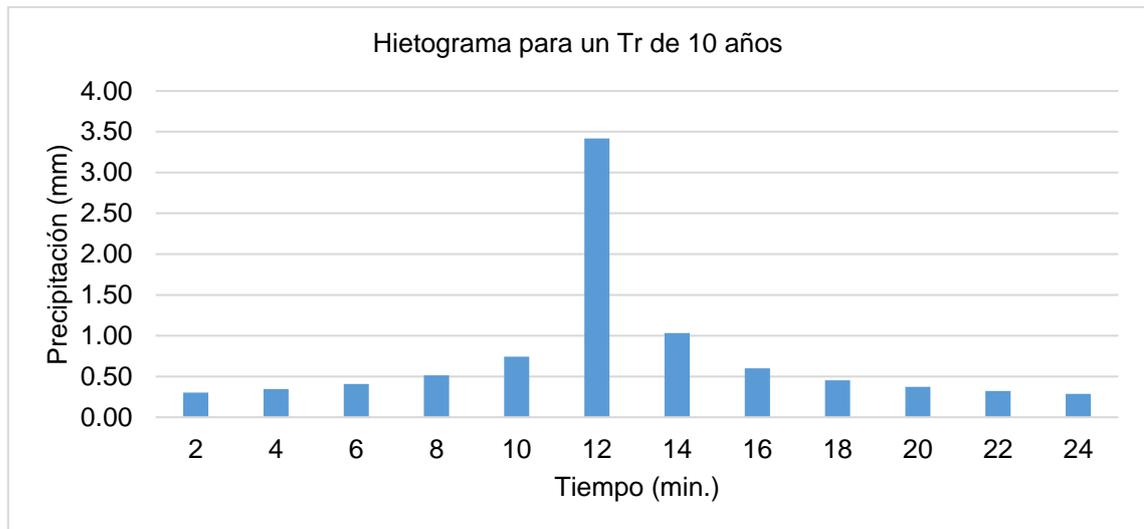


Figura 4. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 10 años.

La figura representa el hietograma de diseño considerando un periodo de retorno de 10 años. Valores necesarios para calcular el caudal moderado.

Tabla 16. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 25 años.

Duración (min)	Intensidad (mm/hr)	P. acumulada (mm)	Profundidad incremental	Profundidad ordenada	Tiempo (min)		Precipitación
					De	A	
2	127.20	4.24	4.24	4.24	0	2	0.38
4	82.81	5.52	1.28	1.28	2	4	0.43
6	64.42	6.44	0.92	0.92	4	6	0.51
8	53.91	7.19	0.75	0.75	6	8	0.64
10	46.95	7.83	0.64	0.64	8	10	0.92
12	41.94	8.39	0.56	0.56	10	12	4.24
14	38.12	8.89	0.51	0.51	12	14	1.28
16	35.09	9.36	0.46	0.46	14	16	0.75
18	32.63	9.79	0.43	0.43	16	18	0.56
20	30.57	10.19	0.40	0.40	18	20	0.46
22	28.81	10.56	0.38	0.38	20	22	0.40
24	27.30	10.92	0.36	0.36	22	24	0.36

En la tabla se muestra el hietograma de diseño considerando un periodo de retorno de 25 años. Valores necesarios para calcular el caudal moderado.

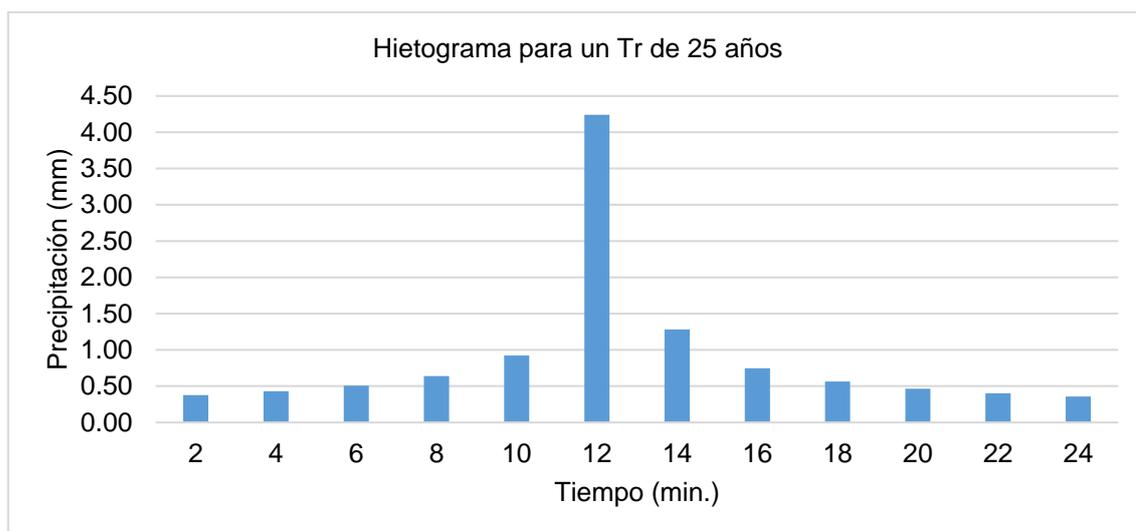


Figura 5. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 25 años.

La figura representa el hietograma de diseño considerando un periodo de retorno de 25 años. Valores necesarios para calcular el caudal moderado.

Tabla 17. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años.

Duración (min)	Intensidad (mm/hr)	P. acumulada (mm)	Profundidad incremental	Profundidad ordenada	Tiempo (min)		Precipitación
					De	A	
2	149.71	4.99	4.99	4.99	0	2	0.44
4	97.46	6.50	1.51	1.51	2	4	0.51

6	75.82	7.58	1.08	1.08	4	6	0.60
8	63.45	8.46	0.88	0.88	6	8	0.75
10	55.26	9.21	0.75	0.75	8	10	1.08
12	49.36	9.87	0.66	0.66	10	12	4.99
14	44.87	10.47	0.60	0.60	12	14	1.51
16	41.31	11.01	0.55	0.55	14	16	0.88
18	38.40	11.52	0.51	0.51	16	18	0.66
20	35.97	11.99	0.47	0.47	18	20	0.55
22	33.91	12.43	0.44	0.44	20	22	0.47
24	32.13	12.85	0.42	0.42	22	24	0.42

En la tabla se muestra el hietograma de diseño considerando un periodo de retorno de 50 años. Valores necesarios para calcular el caudal moderado.

