



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE PARA CONSERVACIÓN DE UNA CARRETERA SEGÚN LAS NORMAS PERUANAS

Línea de investigación:
**Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y
geotécnica**

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de
Ingeniero Civil

Autor:

Apaza Huallpa, José Luis

Asesor:

Pumaricra Padilla, Raúl Valentín
(ORCID: 0000-0002-7037-4396)

Jurado:

Tello Malpartida, Omart Demetrio
Quintanilla Huayta, Darío
Ayquipa Quispe, Evelyn Estefany

Lima - Perú

2024

“DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE PARA CONSERVACIÓN DE UNA CARRETERA SEGÚN LAS NORMAS PERUANAS”

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
7	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%
8	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE DRENAJE PARA
CONSERVACIÓN DE UNA CARRETERA SEGÚN LAS
NORMAS PERUANAS**

Línea de Investigación:

Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y geotecnia
Modalidad de suficiencia profesional para Optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Autor:

Apaza Huallpa, José Luis

Asesor:

Pumaricra Padilla, Raúl Valentín
(ORCID: 0000-0002-7037-4396)

Jurado

Tello Malpartida, Omart Demetrio
Quintanilla Huayta, Darío
Ayquipa Quispe, Evelyn Estefany

Lima – Perú
2024

Dedicatoria

A mis padres, por brindarme su apoyo incondicional día a día para poder alcanzar uno de mis objetivos, que es ser profesional.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional Federico Villarreal, mis gracias infinitas por todos los conocimientos que sus catedráticos me transmitieron.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Trayectoria del autor	15
1.2 Descripción de la empresa.....	16
1.2.1 Construcción y Domótica Ventura SAC.....	16
1.2.2 Cesbe S.A. Sucursal del Perú.....	16
1.2.3 Dessau S&Z S.A.	16
1.3 Organigrama de la empresa.....	18
1.4 Áreas y funciones desempeñadas.....	19
1.4.1 Construcción y Domótica Ventura SAC.....	19
1.4.2 Cesbe S.A. Sucursal del Perú.....	19
1.4.3 Dessau S&Z S.A.	19
II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA	21
2.1 Descripción y formulación del problema.....	21
2.1.1 Formulación del problema	26
2.1.1.1 Problema general.	26
2.1.1.2 Problemas específicos.....	26
2.1.2 Justificación e importancia	26
2.1.3 Objetivos	27

2.1.3.1	Objetivo general.....	27
2.1.3.2	Objetivos específicos.	27
2.1.4	Hipótesis	27
2.1.4.1	Objetivo general.....	27
2.1.4.2	Objetivos específicos..	27
2.2	Marco teórico	28
2.2.1	Antecedentes	28
2.2.2	Bases teóricas.....	30
2.2.2.1	Estructuras de drenaje longitudinal.....	30
A.	<i>Cunetas.</i>	30
B.	<i>Cunetas o zanjas de coronación.</i>	36
B1.	<i>Cálculo de la sección de la cuneta.</i>	37
2.2.2.2	Estructuras de drenaje transversal.....	38
A.	<i>Alcantarillas.</i>	38
B.	<i>Diseño hidráulico de las alcantarillas de alivio.</i>	46
2.2.3	Definiciones básicas.....	49
2.2.3.1	Precipitación.	49
2.2.3.2	Intensidades de precipitación.	52
2.2.3.3	Escorrentía.	56
2.2.3.4	Tiempo De Concentración (Tc).	56
2.2.3.5	Coefficiente De Esgurrimiento (C).	58
2.2.3.6	Generación de caudales.....	60
2.3	Método	61
2.3.1	Metodología	61
2.3.1.1	Enfoque de investigación.....	61
2.3.1.2	Tipo de investigación.....	61

2.3.1.3 Diseño de investigación.....	61
2.3.2 Población y muestra.....	61
2.3.2.1 Población.....	61
2.3.2.2 Muestra.....	62
2.3.3 Instrumentos de recolección de datos	62
2.3.4 Procedimientos.....	62
2.3.5 Análisis de datos	64
2.3.5.1 Precipitación.....	64
2.3.5.2 Escorrentía.....	74
2.3.5.3 Tiempo de concentración (Tc).....	76
2.3.5.4 Coeficiente de escurrimiento (C).....	78
2.3.5.5 Generación de caudales.....	79
2.4 Resultados.....	80
2.4.1 Cunetas laterales.....	80
2.4.1.1 Determinación de la longitud máxima.....	80
2.4.1.2 Capacidad de la Cuneta.....	81
a. Área de la Cuneta.....	81
b. Perímetro mojado.....	81
c. Radio hidráulico.....	81
d. Velocidad.....	81
e. Caudal.....	81
e. Área Tributaria.....	82
f. Longitud Máxima.....	82
2.4.2 Zanjas de coronación	82
2.4.2.1 Cálculo de la sección de la cuneta.....	83
a. Área de la Cuneta.....	83
b. Perímetro mojado.....	83
c. Radio hidráulico.....	83

d. Ecuación de Manning:	84
2.4.2.2 Cálculo del área tributaria.	84
2.4.3 Alcantarillas	84
2.4.3.3 Muros cabezales para alcantarillas.....	85
2.4.3.4 Diseño hidráulico de las alcantarillas de alivio.....	86
2.5 Discusión de resultados.....	88
III. APORTES MÁS DESTACABLES A LA EMPRESA/INSTITUCIÓN.....	89
IV. CONCLUSIONES.....	90
V. RECOMENDACIONES.....	91
VI. REFERENCIAS	92
VII. ANEXOS.....	94
Anexo A.....	95
Anexo B.....	100
Anexo C.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama de la Supervisión	18
Figura 2 Carretera Pampamarca - Tungasuca - Pabellones	23
Figura 3 Distribución espacial de la precipitación pluvial, promedio anual (periodo 1981-2010)	24
Figura 4 Pronóstico probabilístico por regiones a nivel nacional de la precipitación	25
Figura 5 Sección típica de cuneta triangular.....	34
Figura 6 Detalle típico de zanja de coronación.....	36
Figura 7 Detalle de zanja de coronación en pendientes muy pronunciadas.	37
Figura 8 Alcantarilla tipo tubería metálica corrugada (TMC).	39
Figura 9 Alcantarilla tipo marco de concreto.	40
Figura 10 Principales elementos que constituyen una alcantarilla.	41
Figura 11 Esquema $d = 0.75 D$	45
Figura 12 Dimensiones de la estructura de la alcantarilla de alivio	47
Figura 13 Diagrama de doble masa.	66
Figura 14 Relación Precipitación – Altitud.	68
Figura 15 Gráfico de la cuneca lateral.	80
Figura 16 Dimensionamientos de las cunetas de coronación.	83

Figura 17 Diagrama en planta de la alcantarilla.	85
Figura 18 Corte B-B'.	86
Figura 19 Valores de precipitación media mensual e histograma para la estación Perayoc....	96
Figura 20 Valores de precipitación media mensual e histograma para la estación Combapata.	97
Figura 21 Valores de precipitación media mensual e histograma para la estación Yauri.	98
Figura 22 Valores de precipitación media mensual e histograma para la estación Acomayo.	99
Figura 23 Carretera Combapata – Pampamarca 1.	101
Figura 24 Carretera Combapata – Pampamarca 2.	101
Figura 25 Laguna Pampamarca.	102
Figura 26 Pueblo de Pampamarca.....	102
Figura 27 Inicio de la carretera Pampamarca – Tungasuca.	103
Figura 28 Carretera Pampamarca – Tungasuca 1.	103
Figura 29 Carretera Pampamarca – Tungasuca 2.	104
Figura 30 Pueblo de Tungasuca.	104
Figura 31 Carretera Tungasuca – Pabellones 1.....	105
Figura 32 Carretera Tungasuca – Pabellones 2.....	105
Figura 33 Pueblo de Pabellones.....	106

Figura 34 Alcantarillas rectangulares de concreto en mal estado.....	106
--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Dimensiones mínimas de las cunetas.....	31
Tabla 2 Coeficiente De Rugosidad de Manning.	32
Tabla 3 Velocidades límites.....	32
Tabla 4 Valores para el coeficiente de permeabilidad “C”.....	33
Tabla 5 Criterio de diseño generalizados para estructuras de control de agua.	53
Tabla 6 Coeficiente según el área drenada.	58
Tabla 7 Pendiente de la topografía.....	59
Tabla 8 Estaciones Meteorológicas Analizadas.....	64
Tabla 9 Resumen promedio de precipitaciones	67
Tabla 10 Intensidad máxima de precipitaciones de las tormentas – Parte 1.....	70
Tabla 11 Intensidad máxima de precipitaciones de las tormentas – Parte 2.....	71
Tabla 12 Resumen de intensidades máximas para diferentes tiempos de duración.	72
Tabla 13 Análisis de frecuencias para intensidades regionalizadas.....	73
Tabla 14 Cálculo de intensidades de diseño para diferentes periodos de retorno.	74
Tabla 15 Características físicas de las cuencas.....	76
Tabla 16 Cálculo del tiempo de concentración.....	76
Tabla 17 Cálculo según la fórmula de Passini.	77

Tabla 18 Cálculo según la fórmula de California.	77
Tabla 19 Promedio de los resultados de los tiempos de concentración.	78
Tabla 20 Resultado final del cálculo de los coeficientes de escorrentía.	78
Tabla 21 Cálculo del caudal máximo.	79
Tabla 22 Cálculo del diámetro y parámetros de las alcantarillas.	84
Tabla 23 Cálculo de áreas de las alcantarillas de alivio "canal revestido".	87

Resumen

Basándonos en el Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito y el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje, el propósito fue determinar si el diseño de estructuras de drenaje bajo normas puede contribuir a la conservación de una carretera, determinar intensidades máximas de precipitación, diseñar estructuras de drenaje (cunetas laterales, zanjas de coronación, alcantarillas y alcantarillas de alivio). Aplicar el diseño bajo normas contribuye a la conservación de una carretera. Este informe es de enfoque cuantitativo, tipo descriptivo y el diseño de investigación es no experimental. La aplicación de este estudio se ubica en la carretera de 7.52 km entre las localidades de Pampamarca, Tungasuca y Pabellones, en el departamento de Cusco. Además, para un periodo de retorno de 10 años las intensidades máximas de precipitación son: 80 mm/h, 71.94 mm/h, 66.16 mm/h, y 57 mm/h. Los resultados mostraron caudales máximos de: 2.23 m³/s en la progresiva (km.0+620.00) y 1.71 m³/s en la progresiva (km.4+810.00). La sección de las cunetas laterales tiene una profundidad de 0.30 m, un ancho de 0.50 m y un rebose de 0.05 m. Las zanjas de coronación tienen un área hidráulica de sección transversal de 0.326 m², un perímetro mojado de 0.217 m y un radio hidráulico de 0.217 m. Las alcantarillas tienen un diámetro de 48", longitud de 6 m y una pendiente de 3%, y las de alivio tienen una longitud de 5 m, una altura de 0.40 m y una base de 0.40 o 0.50 m.