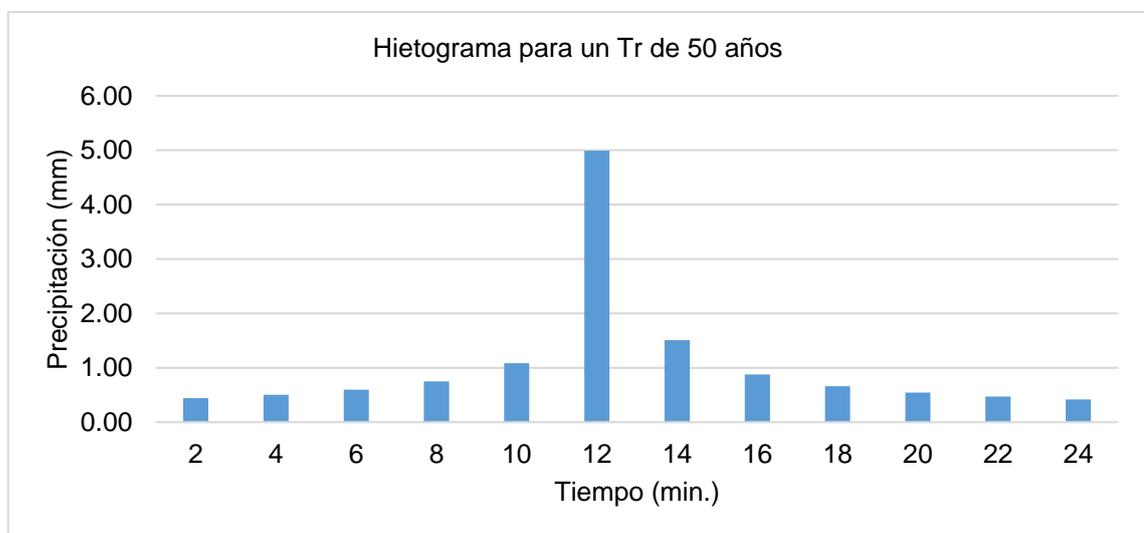


Figura 6. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años.

La figura representa el hietograma de diseño considerando un periodo de retorno de 50 años. Valores necesarios para calcular el caudal moderado.

Tabla 18. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años.

Duración (min)	Intensidad (mm/hr)	P. acumulada (mm)	Profundidad incremental	Profundidad ordenada	Tiempo (min)		Precipitación
					De	A	
2	176.21	5.87	5.87	5.87	0	2	0.52
4	114.71	7.65	1.77	1.77	2	4	0.59
6	89.24	8.92	1.28	1.28	4	6	0.70
8	74.68	9.96	1.03	1.03	6	8	0.88
10	65.04	10.84	0.88	0.88	8	10	1.28
12	58.10	11.62	0.78	0.78	10	12	5.87
14	52.81	12.32	0.70	0.70	12	14	1.77
16	48.62	12.96	0.64	0.64	14	16	1.03
18	45.20	13.56	0.59	0.59	16	18	0.78

20	42.34	14.11	0.55	0.55	18	20	0.64
22	39.91	14.64	0.52	0.52	20	22	0.55
24	37.82	15.13	0.49	0.49	22	24	0.49

En la tabla se muestra el hietograma de diseño considerando un periodo de retorno de 100 años. Valores necesarios para calcular el caudal moderado.

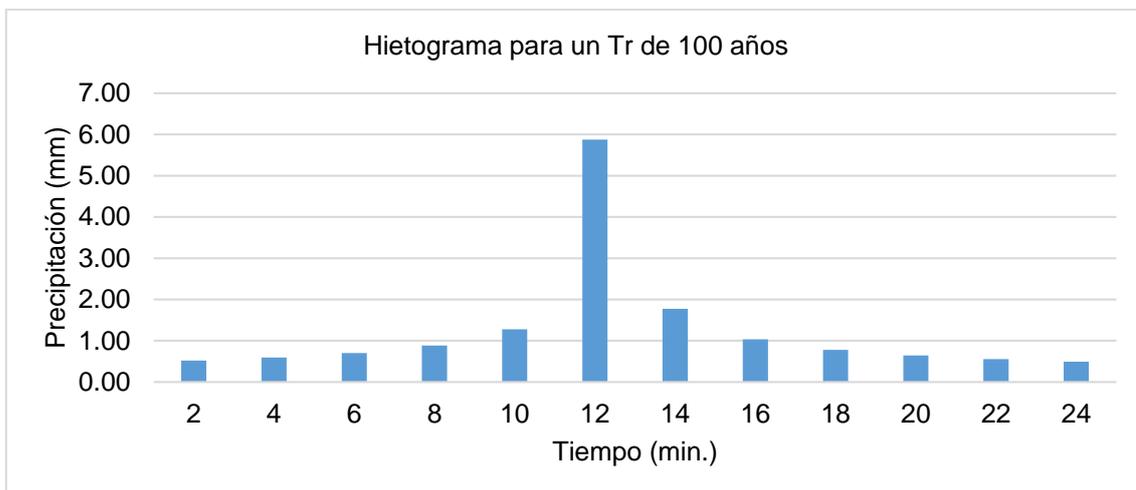


Figura 7. Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años.

La figura representa el hietograma de diseño considerando un periodo de retorno de 100 años. Valores necesarios para calcular el caudal moderado.

#### 4.1.3. Caudal modelado

Project: Hcva Simulation Run: A5

Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: Alcantarilla  
End of Run: 01ene2000, 01:30 Meteorologic Model: 5  
Compute Time: 06jun2019, 13:58:49 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
A1	0,01	0,0	01ene2000, 00:25	7,40
SA1	0,01	0,0	01ene2000, 00:25	7,40
A2	0,07	0,3	01ene2000, 00:25	6,65
SA2	0,07	0,3	01ene2000, 00:25	6,65
A3	0,06	0,3	01ene2000, 00:25	6,65
SA3	0,06	0,3	01ene2000, 00:25	6,65
A4	0,05	0,2	01ene2000, 00:25	6,65
SA4	0,05	0,2	01ene2000, 00:25	6,65
A5	0,03	0,1	01ene2000, 00:25	6,65
SA5	0,03	0,1	01ene2000, 00:25	6,65
A6	0,27	0,3	01ene2000, 00:25	1,87
SA6	0,27	0,3	01ene2000, 00:25	1,87
A7	0,11	0,5	01ene2000, 00:25	6,65
SA7	0,11	0,5	01ene2000, 00:25	6,65
A8	0,07	0,3	01ene2000, 00:25	6,65
SA8	0,07	0,3	01ene2000, 00:25	6,65

Figura 8. Caudales modelados para el periodo de retorno de 5 años.

En la figura se muestra los caudales obtenidos según el modelamiento hidrológico considerando un tiempo de retorno de 5 años. Datos necesarios para el diseño de alcantarilla.

Project: Hcva Simulation Run: A10  
 Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: Alcantarilla  
 End of Run: 01ene2000, 01:30 Meteorologic Model: 10  
 Compute Time: 06jun2019, 13:59:51 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
A1	0,01	0,1	01ene2000, 00:25	8,70
SA1	0,01	0,1	01ene2000, 00:25	8,70
A2	0,07	0,3	01ene2000, 00:25	7,82
SA2	0,07	0,3	01ene2000, 00:25	7,82
A3	0,06	0,3	01ene2000, 00:25	7,82
SA3	0,06	0,3	01ene2000, 00:25	7,82
A4	0,05	0,2	01ene2000, 00:25	7,82
SA4	0,05	0,2	01ene2000, 00:25	7,82
A5	0,03	0,1	01ene2000, 00:25	7,82
SA5	0,03	0,1	01ene2000, 00:25	7,82
A6	0,27	0,4	01ene2000, 00:25	2,20
SA6	0,27	0,4	01ene2000, 00:25	2,20
A7	0,11	0,5	01ene2000, 00:25	7,82
SA7	0,11	0,5	01ene2000, 00:25	7,82
A8	0,07	0,3	01ene2000, 00:25	7,82
SA8	0,07	0,3	01ene2000, 00:25	7,82

Figura 9. Caudales modelados para el periodo de retorno de 10 años.

En la figura se muestra los caudales obtenidos según el modelamiento hidrológico considerando un tiempo de retorno de 10 años. Datos necesarios para el diseño de alcantarilla.

Project: Hcva Simulation Run: A25  
 Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: Alcantarilla  
 End of Run: 01ene2000, 01:30 Meteorologic Model: 25  
 Compute Time: 06jun2019, 14:00:31 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
A1	0,01	0,1	01ene2000, 00:25	10,82
SA1	0,01	0,1	01ene2000, 00:25	10,82
A2	0,07	0,4	01ene2000, 00:25	9,72
SA2	0,07	0,4	01ene2000, 00:25	9,72
A3	0,06	0,4	01ene2000, 00:25	9,72
SA3	0,06	0,4	01ene2000, 00:25	9,72
A4	0,05	0,3	01ene2000, 00:25	9,72
SA4	0,05	0,3	01ene2000, 00:25	9,72
A5	0,03	0,2	01ene2000, 00:25	9,72
SA5	0,03	0,2	01ene2000, 00:25	9,72
A6	0,27	0,5	01ene2000, 00:25	2,73
SA6	0,27	0,5	01ene2000, 00:25	2,73
A7	0,11	0,7	01ene2000, 00:25	9,72
SA7	0,11	0,7	01ene2000, 00:25	9,72
A8	0,07	0,4	01ene2000, 00:25	9,72
SA8	0,07	0,4	01ene2000, 00:25	9,72

Figura 10. Caudales modelados para el periodo de retorno de 25 años.

En la figura se muestra los caudales obtenidos según el modelamiento hidrológico considerando un tiempo de retorno de 25 años. Datos necesarios para el diseño de alcantarilla.

Project: Hcva Simulation Run: A50  
 Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: Alcantarilla  
 End of Run: 01ene2000, 01:30 Meteorologic Model: 50  
 Compute Time: 06jun2019, 14:01:08 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
A1	0,01	0,1	01ene2000, 00:25	12,72
SA1	0,01	0,1	01ene2000, 00:25	12,72
A2	0,07	0,5	01ene2000, 00:25	11,44
SA2	0,07	0,5	01ene2000, 00:25	11,44
A3	0,06	0,4	01ene2000, 00:25	11,44
SA3	0,06	0,4	01ene2000, 00:25	11,44
A4	0,05	0,4	01ene2000, 00:25	11,44
SA4	0,05	0,4	01ene2000, 00:25	11,44
A5	0,03	0,2	01ene2000, 00:25	11,44
SA5	0,03	0,2	01ene2000, 00:25	11,44
A6	0,27	0,5	01ene2000, 00:25	3,21
SA6	0,27	0,5	01ene2000, 00:25	3,21
A7	0,11	0,8	01ene2000, 00:25	11,44
SA7	0,11	0,8	01ene2000, 00:25	11,44
A8	0,07	0,5	01ene2000, 00:25	11,44
SA8	0,07	0,5	01ene2000, 00:25	11,44

Figura 11. Caudales modelados para el periodo de retorno de 50 años.

En la figura se muestra los caudales obtenidos según el modelamiento hidrológico considerando un tiempo de retorno de 50 años. Datos necesarios para el diseño de alcantarilla.

Project: Hcva Simulation Run: A100  
 Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: Alcantarilla  
 End of Run: 01ene2000, 01:30 Meteorologic Model: 100  
 Compute Time: 06jun2019, 14:02:08 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
A1	0,01	0,1	01ene2000, 00:25	13,80
SA1	0,01	0,1	01ene2000, 00:25	13,80
A2	0,07	0,5	01ene2000, 00:25	12,41
SA2	0,07	0,5	01ene2000, 00:25	12,41
A3	0,06	0,5	01ene2000, 00:25	12,41
SA3	0,06	0,5	01ene2000, 00:25	12,41
A4	0,05	0,4	01ene2000, 00:25	12,41
SA4	0,05	0,4	01ene2000, 00:25	12,41
A5	0,03	0,2	01ene2000, 00:25	12,41
SA5	0,03	0,2	01ene2000, 00:25	12,41
A6	0,27	0,6	01ene2000, 00:25	3,49
SA6	0,27	0,6	01ene2000, 00:25	3,49
A7	0,11	0,8	01ene2000, 00:25	12,41
SA7	0,11	0,8	01ene2000, 00:25	12,41
A8	0,07	0,5	01ene2000, 00:25	12,41
SA8	0,07	0,5	01ene2000, 00:25	12,41

Figura 12. Caudales modelados para el periodo de retorno de 100 años.

En la figura se muestra los caudales obtenidos según el modelamiento hidrológico considerando un tiempo de retorno de 100 años. Datos necesarios para el diseño de alcantarilla.

## 4.2. Diseño hidráulico de alcantarilla

Para el diseño de las alcantarillas propuestas fue necesario determinar mediante un modelamiento hidrológico, y cuyos valores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 19. Resumen de caudales máximos en cada alcantarilla.

Alcantarilla	Q( m <sup>3</sup> /s)
1	0.1
2	0.6
3	0.5
4	0.4
5	0.2
6	0.6
7	0.9
8	0.6

### 4.2.1. Alcantarilla 01

El diseño para la alcantarilla 01 consideró los siguientes parámetros:

Tabla 20. Condiciones de diseño en la alcantarilla 01.

Parámetros de diseño		
Qmax =	0.1	m <sup>3</sup> /s
Z =	1.5	
S =	0.002	
n =	0.025	
b =	1	m
Y1=Y2=	0.59	m
V =	0.63	m/s
V <sup>2</sup> /2g =	0.02	m

Con las condiciones de diseño se pudo estimar el diámetro de la alcantarilla, tal como se muestra a continuación. Usando lo valores obtenidos en las tablas anteriores.

Tabla 21. Diámetro en la alcantarilla 01.

Estimación del diámetro		
$Q_{max} = Di^2$		
Di =	0.316	m
Di =	12.45	Pulg

Sin embargo, el valor estimado no es un diámetro comercial, por lo que se asume un diámetro mínimo comercial de 24 pulgadas

Tabla 22. Cálculo de la sección de la alcantarilla en la alcantarilla 01.

Área =	0.2919	m <sup>2</sup>
Va =	0.343	m/s
Va = Velocidad en la alcantarilla		
$1.5xva^2/2g$	0.064	
El nivel de carga aguas arriba =	2824.49	msnm

Determinada las características de la alcantarilla 01, se determinó las características de las transiciones antes de que el agua ingrese en la alcantarilla.

Tabla 23. Longitud la transición de entrada en la alcantarilla 01.

Lt =	2.44	m
$Lt = 4 x Di$		
Lt =	2.50	m

La longitud de la tubería de la alcantarilla se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24. Longitud de la tubería en la alcantarilla 01.