Palabras clave: precipitaciones, diseño, drenaje.

Abstract

. Based on the Manual of Design of Low Traffic Volume Unpaved Roads and the Manual of Hydrology, Hydraulics and Drainage, the report aims to determine if the design of drainage structures under standards can contribute to the conservation of a road, determine maximum precipitation intensities, design drainage structures (side ditches, crest ditches, culverts and relief culverts). Applying design under standards contributes to the conservation of a road. This report has a quantitative approach, descriptive type and the research design is non-experimental. The application of this study is located on the 7.52 km highway between the towns of Pampamarca, Tungasuca and Pabellones, in the department of Cusco. For a return period of 10 years, the maximum precipitation intensities are: 80 mm/h, 71.94 mm/h, 66.16 mm/h, and 57 mm/h. The results showed maximum flows of: 2.23 m³/s in the progressive (km.0+620.00) and 1.71 m³/s in the progressive (km.4+810.00). The section of the side ditches has a depth of 0.30 m, a width of 0.50 m and an overflow of 0.05 m. The crest trenches have a hydraulic cross-sectional area of 0.326 m², a wetted perimeter of 0.217 m, and a hydraulic radius of 0.217 m. The culverts have a diameter of 48", a length of 6 m and a slope of 3%, and the relief culverts have a length of 5 m, a height of 0.40 m and a base of 0.40 or 0.50 m.

Keywords: rainfall, design, drainage.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Trayectoria del autor

Bachiller formado en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Federico Villarreal desde el año 2012, obteniendo el grado de bachiller en junio del 2019.

A. Construcción y Domótica Ventura SAC trabajos de instalaciones de postes en Asia con el cargo asistente de metrados, costos y presupuestos / (enero 2022 - octubre 2022).

B. Cesbe S.A. Sucursal del Perú en el Proyecto Aprovechamiento de la Quebrada Tupuri.con el cargo asistente de control de calidad / (setiembre 2021 - diciembre 2021).

C. Construcción y Domótica Ventura SAC supervisión de trabajos de edificaciones diversas con el cargo de Asistente de ingeniería civil / (agosto 2020 - setiembre 2021).

D. DESSAU S&Z en el Proyecto Aprovechamiento de la Quebrada Tupuri.con el cargo asistente de ingeniería civil / (noviembre 2019 - julio 2020).

E. Construcción y Domótica Ventura SAC supervisión de trabajos de edificaciones y telecomunicaciones con el cargo de Asistente de metrados, costos y presupuestos / (julio 2019 - octubre 2019).

F. DESSAU S&Z en el Proyecto Aprovechamiento de la Quebrada Tupuri.con el cargo asistente de ingeniería civil / (setiembre 2018 - julio 2019).

1.2 Descripción de la empresa

1.2.1 Construcción y Domótica Ventura SAC

Es una compañía originaria de Perú que comenzó sus actividades en el año 2017, con la visión y el compromiso de contribuir a la construcción de obras de calidad en el Perú. Ofrece a sus clientes sus servicios en las actividades de arquitectura, ingeniería y telecomunicaciones.

1.2.2 Cesbe S.A. Sucursal del Perú

Da inicio el 30 de enero del 2015, el cuerpo directivo de Cesbe Brasil opta por establecer su primera sucursal en América Latina, dando origen a Cesbe S.A. Sucursal del Perú. En sus inicios, se adentra en el ámbito de la construcción con la aspiración de consolidarse como una destacada empresa constructora. Su compromiso radica en mantener los estándares de excelencia en ingeniería mediante la ejecución de obras de alta calidad en territorio peruano.

De igual manera, su sistema integral de gestión abarca la realización de diversas obras civiles, que incluyen proyectos viales, infraestructuras de saneamiento, construcción de centrales hidroeléctricas, implementación de líneas de transmisión, obras hidráulicas y edificaciones.

1.2.3 Dessau S&Z S.A.

Dessau S&Z S.A. Es una firma peruana establecida en 1978, especializada en servicios de diseño, obtención de permisos, gestión social y supervisión de proyectos en diversas áreas de la infraestructura. Sus competencias abarcan proyectos en sectores como hidráulica, energía, saneamiento, irrigación, transporte, entre otros.

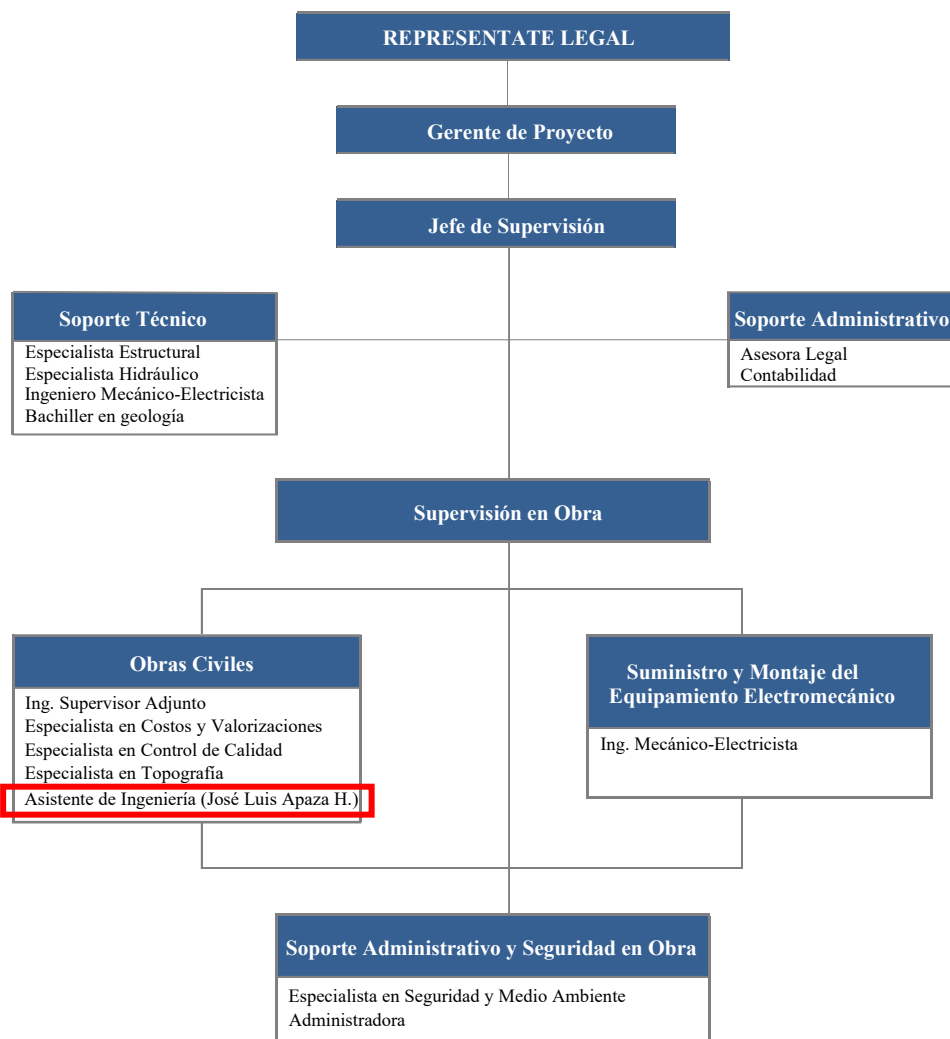
Gracias a su equipo multidisciplinario, Dessau S&Z tiene la capacidad de proporcionar a sus clientes soluciones integrales en todas las fases de los proyectos, desde la construcción hasta la operativa. Esto implica brindar un respaldo estructurado que abarca diversas disciplinas, incluyendo servicios de ingeniería, estudios regulatorios, gestión de proyectos, análisis medioambientales, programas sociales, gestión de permisos, investigaciones especializadas, supervisión de estudios y obras, entre otros.

1.3 Organigrama de la empresa

La empresa consta como se aprecia en la Figura 1, desde el representante legal con su gerente de proyectos hasta el área de soporte técnico. Mientras que en este caso el bachiller Apaza Huallpa José Luis se encuentra como asistente de ingeniería en el área de obras civiles.

Figura 1

Organigrama de la Supervisión



Fuente: Propia

1.4 Áreas y funciones desempeñadas

En general me desarrolle en 3 empresas, en las cuales me desempeñe con diferentes funciones y las cuales se mencionan a continuación:

1.4.1 Construcción y Domótica Ventura SAC

- Supervisión y liberación de trabajos en campo.
- Verificación de materiales según las especificaciones técnicas.
- Elaboración de informes diarios informes mensuales e informes técnicos.
- Elaboración y revisión de metrados y valorizaciones.