Longitud de la tubería:		
$Lon = 2(Z(CC - C2)) + ancho de carretera$		
Cota del camino =	2875	msnm
Cota del punto ② =	2874.67	msnm
Long tubería =	6.99	m
Long tubería =	7.00	m
Cota en el punto ④ =	2874	msnm

Una vez se haya determinado la longitud de tubería que se necesita para la alcantarilla, se procede a determinar el cálculo de la carga hidráulica, la cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 25. Cálculo de la carga hidráulica en la alcantarilla 01.

Carga hidráulica		
$\Delta H = (C1 + Y1) - (C4 + Y2)$		
$\Delta H =$	-0.10	m

Además de haber obtenido la carga hidráulica en el trayecto de la tubería se debe estimar las pérdidas por fricción, en la salida y en la entrada de la alcantarilla, los cuales se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 26. Cálculo de las pérdidas en la alcantarilla 01.

$\Sigma$ Pérdidas =	$Pe + Pf + Ps$	
	$0.5 \times Va^2 / 2g$	
Pe = Pérdidas por entrada =		0.003
	$0.65 \times Va^2 / 2g$	
Ps = Pérdidas por salida =		0.004
	$f L / D \times Va^2 / 2g$	
Pf = Pérdidas por fricción =		0.002

La Tabla 27 muestra las pérdidas total en el tramo de la alcantarilla, además se verificó que estas pérdidas no sean mayor a la energía que se por gravedad.

Tabla 27. Verificación de las pérdidas en la alcantarilla 01.

Pérdidas total		
$\Sigma$ Pérdidas =	0.009	m
E1 =	2874.51	m
E4 + $\Sigma$ pérdidas =	2874.619	m
E1 - (E4 + $\Sigma$ pérdidas) =	-0.109	

La suma de las pérdidas y la comparación con la gradiente hidráulica se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 28. Cálculo total de las pérdidas en la alcantarilla 01.

$\Sigma$ Pérdidas =		0.009
$\Delta H =$	0.10	m
<b><math>\Delta H - \Sigma</math> Pérdidas =</b>		<b>0.09</b>
$\Delta H$	>	$\Sigma$ Pérdidas
<b>CUMPLE</b>		

Una vez establecido las características principales de la alcantarilla se debe determinar la altura de cobertura para asegurar una estabilidad en el terraplén; la verificación de la altura de la cobertura se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 29. Altura de cobertura en la alcantarilla 01.

(Cota 2 + Cota 3)/2 = 2873.86			
Cota del camino -(Cota promedio de 2 y 3 + El diámetro de la tubería)			
Cota del camino	=	2875.1	msnm
Cota promedio de 2 y 3	=	2873.86	msnm
Diámetro de la tubería	=	0.6096	m
<b>Altura de cobertura =</b>	<b>0.63</b>	<b>m</b>	
(mínimo requerido)	=	0.6	m
0.63	>	0.6	<b>CUMPLE (NO HAY PROBLEMAS)</b>

Para asegurar un buen comportamiento funcional de la alcantarilla se debe colocar estructuras de transición, tal es el caso del enrocado de piedra entre la alcantarilla y el río, los cuales se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 30. Longitud de protección de alcantarilla en la alcantarilla 01.

Longitud de protección			
$Lp = 3xDi$			
Lp =		1.8288	m
<b>Lp =</b>		<b>1.90</b>	<b>m</b>

#### 4.2.2. Alcantarilla 02, 06 y 08

El diseño para la alcantarilla 02, 06 y 08 consideró los siguientes parámetros:

Tabla 31. Condiciones de diseño en la alcantarilla 02, 06 y 08.

Parámetros de diseño			
Qmax =		0.5	m <sup>3</sup> /s
Z =		1.5	
S =		0.003	
n =		0.019	
b =		1	m
Y1=Y2=		0.59	m
V =		0.63	m/s
V <sup>2</sup> /2g =		0.02	m

Con las condiciones de diseño se pudo estimar el diámetro de la alcantarilla, tal como se muestra a continuación.

Tabla 32. Diámetro diseño en la alcantarilla 02, 06 y 08.

Estimación del diámetro		
$Q_{max} = Di^2$		
Di =	0.707	m
Di =	27.84	Pulg

Sin embargo, el valor estimado no es un diámetro comercial, por lo que se asume un diámetro mínimo comercial de 36 pulgadas.

Tabla 33. Cálculo de la sección de la alcantarilla 02, 06 y 08.

Área =	0.6567	m <sup>2</sup>
Va =	0.761	m/s
Va = Velocidad en la alcantarilla		
$1.5xva^2/2g$	0.044	
El nivel de carga aguas arriba =	2949.39	msnm

Determinada las características de la alcantarilla 02, 06 y 08, se determinó las características de las transiciones antes de que el agua ingrese en la alcantarilla.

Tabla 34. Longitud la transición de entrada en la alcantarilla 02, 06 y 08.

Lt =	3.66	m
$Lt = 4 x Di$		
<b>Lt =</b>	<b>3.70</b>	<b>m</b>

La longitud de la tubería de la alcantarilla se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 35. Longitud de la tubería en la alcantarilla 02, 06 y 08.

Longitud de la tubería:		
$Lon = 2(Z(CC - C2)) + ancho\ de\ carretera$		
Cota del camino =	2950	msnm
Cota del punto ② =	2948.43	msnm
Long tubería =	10.71	m
Long tubería =	10.80	m
Cota en el punto ④ =	2949	msnm

Una vez se haya determinado la longitud de tubería que se necesita para la alcantarilla, se procede a determinar el cálculo de la carga hidráulica, la cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 36. Cálculo de la carga hidráulica en la alcantarilla 02, 06 y 08.

Carga hidráulica		
$\Delta H =$	-0.20	m

Además de haber obtenido la carga hidráulica en el trayecto de la tubería se debe estimar las pérdidas por fricción, en la salida y en la entrada de la alcantarilla, los cuales se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 37. Cálculo de la carga hidráulica en la alcantarilla 02, 06 y 08.

$\Sigma$ Pérdidas =	$Pe + Pf + Ps$	
	$0.5 \times Va^2 / 2g$	
Pe = Pérdidas por entrada =		0.015
	$0.65 \times Va^2 / 2g$	
Ps = Pérdidas por salida =		0.019
	$f L / D \times Va^2 / 2g$	
Pf = Pérdidas por fricción =		0.009

La siguiente tabla muestra las pérdidas totales en el tramo de la alcantarilla, además se verificó que estas pérdidas no sean mayores a la energía que se por gravedad.

Tabla 38. Cálculo total de las pérdidas en la alcantarilla 02, 06 y 08.

Pérdidas total		
$\Sigma$ Pérdidas =	0.043	m
E1 =	2949.41	m
E4 + $\Sigma$ pérdidas =	2949.653	m
E1 - (E4 + $\Sigma$ pérdidas) =	-0.243	

La suma de las pérdidas y la comparación con la gradiente hidráulica se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 39. Verificación de las pérdidas en la alcantarilla 02, 06 y 08.

$\Sigma$ Pérdidas =		0.043
$\Delta H =$	0.20	m
<b><math>\Delta H - \Sigma</math> Pérdidas =</b>		<b>0.16</b>
$\Delta H$	>	$\Sigma$ Pérdidas
<b>CUMPLE</b>		

Una vez establecido las características principales de la alcantarilla se debe determinar la altura de cobertura para asegurar una estabilidad en el terraplén; la verificación de la altura de la cobertura se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 40. Altura de cobertura en la alcantarilla 02, 06 y 08.

(Cota 2 + Cota 3)/2 = 2948.41			
Cota del camino -(Cota promedio de 2 y 3 + El diámetro de la tubería)			
Cota del camino	=	2950	msnm
Cota promedio de 2 y 3	=	2948.41	msnm
Diámetro de la tubería	=	0.9144	m
<b>Altura de cobertura =</b>	<b>0.67</b>	<b>m</b>	
(mínimo requerido)	=	0.6	m
0.67	>	0.6	<b>CUMPLE (NO HAY PROBLEMAS)</b>

Para asegurar un buen comportamiento funcional de la alcantarilla se debe colocar estructuras de transición, tal es el caso del enrocado de piedra entre la alcantarilla y el río, los cuales se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 41. Longitud de protección de alcantarilla en la alcantarilla 02, 06 y 08.

Longitud de protección			
$L_p = 3xD_i$			
Lp =		2.7432	m
<b>Lp =</b>		<b>2.80</b>	<b>m</b>

#### 4.2.3. Alcantarilla 03 y 04

El diseño para la alcantarilla 03, 04 consideró los siguientes parámetros:

Tabla 42. Condiciones de diseño en la alcantarilla 03 y 04.

Parámetros de diseño			
Qmax =		0.4	m <sup>3</sup> /s
Z =		1.5	
S =		0.003	
n =		0.019	
b =		1	m
Y1=Y2=		0.59	m
V =		0.63	m/s
V <sup>2</sup> /2g =		0.02	m

Con las condiciones de diseño se pudo estimar el diámetro de la alcantarilla, tal como se muestra a continuación.

Tabla 43. Diámetro en la alcantarilla 03, 04.

Estimación del diámetro		
$Q_{max} = Di^2$		
Di =	0.632	m
Di =	24.90	Pulg

Sin embargo, el valor estimado no es un diámetro comercial, por lo que se asume un diámetro mínimo comercial de 36 pulgadas.

Tabla 44. Cálculo de la sección de la alcantarilla en la alcantarilla 03 y 04.

Área =	0.6567	m <sup>2</sup>
Va =	0.609	m/s
Va = Velocidad en la alcantarilla		
$1.5xva^2/2g$	0.028	
El nivel de carga aguas arriba =	2949.39	msnm

Determinada las características de la alcantarilla 04, se determinó las características de las transiciones antes de que el agua ingrese en la alcantarilla.

Tabla 45. Longitud la transición de entrada en la alcantarilla 03 y 04.

Lt =	3.66	m
$Lt = 4 x Di$		
<b>Lt =</b>	<b>3.70</b>	<b>m</b>

La longitud de la tubería de la alcantarilla se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 46. Longitud de la tubería en la alcantarilla 03 y 04.

Longitud de la tubería:		
$Lon = 2(Z(CC - C2)) + ancho de carretera$		
Cota del camino =	2950	msnm
Cota del punto ② =	2948.45	msnm
Long tubería =	10.65	m
Long tubería =	10.70	m
Cota en el punto ④ =	2949	msnm

Una vez se haya determinado la longitud de tubería que se necesita para la alcantarilla, se procede a determinar el cálculo de la carga hidráulica, la cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 47. Cálculo de la carga hidráulica en la alcantarilla 03 y 04.

$\Delta H = (C1 + Y1) - (C4 + Y2)$		
$\Delta H =$	-0.20	m

Además de haber obtenido la carga hidráulica en el trayecto de la tubería se debe estimar las pérdidas por fricción, en la salida y en la entrada de la alcantarilla, los cuales se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 48. Cálculo de las pérdidas en la alcantarilla 03 y 04.

$\Sigma$ Perdidas =			Pe + Pf + Ps
$0.5 \times Va^2 / 2g$			
Pe = Perdidas por entrada =			0.009
$0.65 \times Va^2 / 2g$			
Ps = Perdidas por salida =			0.012
$f^L / D \times Va^2 / 2g$			
Pf = Pérdidas por fricción =			0.006

La siguiente tabla muestra las pérdidas totales en el tramo de la alcantarilla, además se verificó que estas pérdidas no sean mayores a la energía que se por gravedad.

Tabla 49. Cálculo total de las pérdidas en la alcantarilla 03 y 04.

Perdidas total		
$\Sigma$ Pérdidas =	0.027	m
E1 =	2949.41	m
E4 + $\Sigma$ pérdidas =	2949.637	m
E1 - (E4 + $\Sigma$ pérdidas) =	-0.227	

La suma de las pérdidas y la comparación con la gradiente hidráulica se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 50. Verificación de las pérdidas en la alcantarilla 03, 04.

$\Sigma$ Pérdidas =		0.027
$\Delta H =$	0.20	m
<b><math>\Delta H - \Sigma</math> Pérdidas =</b>		<b>0.17</b>
$\Delta H$	>	$\Sigma$ Pérdidas
<b>CUMPLE</b>		

Una vez establecido las características principales de la alcantarilla se debe determinar la altura de cobertura para asegurar una estabilidad en el terraplén; la verificación de la altura de la cobertura se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 51. Cálculo de la altura de cobertura en la alcantarilla 03 y 04.

Cota del camino -(Cota promedio de 2 y 3 + El diámetro de la tubería)			
(Cota 2 + Cota 3)/2 =		2948.43	
Cota del camino	=	2950	msnm
Cota promedio de 2 y 3	=	2948.43	msnm
Diámetro de la tubería	=	0.9144	m
<b>Altura de cobertura =</b>	<b>0.65</b>	<b>m</b>	
(mínimo requerido)	=	0.6	m
0.65	>	0.6	<b>CUMPLE (NO HAY PROBLEMAS)</b>

Para asegurar un buen comportamiento funcional de la alcantarilla se debe colocar estructuras de transición, tal es el caso del enrocado de piedra entre la alcantarilla y el río, los cuales se muestra en la siguiente tabla.

#### 4.2.4. Alcantarilla 05

El diseño para la alcantarilla 05 se deben considerar los siguientes parámetros:

Tabla 52. Condiciones de diseño en la alcantarilla 05.

Parámetros de diseño		
Qmax =	0.2	m <sup>3</sup> /s
Z =	1.5	
S =	0.003	
n =	0.019	
b =	1	m
Y1=Y2=	0.59	m
V =	0.63	m/s
V <sup>2</sup> /2g =	0.02	m

Con las condiciones de diseño se pudo estimar el diámetro de la alcantarilla, tal como se muestra a continuación.

Tabla 53. Diámetro de la alcantarilla 05.

$Q_{max} = Di^2$		
Di =	0.447	m
Di =	17.61	Pulg

Sin embargo, el valor estimado no es un diámetro comercial, por lo que se asume un diámetro mínimo comercial de 24 pulgadas.