1.4.2 Cesbe S.A. Sucursal del Perú

- Verificación de materiales según las especificaciones técnicas.
- Control y seguimientos de documentos de control de calidad.
- Elaboración de informes diarios, informes mensuales e informes técnicos.
- Inspección, verificación y liberación de trabajos de control de calidad.
- Elaboración de protocolos de control de calidad y Dossier de calidad.

1.4.3 Dessau S&Z S.A.

- Asistente de Supervisión de control de calidad.
- Control de documentos de oficina técnica.
- Elaboración de informes diarios e informes técnicos.
- Elaboración y revisión de metrados para las valorizaciones.

- Verificar los avances, calidad de materiales, calidad de las obras y cumplimiento de las especificaciones técnicas.

II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD ESPECÍFICA

2.1 Descripción y formulación del problema

Se lleva a cabo la planificación y diseño de estructuras de drenaje, ya que resulta esencial y evidente de acuerdo con las condiciones viales. Esto se debe a que las estructuras viales se encuentran expuestas a los elementos atmosféricos, siendo el agua su principal adversario.

Teniendo en cuenta que, al no contar con estructuras de drenaje, las intensas precipitaciones provenientes de la sierra del Perú generan daños a todos los componentes que conforman la estructura de la carretera. Estos impactos afectan tanto a las laderas naturales como a los taludes de corte y relleno, comprometiendo la plataforma de tierra que sostiene el pavimento y, en última instancia, afectando al pavimento mismo.

Por ello, la protección que las estructuras de drenaje vial brindan, pueden asegurar las inversiones que representan las construcciones y/o mantenimientos de las vías, impidiendo el deterioro que las aguas provenientes de las precipitaciones producen estas medidas se implementan con el objetivo de prevenir los daños que podrían ocasionarse en propiedades circundantes a las estructuras mencionadas.

Para la Asociación Mundial de la Carretera (2014), la conservación del drenaje es cada vez más importante, ya que la intensidad de las precipitaciones aumenta al pasar de los años. Una correcta planificación de la conservación del sistema de drenajes antes, durante y después de la temporada de lluvia ayudaría a prevenir la degradación de las carreteras.

En Europa Central y Oriental, se han registrado recientemente experiencias de inundaciones, influenciadas por las variaciones climáticas que han propiciado un aumento en las inundaciones en las cuencas de los ríos Danubio, Odra y Elva. La gestión adecuada del

drenaje se convierte en un elemento crucial para hacer frente a estas inundaciones, dado su papel fundamental en la preservación de las carreteras.

El impacto económico del fenómeno meteorológico extremos se genera en gran magnitud en el transporte.

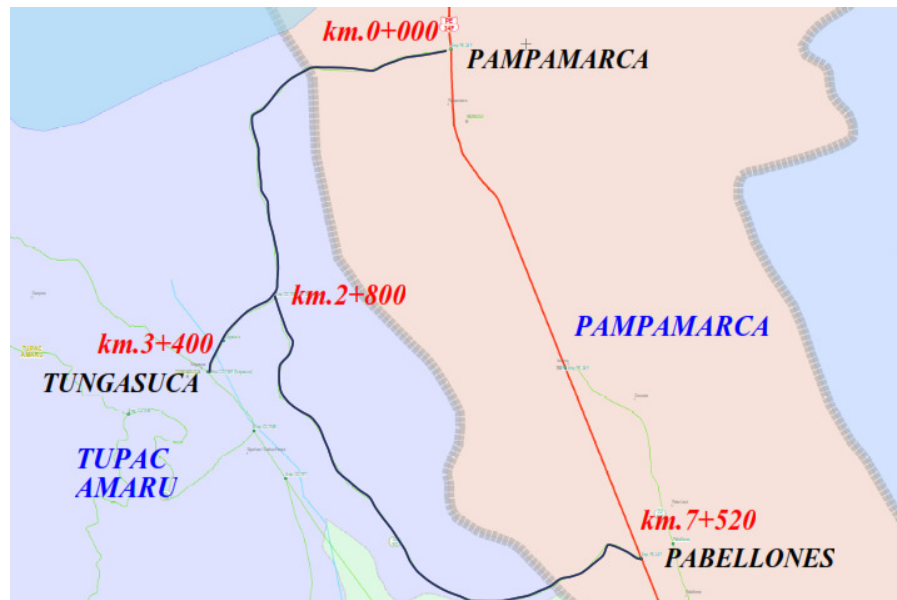
Para la Asociación Mundial de la Carretera (2014), el costo económico total derivado de los impactos de fenómenos meteorológicos extremos en el sector del transporte asciende a 2,250 millones de euros, siendo el transporte por carretera responsable del 80% de este total (1,800 millones de euros anuales). Dentro del transporte por carretera, el 46% del costo total se atribuye a daños causados por lluvias e inundaciones.

Por lo que se indica al no contar con estructuras de drenaje en las carreteras, se ocasionaría un gran impacto económico en el mantenimiento o reparaciones de las mismas, por eso es de gran importancia contar con estructuras de drenaje para la conservación de las carreteras y así evitar que las precipitaciones causen un gran impacto en ellas.

Ya que actualmente se requiere realizar trabajos de mejoramiento de la carretera de 7.52 km que une las localidades de Pampamarca, Tungasuca y Pabellones, donde la ubicación del proyecto se encuentra en la parte Central Occidental del departamento del Cusco, abarcando la jurisdicción de los distritos de Pampamarca y Tupac Amaru. Geográficamente, la zona de proyecto se extiende en la Cordillera Central de los Andes, con altitudes que oscilan entre los 3700 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y los 4000 m.s.n.m. Esta área pertenece a las regiones naturales de Quechua y Suni.

Figura 2

Carretera Pampamarca - Tungasuca - Pabellones



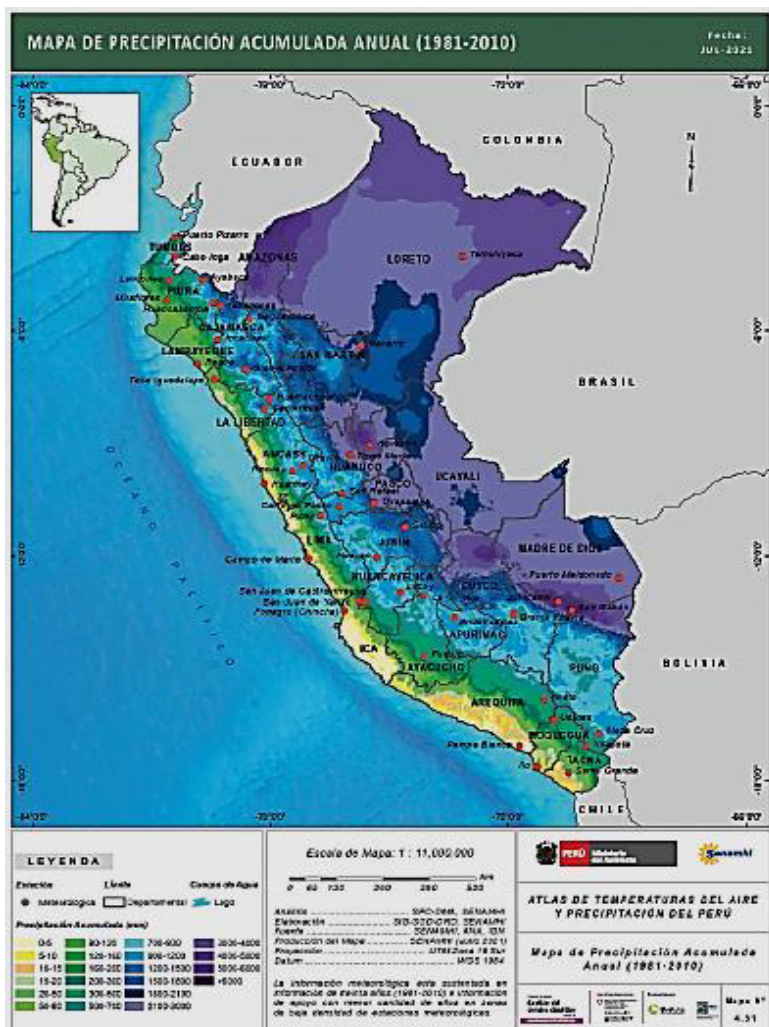
Fuente: Propia

Los acumulados anuales de precipitación tienden a disminuir a mayor latitud; es así que, en la Sierra de Ayacucho, Apurímac y Cusco el periodo de lluvias es de 4 meses, de diciembre a marzo, mientras que en la Sierra oeste y suroeste de Puno la duración del periodo lluvioso es de aproximadamente tres meses (segunda quincena de diciembre a primera quincena de marzo), con los mayores acumulados en enero.

A continuación, se muestra la Figura 3 en la que se indica que la precipitación anual en el área de estudio varía entre 600 mm a 900 mm.

Figura 3

Distribución espacial de la precipitación pluvial, promedio anual (periodo 1981-2010)



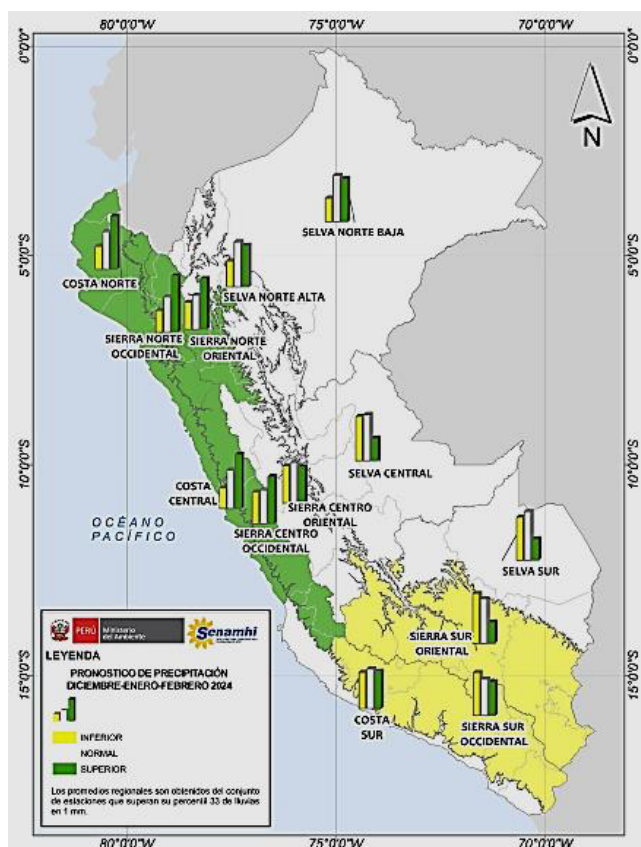
Fuente: Atlas de temperaturas del aire y precipitación del Perú (SENAMHI)

Según el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) para el año 2023, la región de Cusco, ubicada en la sierra sur oriental, experimentará lluvias por debajo de lo normal en los meses de diciembre de 2023, enero y febrero de 2024, con una probabilidad de ocurrencia del 43%. Se anticipa que las temperaturas máximas estarán por encima de lo normal, con un 52% de probabilidad de ocurrencia, mientras que las temperaturas mínimas se mantendrán en condiciones normales, con un 47% de probabilidad de ocurrencia.

A continuación, esto se aprecia mejor en la Figura 4, que puede haber presencia mayor de lluvia, con una probabilidad de 19 %.

Figura 4

Pronóstico probabilístico por regiones a nivel nacional de la precipitación



Fuente: Perspectivas Climáticas Periodo diciembre 2023 – febrero 2024 (SENAMHI)

Se proyectan estructuras de drenaje específicas para la mencionada carretera con el propósito de que desempeñen un papel crucial como medida de protección, asegurando la operatividad constante de la vía. Este enfoque busca no solo salvaguardar la infraestructura vial, sino también optimizar la eficiencia operativa, reducir los costos asociados con el mantenimiento y conservación de la carretera a lo largo del tiempo.

Los estudios hidrológicos que se llevarán a cabo se inician mediante el análisis de los registros meteorológicos provenientes de estaciones cercanas a la zona del proyecto. Posteriormente, con el respaldo de técnicas estadísticas, se verifica la consistencia de estos registros. Este proceso es fundamental para determinar las precipitaciones medias, escurrimiento e intensidades máximas correspondientes a diferentes periodos de retorno. Estos datos son esenciales para la planificación y diseño de las obras de arte y sistemas de drenaje. El enfoque se basa en las directrices proporcionadas por el Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito y el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje.

2.1.1 Formulación del problema

2.1.1.1 Problema general. ¿De qué manera el diseño de estructuras de drenaje según las normas peruanas puede contribuir a la conservación de una carretera?

2.1.1.2 Problemas específicos. ¿Cómo determinar los valores de las intensidades máximas de precipitación para el diseño de estructuras de drenaje para la conservación de una carretera?

¿Cómo realizar el diseño de las estructuras de drenaje para la carretera Pampamarca – Tungasuca - Pabellones del departamento de Cusco?

2.1.2 Justificación e importancia

La importancia del informe es la preservación y conservación de la carretera, por medio de las estructuras de drenaje, ya que en la actualidad se requieren realizar trabajos de mejoramiento de la carretera Pampamarca – Tungasuca- Pabellones en el departamento de Cusco. De igual manera, en la sierra del Perú, en especial en el departamento de Cusco se caracteriza por sus fuertes precipitaciones pluviales y dado que resulta sumamente importante realizar obras de drenaje para la carretera en mención, se requiere realizar el diseño de

estructuras de drenaje de dicha carretera, con la finalidad de estas estructuras son una medida para proteger la vía y garantizar su futuro funcionamiento, así como para ahorrar costes de mantenimiento y conservación de la vía.

Por tal motivo se busca proteger la vía de las precipitaciones, así como también ahorrar costos de mantenimiento y conservación de la vía, este informe busca generar procedimientos, resultados y recomendaciones que pueden servir a futuros investigadores

2.1.3 Objetivos

2.1.3.1 Objetivo general. Determinar si el diseño de estructuras de drenaje según las normas peruanas puede contribuir a la conservación de una carretera

2.1.3.2 Objetivos específicos. Determinar los valores de las intensidades máximas de precipitación para el diseño de estructuras de drenaje para la conservación de una carretera

Realizar el diseño de las estructuras de drenaje para la carretera Pampamarca – Tungasuca- Pabellones del departamento de Cusco.

2.1.4 Hipótesis

2.1.4.1 Objetivo general. Si realizamos el diseño de estructuras de drenaje según las normas peruanas entonces contribuirá a la conservación de una carretera.

2.1.4.2 Objetivos específicos. Si Determinamos los valores de las intensidades máximas de precipitación entonces podremos realizar el diseño de estructuras de drenaje para la conservación de una carretera.

Si realizamos el diseño de las estructuras de drenaje entonces contribuirá a la conservación de la carretera Pampamarca – Tungasuca- Pabellones del departamento de Cusco.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Antecedentes

La planificación adecuada de las estructuras de drenaje en una carretera adquiere una gran relevancia, especialmente en la región montañosa del Perú, donde las precipitaciones son elevadas. Este enfoque es esencial para asegurar la longevidad de las diversas estructuras que conforman la carretera, contribuyendo así a la preservación integral de la vía. Además, la importancia de implementar estas estructuras de drenaje radica en su impacto directo en la durabilidad de los elementos viales, enfatizando la necesidad de un diseño apropiado que cumpla con las pautas establecidas en el Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito y el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

Para Yañez (2014) un mal estudio hidrológico o un mal diseño hidráulico, generan un ineficiente sistema de drenaje, para lo cual se debería contar con datos meteorológicos de fuentes confiables y actualizados. También sostiene que, si no se realizan mantenimientos en las estructuras de drenaje, estas pueden ocasionar la disminución de su capacidad hidráulica.

Para Vasquez (2021) un diseño apropiado de las estructuras de drenaje en carreteras, con las dimensiones hidráulicas adecuadas, contribuye significativamente a mejorar la funcionalidad de la vía. Esto implica que se previenen problemas de inundaciones durante épocas de lluvia, permitiendo que estas estructuras cumplan eficazmente con su propósito de diseño.

Para Saldaña y Mera (2014) el deterioro continuo por erosión de una carretera se debe a las continuas precipitaciones pluviales y al hecho de no contar con estructuras de drenaje, las cuales deben estar bien cimentadas en todas las zonas críticas y sus dimensiones deben ser las

apropiadas, para que puedan brindar un adecuado servicio y mantener su vida útil. Que es fundamental para el desarrollo socio-económico.

La función de las estructuras de drenaje en carreteras es poder canalizar y evacuar el agua proveniente generalmente de las precipitaciones, que se acumulan en la carretera o en sus alrededores provocando un deterioro parcial o total de una carretera.

Para Marín y Pérez (2014) las obras de drenaje y subdrenaje en carreteras son necesarios e importantes, ya que estas representan una mejora a nivel social y económico. También nos menciona que es importante considerar para su diseño los factores de clima, hidrología y ecología, a fin de preservar el ecosistema.

Las estructuras de drenaje superficial que se van diseñar para esta carretera se pueden clasificar en longitudinales (cunetas, cunetas o zanjas de coronación y transversales (alcantarillas).

Para Maldonado y Rodríguez (2012) el material de revestimiento de las cunetas se deberá escoger según sea la importancia de las cunetas y el nivel de precipitaciones "teniendo en cuenta la importancia del relieve en la región del proyecto, se resalta como un elemento fundamental para calcular el coeficiente de Manning". Sostiene también que se debe realizar limpieza de las estructuras de drenaje, la cual va depender de la vegetación de la zona en la cual se desarrolla el proyecto vial.

2.2.2 Bases teóricas

2.2.2.1 Estructuras de drenaje longitudinal.

A. Cunetas. Son zanjas longitudinales que se pueden construir en uno o ambos lados de una carretera, estas pueden ser revestidas o no revestidas, que cumplen la función de capturar y drenar el agua de las precipitaciones de las pendientes que fluyen por la vía.

Las cunetas pueden ser de diferentes tipos de sección (triangular, trapezoidal o rectangular), siendo la de uso más común la de sección triangular, por la facilidad que se tiene al momento de su construcción y mantenimiento. Con respecto a las cunetas rectangulares son las menos usadas por cuestión de seguridad, pero hay casos que se colocan tapas de concreto, elevando el costo de su construcción.

En otro aspecto, en relación con el adecuado rendimiento de las cunetas en las carreteras

Para el manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2008) es esencial programar el mantenimiento de las cunetas al menos dos veces al año, antes y después del período de lluvias, especialmente en regiones de la sierra y la selva del país.

Para prevenir la erosión o filtraciones de agua que afectan las carreteras se realizan el diseño y construcción de las cunetas.

Para el manual de hidrologías, hidráulicas y drenajes (2008) el revestimiento de las cunetas, se puede emplear concreto o, en situaciones específicas, mampostería de piedra, siempre y cuando se haya verificado la velocidad de acuerdo con las pendientes finales del trazo geométrico. Por ello, se aconseja un revestimiento de concreto con resistencia $f_c = 175$ kg/cm² y un espesor de 0.075 m.

A1. Dimensiones mínimas. Se establecerán considerando las condiciones de precipitación específicas de la zona. En caso de optar por la sección triangular, se seguirán las dimensiones mínimas indicadas en la Tabla 1.

Tabla 1*Dimensiones mínimas de las cunetas.*

Región	Profundidad (d) (metros)	Ancho (a) (metros)
Seca (<400 mm/año)	0.20	0.40
Lluviosa (De 400 a <1600 mm/año)	0.30	0.55
Muy lluviosa (De 1600 a <3000 mm/año)	0.40	1.00

Fuente: Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008).