Tabla 54. Cálculo de la sección de la alcantarilla en la alcantarilla 05.

Área =	0.2919	m <sup>2</sup>
Va =	0.685	m/s
Va = Velocidad en la alcantarilla		
$1.5xva^2/2g$	0.036	
El nivel de carga aguas arriba =	2949.39	msnm

Determinada las características de la alcantarilla 05, se determinó las características de las transiciones antes de que el agua ingrese en la alcantarilla.

Tabla 55. Longitud la transición de entrada en la alcantarilla 05.

Lt =	2.44	m
$Lt = 4 x Di$		
Lt =	2.50	m

La longitud de la tubería de la alcantarilla se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 56. Longitud de la tubería en la alcantarilla 05.

Longitud de la tubería:		
$Lon = 2(Z(CC - C2)) + ancho\ de\ carretera$		
Cota del camino =	3000	msnm
Cota del punto ② =	2998.84	msnm
Long tubería =	9.48	m
Long tubería =	9.50	m
Cota en el punto ④ =	2999	msnm

Una vez se haya determinado la longitud de tubería que se necesita para la alcantarilla, se procede a determinar el cálculo de la carga hidráulica, la cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 57. Cálculo de la carga hidráulica en la alcantarilla 05.

Carga hidráulica		
$\Delta H = (C1 + Y1) - (C4 + Y2)$		
$\Delta H =$	-0.20	m

Además de haber obtenido la carga hidráulica en el trayecto de la tubería se debe estimar las pérdidas por fricción, en la salida y en la entrada de la alcantarilla, los cuales se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 58. Cálculo de las pérdidas en la alcantarilla 05.

$\Sigma$ Pérdidas =	$Pe + Pf + Ps$	
	$0.5 \times Va^2/2g$	
Pe = Pérdidas por entrada =		0.012
	$0.65 \times Va^2/2g$	
Ps = Pérdidas por salida =		0.016
	$fL/D \times Va^2/2g$	
Pf = Pérdidas por fricción =		0.010

La siguiente tabla muestra las pérdidas totales en el tramo de la alcantarilla, además se verificó que estas pérdidas no sean mayores a la energía que se por gravedad.

Tabla 59. Cálculo total de las pérdidas en la alcantarilla 05.

Pérdidas total		
$\Sigma$ Pérdidas =	0.037	m
E1 =	2999.51	m
E4 + $\Sigma$ pérdidas =	2999.647	m
E1 - (E4 + $\Sigma$ pérdidas) =	-0.137	

La suma de las pérdidas y la comparación con la gradiente hidráulica se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 60. Verificación de las pérdidas en la alcantarilla 05.

$\Sigma$ Pérdidas =		0.037
$\Delta H =$	0.20	m
<b><math>\Delta H - \Sigma</math> Pérdidas =</b>		<b>0.16</b>
$\Delta H$	>	$\Sigma$ Pérdidas
<b>CUMPLE</b>		

Una vez establecido las características principales de la alcantarilla se debe determinar la altura de cobertura para asegurar una estabilidad en el terraplén; la verificación de la altura de la cobertura se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 61. Calculo de la altura de cobertura en la alcantarilla 05.

Cota del camino -(Cota promedio de 2 y 3 + El diámetro de la tubería)			
(Cota 2 + Cota 3)/2 =		2998.83	
Cota del camino	=	3000	msnm
Cota promedio de 2 y 3	=	2998.83	msnm
Diámetro de la tubería	=	0.6096	m
<b>Altura de cobertura =</b>	<b>0.56</b>	<b>m</b>	
(mínimo requerido)	=	0.6	m
0.56	>	0.6	<b>CUMPLE (NO HAY PROBLEMAS)</b>

Para asegurar un buen comportamiento funcional de la alcantarilla se debe colocar estructuras de transición, tal es el caso del enrocado de piedra entre la alcantarilla y el río, los cuales se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 62. Longitud de protección de alcantarilla en la alcantarilla 05.

Longitud de protección		
$L_p = 3xDi$		
Lp =	1.8288	m
<b>Lp =</b>	<b>1.90</b>	<b>m</b>

#### 4.2.5. Alcantarilla 07

El diseño para la alcantarilla 07 se consideró los siguientes parámetros:

Tabla 63. Condiciones de diseño en la alcantarilla 07.

Parámetros de diseño		
<b>Qmax =</b>	<b>0.8</b>	m <sup>3</sup> /s
<b>Z =</b>	<b>1.5</b>	
<b>S =</b>	<b>0.003</b>	
<b>n =</b>	<b>0.019</b>	
<b>b =</b>	<b>1</b>	m
<b>Y1=Y2=</b>	<b>0.59</b>	m
<b>V =</b>	<b>0.63</b>	m/s
<b>V<sup>2</sup>/2g =</b>	<b>0.02</b>	m

Con las condiciones de diseño se pudo estimar el diámetro de la alcantarilla, tal como se muestra a continuación.

Tabla 64. Diámetro en la alcantarilla 07.

Estimación del diámetro		
$Q_{max} = Di^2$		
Di =	0.775	m
Di =	30.50	Pulg

Sin embargo, el valor estimado no es un diámetro comercial, por lo que se asume un diámetro mínimo comercial de 36 pulgadas.

Tabla 65. Cálculo de la sección de la alcantarilla en la alcantarilla 07.

Área =	0.6567	m <sup>2</sup>
Va =	0.914	m/s
Va = Velocidad en la alcantarilla		
$1.5xva^2/2g$	0.064	
El nivel de carga aguas arriba =	2824.49	msnm

Determinada las características de la alcantarilla 02, se determinó las características de las transiciones antes de que el agua ingrese en la alcantarilla.

Tabla 66. Longitud la transición de entrada en la alcantarilla 07.

Lt =	3.66	m
$Lt = 4 x Di$		
<b>Lt =</b>	<b>3.70</b>	<b>m</b>

La longitud de la tubería de la alcantarilla se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 67. Longitud de la tubería en la alcantarilla 07.

Longitud de la tubería:		
$Lon = 2(Z(CC - C2)) + ancho de carretera$		
Cota del camino =	2925	msnm
Cota del punto ② =	2823.51	msnm
Long tubería =	310.47	m
Long tubería =	310.50	m
Cota en el punto ④ =	2924	msnm

Una vez se haya determinado la longitud de tubería que se necesita para la alcantarilla, se procede a determinar el cálculo de la carga hidráulica, la cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 68. Cálculo de la carga hidráulica en la alcantarilla 07.

Carga hidráulica		
$\Delta H = (C1 + Y1) - (C4 + Y2)$		
$\Delta H =$	-0.10	m

Además de haber obtenido la carga hidráulica en el trayecto de la tubería se debe estimar las pérdidas por fricción, en la salida y en la entrada de la alcantarilla, los cuales se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 69. Cálculo de las pérdidas en la alcantarilla 07.