A2. Determinación de la longitud máxima. Las medidas se determinarán en función de las características pluviales de la región. En caso de seleccionar la sección triangular, se adoptarán las dimensiones mínimas especificadas en la Tabla 1.

a. Capacidad de la cuneta. - Ley de Continuidad.

$$Q = V * A \dots \dots \dots (1)$$

Q: capacidad de cuneta (m³/s)

V: velocidad (m/3)

A: área de la sección hidráulica en m²

b. Velocidad (m/s). - Fórmula de Manning:

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

Se reemplazan la ecuación (2) en la ecuación (1):

$$Q = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n} \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

A: área de la sección hidráulica en m²

n: coeficiente de rugosidad de Manning

S: pendiente de la cuneta (m/m)

R: radio hidráulico en m ($R = A / P$)

P: perímetro mojado en m

Tabla 2

Coefficiente De Rugosidad de Manning.

Tipo de material	Mínimo	Normal	Máximo
Tubo metálico corrugado	0.021	0.024	0.030
Tubo de concreto	0.010	0.015	0.020
Canal revestido en concreto alisado	0.011	0.015	0.017
Canal revestido en concreto sin alisar	0.014	0.017	0.020
Canal revestido albañilería de piedra	0.017	0.025	0.030
Canal sin revestir en tierra o grava	0.018	0.027	0.030
Canal sin revestir en roca uniforme	0.025	0.035	0.040
Canal sin revestir en roca irregular	0.035	0.040	0.050
Canal sin revestir con maleza tupida	0.050	0.080	0.120
Río en planicies de cauce recto sin zonas con piedras y malezas	0.025	0.030	0.035
Ríos sinuosos o torrentosos con piedras	0.035	0.040	0.600

Fuente: Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008)

Los valores de velocidad obtenidos deben estar dentro de los límites:

Tabla 3

Velocidades límites.

Tipo de superficie	Velocidades admisibles (m3/s)
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0.20 – 0.60
Arena arcillosa dura, margas duras	0.60 – 0.90
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0.60 – 1.20
Arcilla, grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1.20 – 1.50

Hierba	1.20 – 1.80
Conglomerado, pizarras duras, rocas blandas	1.40 – 2.40
Mampostería, rocas duras	3.00 – 4.50
Concreto	4.50 – 6.00

Fuente: Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008)

Tabla 4

Valores para el coeficiente de permeabilidad “C”.

DESCRIPCIÓN	COEF. “C”
- Terrenos montañoso con suelo de roca y Pendientes pronunciadas.	1
- Terrenos quebrados con pendientes moderadas.	0.65
- Terrenos irregulares, muy largas.	0.5
- Terrenos agrícolas ondulados	0.33
- Terrenos llanos, sensiblemente horizontales	0.2

Fuente: Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito (2008)

A3. Cálculo de la longitud máxima. Esta es la longitud máxima a la que el agua que fluye desde la pendiente y la superficie de la carretera, no pasa más allá de la zanja.

$$L_{\text{máx}} = \frac{A}{b} \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

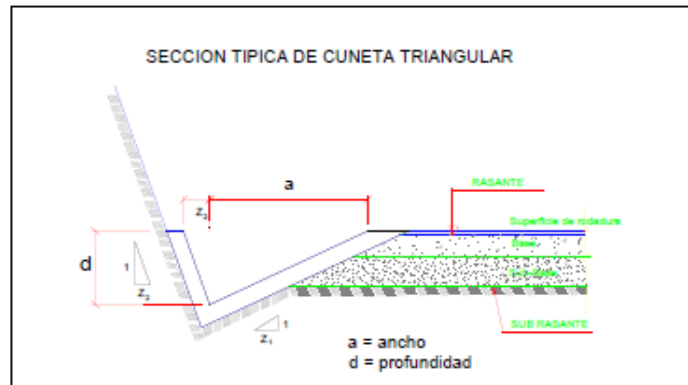
A: área tributaria (m²)

b: ancho de influencia (m)

A4. Capacidad de cuneta. Esta es la longitud máxima a la que el agua que fluye desde la pendiente y la superficie de la carretera, no pasa más allá de la zanja.

Figura 5

Sección típica de cuneta triangular



Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2008).

a. Área de la Cuneta

$$Z = \frac{Z_1 + Z_2}{2} \dots \dots \dots (5)$$

Z: talud o pendiente promedio

Z₁, Z₂: taludes o pendientes

$$T = a + c \dots \dots \dots (6)$$

$$A = d * Z^2 \dots \dots \dots (7)$$

$$A = \frac{T * d}{2} \dots \dots \dots (8)$$

T: tirante

a, b: anchos parciales (m)

A: área de cuneta (m²)

d: profundidad (m)

b. Perímetro mojado

$$P = d * (1 + Z_1^2)^{1/2} + d * (1 + Z_2^2)^{1/2} \dots \dots \dots (9)$$

P: perímetro mojado (m)

d: profundidad (m)

Z_1, Z_2 : taludes o pendientes

c. Radio hidráulico

$$R = \frac{A}{P} \dots \dots \dots (10)$$

R: radio hidráulico (m)

A: área de cuneta (m²)

P: perímetro mojado (m)

d. Velocidad

$$V = \frac{R^{2/3} * S^{1/2}}{n} \dots \dots \dots (11)$$

V: velocidad (m/s)

A: área de cuneta (m²)

P: perímetro mojado (m)

e. Área tributaria

$$A = \left(\frac{Q}{0.022 * C * I * S^{1/4}} \right)^{4/3} \dots \dots \dots (12)$$

A: área tributaria (m²)

Q: capacidad de cuneta (m³/s)

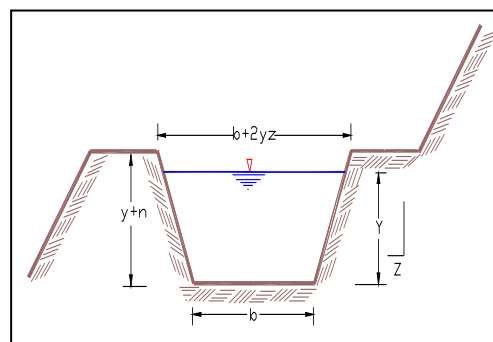
C: coeficiente de permeabilidad

S: pendiente de la cuneta (m/m)

B. Cunetas o zanjas de coronación. Se refieren a zanjas longitudinales que se construyen en las proximidades de la parte superior de un talud de corte, generalmente paralelos al eje de la vía, las cuales son diseñadas para interceptar el agua superficial de las precipitaciones que fluyen por el talud desde una mayor altura, con el fin de evitar la erosión del talud del terreno especialmente en zonas de pendientes pronunciadas. En algunas ocasiones se presentan cunetas de coronación con una mayor pendiente.

Figura 6

Detalle típico de zanja de coronación

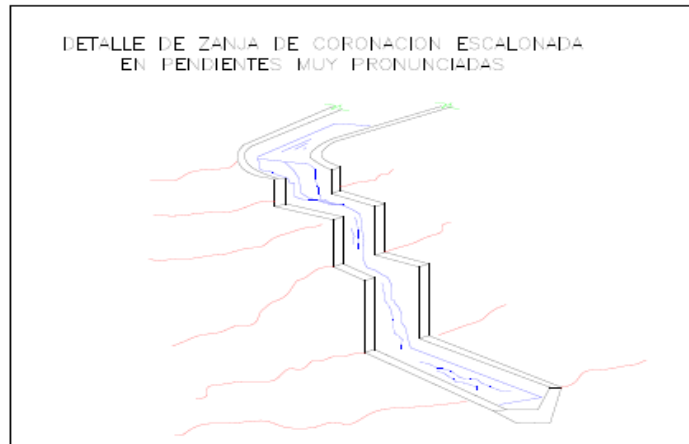


Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2008).

Para el manual de hidrologías, hidráulicas y drenajes (2008) cuando la inclinación supera el 2%, es imprescindible que el canal esté revestido con concreto simple o enrocado, considerando factores como el área mojada y la rugosidad del canal. En el caso de pendientes más pronunciadas, se recomienda la construcción de zanjas escalonadas con emboquillado de piedra debajo de la caída.

Figura 7

Detalle de zanja de coronación en pendientes muy pronunciadas



Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2008).

B1. Cálculo de la sección de la cuneta.

a. Área de la Cuneta. Se va calcular el área según la Figura 5, que es el detalle típico de zanja de coronación.

$$T = b + Zy \dots \dots \dots (13)$$

$$A = (b + Zy)y \dots \dots \dots (14)$$

T: tirante (m)

Z: talud o pendiente

b: base (m)

A: área de cuneta (m²)

y: profundidad (m)

b. Perímetro mojado

$$P = b + 2y * (1 + Z^2)^{1/2} \dots \dots \dots (15)$$

P: perímetro mojado (m)

y: profundidad (m)

Z: talud o pendiente

c. Radio hidráulico. Se va calcular con la ecuación (10) antes ya planteada, es decir el radio hidráulico es igual al área de la cuneta entre el perímetro mojado del mismo.

$$R = \frac{(b + Zy)y}{b + 2y * (1 + Z^2)^{1/2}} \dots \dots \dots (16)$$

R: radio hidráulico (m)

b: base (m)

Z: talud o pendiente

y: profundidad (m)

d. Velocidad. Se va calcula con la ecuación (11) antes ya planteada.

e. Área tributaria. Se va calcula con la ecuación (12) antes ya planteada.

2.2.2.2 Estructuras de drenaje transversal

A. Alcantarillas. Son estructuras que se construyen de forma transversales, se encuentran por debajo de la carretera y su función es dirigir el agua ya sea proveniente de las precipitaciones del desplazamiento del agua desde pequeñas cuencas hidrográficas, arroyos, canales de riego, acequias o escorrentías hacia canales naturales es esencial. Además, la carretera debe tener las dimensiones apropiadas y, en ciertas ocasiones, se hace necesario implementar medidas de protección contra deslizamientos de tierra.

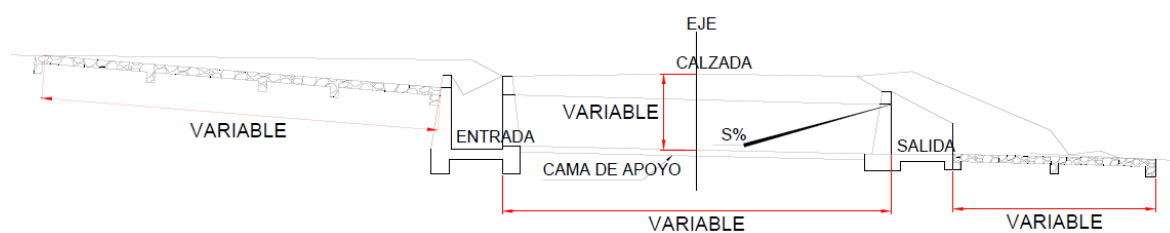
Para el manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2008), la clasificación de una estructura como alcantarilla se determina por su longitud o tamaño, y se establece que se considera alcantarilla a aquella estructura cuya luz sea inferior a 6.0 metros. La función principal de estas alcantarillas es evacuar el flujo superficial originado por cursos de agua, tanto naturales como artificiales, que interceptan la carretera.

En las carreteras del Perú, los tipos de alcantarillas más comúnmente empleados son el marco de concreto, las tuberías metálicas corrugadas, las tuberías de concreto y las tuberías de polietileno de alta densidad. Cabe señalar que hay parámetros que se nos indica en las normas peruanas.

Para el manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2008) en vías de mucho tránsito, para facilitar la limpieza y mantenimiento del alcantarillado, se instalará un tramo circular mínimo de 0,90 metros (36 pulgadas) de diámetro, o su equivalente en otro tramo. Además, esta medida se aplicará, con excepción de los casos en que se trate de cruces de canales de riego, cuyos tramos se tomarán de acuerdo con el proyecto específico de cada caso.

Figura 8

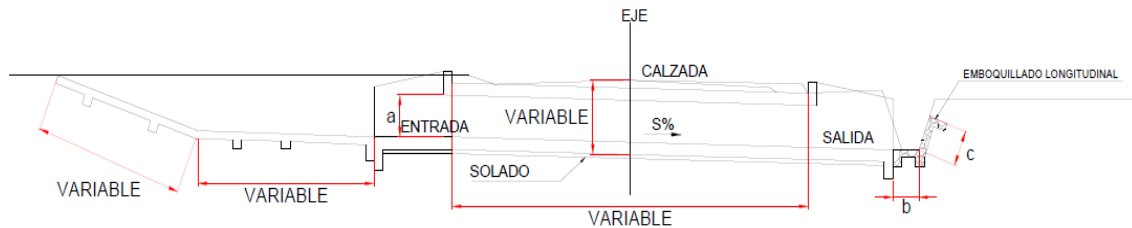
Alcantarilla tipo tubería metálica corrugada (TMC)



Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2008).

Figura 9

Alcantarilla tipo marco de concreto



Fuente: Manual de hidrología, hidráulica y drenaje (2008).

Igualmente, las alcantarillas constan principalmente de cabezales, aleros o muros de entrada y salida e incluso en ocasiones requieren de una protección adicional a la cual se le conoce como emboquillado.

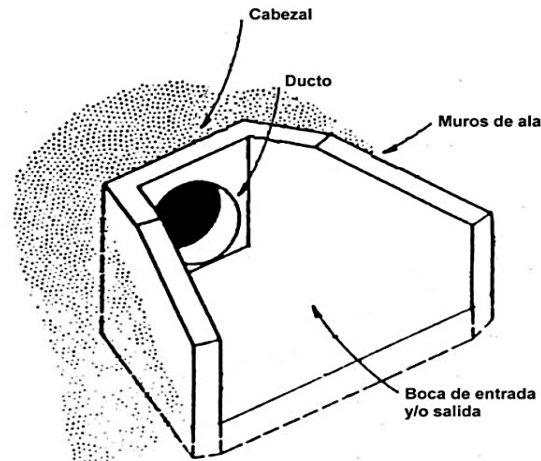
a. Cabezales. Son estructuras o muros que van en la entrada y salida de la alcantarilla, cuya función es proteger de la erosión del terraplén que sostiene, por otra parte, le da una mayor estabilidad y a su vez protege a la alcantarilla.

b. Aleros. Son estructuras o muros que van a los costados de los cabezales en la entrada y salida de la alcantarilla, su función es orientar el flujo de agua que pasa mediante de la alcantarilla.

c. Emboquillado. Son estructuras de concreto con un porcentaje de piedras, cuya función es el encauzamiento al ingreso y salida de la alcantarilla, se realiza al pie de los cabezales y aleros.

Figura 10

Principales elementos que constituyen una alcantarilla



Fuente: Normas de diseño geométrico de carreteras de Ecuador (2003)

A1. Elección del tipo de alcantarilla. A la hora de elegir el tipo de alcantarilla, es necesario tener en cuenta la correspondiente funcionalidad hidráulica y estructural, así como el aspecto económico.

- Material de construcción disponible en la región
- Capacidad del suelo
- Pendiente de la plantilla de la obra
- Altura del terraplén

Referente a, la altura del terraplén, hay que tener en cuenta que las tuberías y las bóvedas necesitan un cojín de terraplén mínimo en los hombros (0,60 y 1,00 m).

Si el tramo de caudal del cauce natural es amplio, se considerará una losa de poca altura, pero de gran luz, o en una o más tuberías. Donde los canales están claramente definidos, como en colinas suaves, se pueden usar tuberías o cajas; A medida que los tramos del canal se hacen

estrechos y profundos, se indican bóvedas, así como losas y tuberías, dependiendo principalmente de la altura del terraplén.

Por ello, es necesario distinguir entre el tipo de sistema de alcantarillado teniendo en cuenta su función específica, mientras que algunos de ellos deben asegurar la continuidad de caudales periódicos y de corta duración con canales bien definidos, mientras que otros deben desviar el lecho de acequia que se ha acumulado en cada área específica, llamada alcantarillado.

En este informe se optó por utilizar tubería metálica corrugada (TMC) para el drenaje fijo, por tener las siguientes ventajas:

- Proporcionan al terreno de fundación presiones que se puede considerar muy bajas por ser flexible.
- No se necesita personal de mano de obra que sea calificada para su instalación.
- Fácil manejo y traslado por poseer un peso el cual se puede considerar ligero, que facilita su manipulación y se puede realizar con un de equipo mínimo.
- Su instalación es ajena a condiciones climáticas.
- Permiten acelerar los trabajos de construcción, entre otras.

A2. Diseño hidráulico para alcantarillas TMC. Consiste en calcular el área requerida del sistema de alcantarillado, que puede dar paso a la cantidad de agua concentrada en su entrada. Se sugiere el siguiente enfoque para el diseño.

a. Determinación del caudal máximo. Para las diversas alcantarillas se determinará promediando los caudales obtenidos utilizando las fórmulas Mac Math y la racional.

a1. Fórmula de Mac Math. Nos permite determinar los flujos máximos teniendo en cuenta las tasas de lluvia para diferentes períodos de retorno.

$$Q = C * ITR * A^{0.58} * S^{0.42} * 10^{-3} \dots \dots \dots (17)$$

Donde:

Q: caudal en m³/seg

C: coeficiente de Escorrentía

ITR: intensidad de precipitación máxima para un tiempo de duración y periodo de retorno.

A: área de la cuenca en has.

S: pendiente de la cuenca en m/km.

a2. Fórmula racional. Este método le permite averiguar los caudales máximos utilizando el índice máximo de lluvia.

$$Q = \frac{C * I * A}{360} \dots \dots \dots (18)$$

Donde:

Q: caudal máximo de escorrentía en m³/seg.

C: coeficiente de escorrentía en función al suelo.

I: intensidad de la lluvia en mm/h, durante el tiempo de concentración.

A: área de la cuenca en Ha

B. Cálculo del área hidráulica. Al calcular el área hidráulica del sistema de alcantarillado, debe tenerse en cuenta agregando al caudal máximo de diseño de los flujos de zanja que fluyen hacia él.

a. Fórmula de Talbot. Proporciona un gran margen de seguridad y garantiza una aproximación suficiente para obtener directamente el área del tramo de alcantarillado que corresponde a obras viales.

$$a = 0.183 * C * A^{3/4} \dots \dots \dots (19)$$

Donde:

a: área hidráulica del tubo de la alcantarilla (m²)

A: área que se desea drenar (ha)

C: coeficiente que depende de la topografía del suelo

D: diámetro de la alcantarilla (m).

Para el valor de C, se va usar la tabla 4, antes mencionada

Cálculo del diámetro:

$$D = 2 * \sqrt{\frac{a}{\pi}} \dots \dots \dots (20)$$

D: diámetro de la alcantarilla (m).

a: área hidráulica del tubo de la alcantarilla (m²)

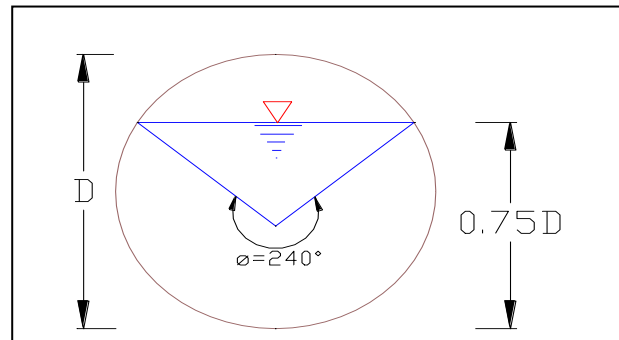
b. Fórmula de Cook. Calcula el diámetro de la alcantarilla para un caudal máximo Q:

$$D = \left(\frac{Q}{1.425}\right)^{2/5} \dots \dots \dots (21)$$

Q = caudal (m³/s)

D = diámetro (m)

c. Fórmula de Manning y Continuidad. Una vez determinados los caudales, se fija el tamaño de la estructura mediante las ecuaciones de Manning y la continuidad, teniendo en cuenta la tensión máxima. $d = 0.75 D$.