$\Sigma$ Pérdidas =	$P_e + P_f + P_s$	
$0.5 \times V a^2 / 2g$		
$P_e =$ Pérdidas por entrada =		0.021
$0.65 \times V a^2 / 2g$		
$P_s =$ Pérdidas por salida =		0.028
$f L / D \times V a^2 / 2g$		
$P_f =$ Pérdidas por fricción =		0.012

La siguiente tabla muestra las pérdidas totales en el tramo de la alcantarilla, además se verificó que estas pérdidas no sean mayores a la energía que se por gravedad.

Tabla 70. Cálculo total de las pérdidas en la alcantarilla 07.

Pérdidas total		
$\Sigma$ Pérdidas =	0.061	m
E1 =	2924.51	m
E4 + $\Sigma$ pérdidas =	2924.671	m
E1 - (E4 + $\Sigma$ pérdidas) =	-0.161	

La suma de las pérdidas y la comparación con la gradiente hidráulica se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 71. Verificación de las pérdidas en la alcantarilla 07.

$\Sigma$ Pérdidas =		0.061
$\Delta H =$	0.10	m
<b><math>\Delta H - \Sigma</math> Pérdidas =</b>		<b>0.04</b>
$\Delta H$	>	$\Sigma$ Pérdidas
<b>CUMPLE</b>		

Una vez establecido las características principales de la alcantarilla se debe determinar la altura de cobertura para asegurar una estabilidad en el terraplén; la verificación de la altura de la cobertura se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 72. Altura de cobertura en la alcantarilla 07.

$(Cota\ 2 + Cota\ 3)/2 = 2923.49$			
Cota del camino -(Cota promedio de 2 y 3 + El diámetro de la tubería)			
Cota del camino	=	2925	msnm
Cota promedio de 2 y 3	=	2923.49	msnm
Diámetro de la tubería	=	0.9144	m
<b>Altura de cobertura =</b>	<b>0.59</b>	<b>m</b>	
(mínimo requerido)	=	0.6	m
0.59	>	0.6	<b>CUMPLE (NO HAY PROBLEMAS)</b>

Para asegurar un buen comportamiento funcional de la alcantarilla se debe colocar estructuras de transición, tal es el caso del enrocado de piedra entre la alcantarilla y el río, los cuales se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 73. Longitud de protección de alcantarilla en la alcantarilla 07.

$Lp = 3xDi$			
Lp =		2.7432	m
<b>Lp =</b>		<b>2.80</b>	<b>m</b>

### 4.3. Discusiones

#### 4.3.1. Modelamiento hidrológico para el diseño de alcantarillas

Para la estimación del cálculo de los caudales en cada una de las unidades hidrográficas para el diseño de alcantarillas se consideró el modelo Hydrologic Modeling System (HEC – HMS) para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, cabe señalar que se siguió lo referido en otras investigaciones hidráulicas como la de Arce et al. (2006), determinándose la morfometría de unidades hidrográficas (área, perímetro, ancho promedio, factor de forma de Horton, coeficiente compacidad, cota mínima, cota máxima y altitud media) tal como se muestra en la Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11 y

Tabla 12; asimismo, se determinó el uso de suelos para la aplicación de la abstracción de escorrentía con el método S.C.S (Soil Conservation Service) según lo recomendado por Chow (1994); seguidamente se determinó las curvas IDF para cada una de las subcuencas y en diferentes periodos de retorno en base a la distribución probabilística de Gumbel (ver Tabla 13) utilizando la estación meteorológica (Estación Salcabamba), con las curvas IDF se determinó los hietogramas de precipitación según recomienda el manual de hidrología, hidráulica y drenaje (MTC, 2008) utilizando el método de bloque alterno siendo necesario determinar el tiempo de concentración aplicando la fórmula de Kirpich.

#### **4.3.2. Diseño hidráulico de alcantarilla**

Lo concerniente al diseño hidráulico de las alcantarillas, considerando lo establecido por el manual de hidrología, hidráulica y drenaje (MTC, 2008) y siguiendo algunas recomendaciones establecidas por Pérez (2015) en el libro de diseño y construcción de alcantarillados sanitarios, pluvial y drenaje en carreteras que señalan la importancia de contar con el caudal máximo en una avenida de periodo de retorno de 50 años, se determinó dos tipos de alcantarillas (tipo I y tipo II) cuyos planos se muestran en anexos, los diámetros resultantes fueron de 24 y 36 pulgadas; cabe señalar la importancia de un buen diseño fundamentado en expresiones probabilísticas de la hidrología pues las alcantarillas cumplen un rol muy importante en las redes viales al evacuar las aguas pluviales que podrían perjudicar la infraestructura de estas y asegurando que cumplan con el tipo de vida para la cual fueron diseñadas y construidas.

## CONCLUSIONES

1. Se realizó el modelamiento hidrológico y el diseño hidráulico de alcantarilladas en el tramo de la carretera puente Cucharán hasta Uyrumpi, Acoria - Huancavelica, obteniéndose un total de ocho alcantarillas en todo el trayecto de la vía a mejorar variando los diámetros de 24 pulgadas y 36 pulgadas.
2. Se determinó el modelamiento hidrológico para las alcantarillas delimitándose un total de ocho unidades hidrográficas, obteniéndose un caudal de diseño para la alcantarilla 01 de  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ , para la alcantarilla 02 de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , para la alcantarilla 03 de  $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , para la alcantarilla 04 de  $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , para la alcantarilla 05 de  $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , para la alcantarilla 06 de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , para la alcantarilla 07 de  $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$  y para la alcantarilla 08 de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ; estos caudales considerando un periodo de retorno de 50 años y la estación meteorológica Salcabamba.
3. Se determinó el diseño hidráulico de las alcantarillas obteniéndose así para la progresiva 3 + 200 km y 5 + 220 km alcantarillas de 24 pulgadas mientras que, para la progresiva 3 + 765 km, 3 + 875 km, 4 + 215 km, 8 + 400 km, 11 + 200 km y 16 + 700 km alcantarillas de 36 pulgadas.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los proyectistas en el ámbito de carreteras considerar el modelamiento hidrológico de todas las obras de arte a fin de asegurar su vida útil y el buen funcionamiento de las mismas.
2. Un aspecto limitante fue la obtención de información concerniente a las precipitaciones máximas diarias, situación por la cual se recomienda a la institución competente poner mayor relevancia en este aspecto, pues todo modelo hidrológico depende de la calidad de los datos.
3. Asimismo, se sugiere para el cálculo de máximas avenidas la utilización de modelos dinámicos como el HEC-HMS pues a diferencia del método racional este permite obtener el comportamiento del caudal y a su vez interrelacionar varios parámetros de la unidad hidrográfica en análisis.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Álvarez, J., & Calle, G. (2013). *Estudio de parámetros hidráulicos e hidrológicos para el dimensionamiento de obras para drenaje vial en la vía de acceso al sector "La Union" en santa Isabel-Azuay*. Unniversidad de Cuenca.
2. Arce, R., Birkel, C., Durán, D., & Samudio, M. (2006). Metodlogías fotogramétricas e hidrológicas para estimar la amenaza y vulnerabilidad de inundación en la cuenca del río Purires, Cartago, Costa Rica. *Universidad de Costa Rica*, 14.
3. Bateman, A. (2007). *Hidrología básica y aplicada* (Primera). Venezuela: Grupo de Investigación en Transporte ded Sedimentos.
4. Bernal, C. (2006). *Metodología de la investigación. Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. (L. Gaona, Ed.) (Segunda). México: Pearson Educación.
5. Cely, J., & Betancurt, W. (2018). *Modelo computacional de alcantarillas existentes para vías con bajos volúmenes de transito*. Universidad Piloto de Colombia Seccional Alto Magdalena.
6. Chavarria, M. (2015). *Evaluación de las estructuras de drenaje superficial de la carretera Paria-Wilcahuain-Yanacancha Km 8+500 al Km 11+770, 2014*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
7. Chow, V. (1994). *Hidrología aplicada*. (M. Suarez, Ed.) (Primera). Santa fe de Bogotá: McGraw-Hill.
8. Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). *Diseño Hidrológico* (Segunda Ed). Argentina: WASA - GN.
9. Gencel, Z. (2013). Diseño mejorado de alcantarillas de drenaje pluvial en carreteras. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXIV(3), 77–85.
10. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación*. (J. Mares, Ed.) (Sexta). México: McGRAW-HILL.
11. Ibáñez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2015). Métodos para la determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica. Valencia - España.
12. Lavao, S., & Corredor, J. (2014). *Aplicación de la teoría del número de*

*curva (CN) a una cuenca de montaña, caso de estudio: Cuenca del río Murca, mediante la utilización de sistema de información geográfica.* Universidad Militar Nueva Granada.

13. Linsley, R., Kohler, M., & Paulus, J. (2003). *Hidrología para ingenieros* (Segunda). Bogotá-Colombia: McGraw-Hill Latinoamericana, S.A.
14. Lux, B. (2012). *Conceptos básicos de morfometría de cuencas hidrográficas.* Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
15. MTC. (2008). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje* (Primera). Lima - Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
16. Pérez, R. (2015). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitarios, pluvial y drenaje en carreteras.* (M. EIRL, Ed.). Bogotá-Colombia.
17. Santos, R. (2011). *Diseño geométrico y de alcantarilla de la carretera Shamboyacu-Lejía-Provincia de Picota.* Universidad Nacional de San Martín.
18. Zuloeta, J. (2018). *Propuesta de planeamiento según guía PMBOK para la construcción de alcantarillas de gran luz en carreteras de la región Moquegua 2018.* Universidad Cesar Vallejo.

## **ANEXOS**

## **ANEXO N° 01: PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS**

Tabla 74. Precipitación máxima en 24 horas de acuerdo a la estación meteorológica Salcabamba.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1981	0	0	0	8.5	8.5	8.3	10.2	5.5	17.7	9	18.8	19
1982	26	19	18.1	11.7	24.9	0	0	0	10.2	20.4	25	25.9
1983	27.4	34.8	30.5	12.5	16.7	4.6	6.2	6.5	6.1	14.4	20.9	21.6
1984	37.2	23.8	48.8	2.2	9	8.2	0	14.3	9.7	17.7	23.8	30.1
1985	15	13.9	17.3	0	2.3	3.3	5	2	8.4	0	0	0
1986	7.7	6.3	7.2	5.3	3.1	7.3	6.3	2.3	3.3	8.3	8.2	8.2
1987	6.3	11.3	13.2	5.3	7.6	2.1	2.1	2.1	5.1	8.3	8.1	7.1
1988	10.6	16.7	18.8	3.1	4.1	6.2	2	0	0	0	0	0
1989	0	0	9.9	6.2	4.2	0.01	4	3.1	4	5.1	5.3	5
1990	6.1	8.1	5.1	6.1	0.01	0.01	0	1	9.1	10.3	8.2	9.4
1991	9.2	12.1	17	12.3	8.4	0.01	0	8	6.2	12	14.5	15.2
1992	21	20.1	11.6	10	13.1	8	0.01	0.01	10.2	7.6	16	12.7
1993	13.4	18.2	17.3	7.3	0.01	6	6.2	14.1	12.1	18.3	16.5	0
1994	18.1	0	18.5	2	0.01	0.01	0.01	10	16.8	19.5	19.4	19.4
1995	4.2	9	4.8	0	49	10	15	0	6.8	11.7	9.5	15
1996	8	9.1	6.5	9	6.5	0	0	0	0	0	7.5	6.5
1997	0	7	7	0	14	14.5	0	11.9	6	12.5	5	3
1998	8.5	11	11	7.9	13	8	8	5	5	7	16.5	9
1999	17	15.5	14	7	2	1	0	2	2	8	12.5	7
2000	14	10	12.5	4.6	4	6.5	4	5.2	8.2	16	10.6	11.6
2001	15.5	12	9.9	9.6	7.5	2.8	2.5	2	7	6.5	9.5	10.1
2002	22.2	14	14.8	10	4.5	9.5	0	10.6	7.5	13	12	15

Continuación de la Tabla 74.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2003	11	14.6	18	8.6	0	1.2	0	3	3.3	5	17.3	14.5
2004	19	26.5	7.8	10.4	2.9	0	1.8	0	8	7	12	11
2005	8.9	18	17.1	10	5	0	0	7	4	11.5	2.5	5.5
2006	13.4	32.8	25.5	12.1	9.3	0.4	14.1	14.3	13.9	16	25.9	23.2
2007	17	26.1	20.3	12.5	3.2	7.6	12	6	7.1	30.6	9	29.7
2008	28.3	34.1	24.9	9.2	4.5	0.5	1.2	7.6	6.9	10.5	6.2	21.7
2009	12.7	33.1	19.6	9.2	1.7	8.8	7	5.7	14.2	13.5	25.6	21.6
2010	17	18.3	16.6	11.7	3.9	0	7.8	1	41.9	14.3	14.5	32.5
2011	41.4	17.5	26.2	12.4	5	9.9	0.7	3.3	4.4	16.6	20.3	25
2012	10.9	19.7	30.4	11	22.6	0	7.5	2	19.9	12	13.6	20.9
2013	21.3	14.2	18.5	24.3	2.6	1.6	0.4	10	12.5	13.3	25.2	12.2
2014	27.1	24.2	22	24.6	4.7	3.5	4	5.8	9.9	8	26	22.5
2015	18.6	14	22.5	4.8	9.7	1.7	7	6.4	6.8	32.8	6.5	36.5
2016	36.8	25.8	18.3	31.9	3.1	2	4.6	2.2	10.6	23.5	11	16.4
2017	16	35.4	12	16.9	8	12	0	0.3	3.5	20	14.5	29.4
2018	32.2	21.5	17	3.5	7.1	4	3.5	4.5	3.2	19.4	24.1	24.6

## **ANEXO N° 02: PANEL FOTOGRÁFICO**



Fotografía 1. Medición en campo de las alcantarillas a proponer.



Fotografía 2. Vista de posibles lugares donde se requieran alcantarillas.



Fotografía 3. Medición de alcantarilla en la progresiva 3 + 200 km.



Fotografía 4. Vista de alcantarilla existente en la progresiva 2 + 456 km.

## **ANEXO N° 03: PLANOS**