Figura 11*Esquema $d = 0.75 D$* 

Fuente: Propia.

c1. Ecuación de Manning. Se va calcular con la ecuación (2) antes ya planteada.

c2. Ecuación de Continuidad. Se va calcular con la ecuación (1) antes ya planteada.

Se tienen algunos valores, los cuales se aplicarán para la Figura 11:

Para $d = 0.75 D$ tenemos:

Área de alcantarilla:

$$A = \frac{1}{8} * (\theta - \text{sen}\theta) * D^2 = 0.6318D^2 \dots \dots \dots (22)$$

Perímetro mojado

$$P = \frac{1}{2} * D * (\theta) = 2.0944D \dots \dots \dots (23)$$

Radio hidráulico

$$R = \frac{A}{P} = 0.3016D \dots \dots \dots (24)$$

Reemplazando las ecuaciones (1) en (2), en la ecuación (3) y despejando D se tiene:

$$D = 39.37 * \left(\frac{Q}{13.53 * S^{1/2}} \right)^{3/8} \dots \dots \dots (25)$$

Donde:

D: diámetro de la alcantarilla en pulgadas.

Q = Caudal (m³ / seg)

S = Pendiente (m/m)

R: radio hidráulico (m)

A: área (m²)

P: perímetro mojado (m)

B. Diseño hidráulico de las alcantarillas de alivio. Los cabezales de descarga son conductos de agua ubicados en cada sección específica que sirven para desviar las canaletas de transporte de agua para ayudar a desviar el flujo, especialmente durante las inundaciones, estos cabezales se colocan en lugares donde el flujo de agua es excesivo. y, dependiendo de la topografía, también en la parte inferior de las curvas cóncavas.

Se decidió utilizar alcantarillas rectangulares para el Proyecto por las siguientes razones:

El caudal obtenido de las acequias en la longitud máxima alcanza valores bajos y solo durante la lluvia, lo que justifica el uso de alcantarillas usadas.

El costo de estas alcantarillas alcanza montos muy inferiores, llegando a la tercera parte en comparación con la de TMC.

Para el diseño se planteó el siguiente procedimiento:

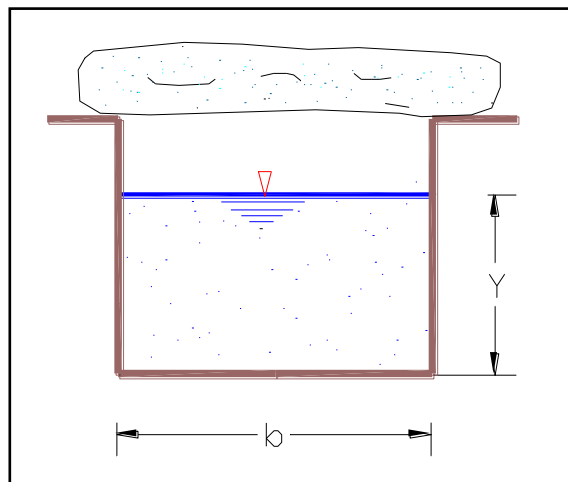
B1. Determinación del caudal máximo del relieve. Se obtiene a partir del cálculo de la longitud máxima de las acequias, en el que el caudal depende del camino y del área de la

acequia seleccionada. Este caudal se determinó reemplazando la fórmula de Manning en la fórmula de continuidad, obteniendo la ecuación (3), la cual es la que usaremos.

B2. Cálculo del área hidráulica. Luego de ubicar las alcantarillas con el caudal adecuado, se determinaron las dimensiones de la estructura (b, y), utilizando las ecuaciones (1) y (2).

Figura 12

Dimensiones de la estructura de la alcantarilla de alivio



Fuente: Propia.

a. Ecuación de Manning. Se va calcular con la ecuación (2) antes ya planteada.

b. Ecuación de Continuidad. Se va calcular con la ecuación (1) antes ya planteada.

Se tienen algunos valores, los cuales se aplicarán para la figura 9:

Área de alcantarilla:

$$A = by \dots \dots \dots (26)$$

Perímetro mojado

$$P = b + 2y \dots\dots\dots (27)$$

Radio hidráulico

$$R = \frac{A}{P} = \frac{by}{(b + 2y)} \dots\dots\dots (28)$$

$$n = 0.020$$

Reemplazando las ecuaciones (1) en (2), en la ecuación (3) y despejando Y se tiene:

$$y = \left(\frac{Q * n}{\sqrt{S}} \right)^{0.6} * \frac{(b + 2y)^{0.4}}{b} \dots\dots\dots (29)$$

Donde:

D: diámetro de la alcantarilla en pulgadas.

Q = Caudal (m³ / seg)

S = Pendiente (m/m)

R: radio hidráulico (m)

A: área (m²)

P: perímetro mojado (m)

y: tirante del canal (m)

Q: caudal (m³ / seg)

b: base del canal propuesto (m)

2.2.3 Definiciones básicas

2.2.3.1 Precipitación. En consecuencia, se establece que todas las manifestaciones de humedad, desde su origen en las nubes hasta su llegada a la superficie terrestre, son consideradas como formas diversas del fenómeno de las precipitaciones. De acuerdo con esta definición, las lloviznas, lluvias, nevadas y chubascos se reconocen como variantes de dicho fenómeno, siendo diferenciadas por su intensidad:

Ligera ≤ 2.5 mm / h

2.5 mm / h < Moderada < 7.6 mm / h

Fuerte ≥ 7.6 mm / h

Para analizar la información meteorológica se sigue el siguiente proceso:

A. Análisis de consistencia. Es un procedimiento estadístico que permite determinar las condiciones de registro, la forma de detectarlo es realizando una curva de doble masa, la cual consiste en una representación gráfica de una línea que se forma cuando se acumulan los valores de la precipitación promedio. Los cambios o rupturas en el gráfico de la curva de masa, si no persisten por más de 5 años, no se consideran rupturas breves causadas por la variabilidad interna de los datos hidrológicos.

A1. Método de los promedios Es un método de relleno temporal, se debe calcular los valores promedio para un periodo total de registros.

$$p.X = \frac{\bar{X} * p.A}{\bar{A}} \dots \dots \dots (30)$$

\bar{X} : promedio de las precipitaciones en la estación faltante.

p.A: precipitación en la estación índice, correspondiente al año que falta.

\bar{A} : promedio de las precipitaciones en la estación índice.

B. Relleno y extensión de datos faltantes. La correlación se erige como un proceso o método que posibilita la imputación de datos faltantes. Una vez establecida la consistencia de los datos, se procede a la interpolación de cada estación. En esta tarea, se seleccionan estaciones índices que cuenten con datos completos, priorizando aquellas que se ubiquen en proximidad geográfica y posean una altitud semejante a la estación en cuestión.

En la estimación de los datos ausentes, se empleó el método de la recta de regresión, el cual posibilita la obtención del coeficiente de correlación. Este coeficiente actúa como un parámetro crucial al determinar el índice de estación que se utiliza para completar la información en una estación incompleta.

B1. Método De La Recta De Regresión. Los datos meteorológicos se regionalizarán en toda el área del proyecto haciendo una regresión de la precipitación anual promedio en las estaciones utilizadas, donde se utilizarán como un término independiente para la altitud en lo que respecta a la precipitación, que dependerá del tiempo. Se utilizará este tipo de zonificación porque, de acuerdo a las características de precipitación en nuestras montañas, se puede observar que existe una gran influencia de la ubicación de la región en relación a la altitud.

Este método consiste en el siguiente procedimiento:

1. Dibujar el diagrama de dispersión.
2. Ajustar una recta al diagrama de dispersión.
3. Con la fórmula de la recta de regresión se completa la información faltante.

La ecuación de la recta de regresión viene dada por:

$$y' = a + b * (x - \bar{x}) \dots \dots \dots (31)$$

y': datos a completar.

x: datos completos de la estación índice.

\bar{x} : media de la estación índice x.

a y b: Coeficientes obtenidos con la teoría de los mínimos cuadrados.

$$a = \bar{y}$$

$$b = \frac{\sum(x - \bar{x}) * y}{\sum(x - \bar{x})^2} = \frac{S_y}{S_x}$$

Reemplazando valores de a y b en la ecuación (31) se tiene:

$$y' = \bar{y} + r * \frac{S_y}{S_x} \quad (c)$$

$$y' = \bar{y} + r * \frac{S_y}{S_x} (x - \bar{x}) \dots \dots \dots (32)$$

Así mismo se tiene que:

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

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum(y - \bar{y})^2}{n - 1}}$$

Reemplazando los valores de S_x y S_y en la ecuación (32), se obtiene:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x}) (y - \bar{y})}{(n - 1) * S_x * S_y} \dots \dots \dots (33)$$

Donde:

y' : datos a completar

\bar{y} : media de y

S_x, S_y : desviación estándar

n: número de datos

r: coeficiente de correlación

Los valores del coeficiente de correlación (r) varían de -1 a $+1$, cuando:

$r = 0$, la correlación es nula

$r = 1$, la correlación es directa positiva

$r = -1$, la correlación es inversa positiva

2.2.3.2 Intensidades de precipitación. El factor primordial para definir las dimensiones del sistema de drenaje superficial radica en la intensidad de la precipitación, la cual exhibe variaciones sustanciales de un punto a otro, influenciada por las condiciones geográficas y meteorológicas de la región. La intensidad se refiere al volumen de agua precipitado durante un intervalo específico, y su cálculo se inicia mediante la revisión de los pluviogramas para la construcción inmediata de un histograma que delimite la intensidad mencionada.

$$i = \frac{P}{T_d} \dots \dots \dots (34)$$

Donde:

i : intensidad de precipitación (mm/h)

P : profundidad de lámina de lluvias (mm)

T_d : tiempo duración de la tormenta (h)

Para abordar de manera fundamentada los desafíos vinculados al drenaje, es imperativo calcular la máxima intensidad de precipitación durante el intervalo de tiempo " t ", el cual equivale al tiempo de concentración de la cuenca, y hacerlo con una frecuencia específica definida por un período de recurrencia. Para llevar a cabo este proceso, nos apoyamos en la Tabla 5 con el propósito de determinar el número de años a contemplar como periodo de retorno.

Tabla 5

Criterio de diseño generalizados para estructuras de control de agua.

TIPO DE ESTRUCTURA	PERIODO DE RETORNO (años)
<u>Alcantarillas de Carreteras</u>	
Volúmenes de Tráfico bajos	5-10
Volúmenes de Tráfico intermedios	10-25
Volúmenes de Tráfico altos	50-100
<u>Puentes de Carreteras</u>	
Sistema Primario	10-50
Sistema Secundario	50-100
<u>Drenaje Agrícola</u>	
Canales	5-50
Surcos	5-50
<u>Drenaje Urbano</u>	
Alcantarillas en ciudades pequeñas	2-25
Alcantarillas en ciudades grandes	25-50
<u>Aeropuertos</u>	
Volúmenes de Tráfico bajos	5-10
Volúmenes de Tráfico intermedios	10-25
Volúmenes de Tráfico altos	50-100
<u>Diques</u>	
En fincas	2-50
Alrededor de ciudades	50-200

Fuente: Hidrología aplicada

A. Regionalización de las intensidades. Los valores de intensidad máxima calculados anteriormente están vinculados al área del proyecto multiplicando los valores de intensidad calculados por una constante, determinada como un cociente de la precipitación anual promedio dentro del proyecto y la precipitación promedio en la estación de Perayoc.

$$I_r = K * I_i \dots \dots \dots (35)$$

I_r: Intensidad Regionalizada

K: Constante de Regionalización

I_i: Intensidad de la estación Índice

B. Relaciones intensidad, duración y frecuencia. La relación entre intensidad, duración y frecuencia son obtenidas gráficamente tras analizar las frecuencias. Para cada intervalo de duración de la precipitación, es necesario conocer la intensidad total de la lluvia, que no puede ocurrir más de una vez en un cierto período de tiempo. El análisis de frecuencia persigue asignar a cada evento una probabilidad P que sea igual o superior durante un año determinado.

B1. Probabilidad de excedencia según Weibull

$$p = \frac{m}{n + 1} \dots \dots \dots (36)$$

p: probabilidad de excedencia o frecuencia

m: número de orden de la serie arreglada en forma creciente

n: número de datos totales correspondientes a los n años

El período de retorno (Tp o Tr) se define como el número de años transcurridos en promedio para un evento que debe ser igual o superado.

$$T_p = \frac{1}{p} \dots \dots \dots (37)$$

Tp: periodo de retorno

p: probabilidad de excedencia o frecuencia

B2. Ajuste a una distribución o modelo probabilístico. A través de la realización de un ajuste a una distribución con base en un conjunto de datos hidrológicos, es posible condensar una considerable cantidad de información en la función y en los parámetros correspondientes, permitiendo así la determinación de un valor de probabilidad para la variable aleatoria en cuestión.

Las distribuciones de frecuencias más usadas en hidrología son

- Distribución Normal
- Distribuciones Logarítmicas (Log Normal, Log Person tipo III)
- Distribución Gamma
- Distribución de Valores Extremos Tipo I o de Gumbel

Entre las distribuciones que presentan un mejor ajuste al comportamiento de fenómenos meteorológicos, como la precipitación, se destacan la distribución de Gumbel y la distribución Log-Person tipo III. Para la presente investigación, se optó por utilizar la distribución de Gumbel.

a. Distribución de valores extremos tipo exponencial o de Gumbel.

$$x = u + \alpha * Y \dots \dots \dots (38)$$

x: intensidad para determinado tiempo de retorno

Y: variable aleatoria

α, u : parámetros de dispersión

b. Estimación de Parámetros: método de momentos:

$$\bar{x} = u + \alpha * C \dots \dots \dots (39)$$

C: Coeficiente de Euler

$$C = 0.5775156$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$$

Reemplazando el valor de C y α en la ecuación (39) se obtiene:

$$u = \bar{x} + 0.45005 * S \dots \dots \dots (40)$$

u: parámetros de dispersión

\bar{x} : Media de la muestra

S: Desviación estándar de la muestra

Cálculo de las intensidades de precipitaciones máxima para periodos de retorno utilizando la siguiente ecuación:

$$ITR = u + \alpha * \ln T \dots \dots \dots (41)$$

ITR: Intensidad máxima para diferentes períodos de retorno (mm/h)

T: Tiempo de retorno (años)

α , u: parámetros de dispersión

2.2.3.3 Escorrentía. La evaluación de la escorrentía se ve significativamente enriquecida mediante las observaciones directas de las pendientes durante las expediciones de campo. Es imperativo que los cursos de agua establecidos, que atraviesan la carretera, exhiban estabilidad y carezcan de riesgos potenciales para la infraestructura. El foco de atención se centra en los impactos derivados de la escorrentía superficial en las laderas que desembocan sobre la carretera.

2.2.3.4 Tiempo De Concentración (Tc). El tiempo de concentración es un parámetro que nos ayudará a calcular el caudal máximo, y se define como el tiempo que tarda una partícula o gota de agua en llegar desde el punto más lejano al punto de interés.

Los elementos que influyen en la determinación del tiempo de concentración abarcan la inclinación del terreno, las propiedades del suelo, la precipitación máxima, la presencia de vegetación y el estado de saturación.

Para determinar el tiempo de concentración se utilizaron las siguientes formulas:

A. Fórmula de Ventura Heras.

$$T_c = \alpha \sqrt{\frac{A}{S}} * 60 \dots \dots \dots (42)$$

Donde:

T_c: tiempo de concentración en minutos.

A: área de la cuenca en Km²

S: pendiente media del cauce en (m/m).

$$0.03 \leq \alpha \leq 0.15$$

$\alpha = 0.1272$ (recomendado por muchos autores).

B. Fórmula de Passini. El método ha sido propuesto para cuencas con una superficie superior a 50 km², pero, sin embargo, se utiliza en pequeñas cuencas, variando el coeficiente hasta un valor máximo de 0,13, lo que arroja resultados convincentes.

$$T_c = \alpha * \frac{\sqrt[3]{A * L}}{\sqrt{S}} * 60 \dots \dots \dots (43)$$

Donde:

T_c: tiempo de concentración en minutos.

A: área de la cuenca en Km²

L: longitud del cauce en Km.

S: pendiente media del cauce en (m/m).

$$0.04 \leq \alpha \leq 0.13$$

C. Fórmula de California. La cual es empleada para el diseño de alcantarillas y puentes; cuya expresión para el tiempo de concentración es:

$$T_c = \left(0.871 * \frac{L^3}{H}\right)^{0.385} * 60 \dots \dots \dots (44)$$

Donde:

T_c: tiempo de concentración en minutos.

L: longitud del curso de agua más largo (km)

H: desnivel del curso más largo (m).

2.2.3.5 Coeficiente De Esguerrimiento (C). El coeficiente de esgurrentía se conceptualiza como el volumen de agua que cruza la superficie terrestre como consecuencia de la precipitación. Este coeficiente está intrínsecamente ligado a las características del terreno, incluyendo factores como el tipo de vegetación presente, la longitud del trayecto, la pendiente, la intensidad de las precipitaciones, la variación en la elevación de los taludes, y la permeabilidad del suelo, entre otros.

A. Usando tablas. Estas tablas señalan los coeficientes de esgurreimiento en base a la naturaleza de la superficie y su pendiente topográfico.

Tabla 6

Coeficiente según el área drenada.

Área Drenada	Ca
Área residencial urbana solo casas habitación	0.30
Apartamentos con espacios verdes	0.50
Área de edificios comerciales e industriales.	0.90
Áreas boscosas	0.05 – 0.20
Parques, terrenos agrícolas y pastizales	0.05 – 0.30
Asfaltado o pavimento de concreto	0.85

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 7*Pendiente de la topografía.*

Naturaleza de la Superficie	Pendiente de la Topografía	
	5% - 10%	10% - 30%
Cultivos generales	0.60	0.72
Cultivos de pastos	0.36	0.42
Bosques	0.18	0.21
Áreas desnudas	0.80	0.90

Fuente: Elaboración Propia.

De las tablas mostradas, podemos tomar un valor de 0.36 para el factor de escorrentía porque el área del proyecto tiene una topografía con una pendiente menor al 10% con muchos pastos como ichu.

B. Método de Justin.

$$F = \frac{0.183 * S^{0.155} * R^2}{160 + 9T} \dots \dots \dots (45)$$

$$S = \frac{PA - PI}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots (46)$$

Donde:

F: altura de escorrentía en mm.

S: pendiente media de la cuenca.

A: área de la cuenca en metros cuadrados.

T: temperatura media anual.

R: promedio anual de precipitación.

Por lo tanto, el Coeficiente de escorrentía (Ca):

$$Ca = \frac{F}{R} \dots \dots \dots (47)$$

2.2.3.6 Generación de caudales. La creación de caudales máximos comienza con la determinación del área y pendiente de la cuenca, las cuales son influenciados por parámetros hidrológicos, como la intensidad de precipitación máxima, tomando en cuenta un período de recurrencia de 10 años para nuestro caso.

Para el cálculo de las máximas avenidas se usarán las siguientes formulas empíricas:

A. Fórmula racional. Este método le permite averiguar los caudales máximos utilizando el índice máximo de lluvia.

$$Q = \frac{C * I * A}{360} \dots \dots \dots (48)$$

Donde:

Q: caudal máximo de escorrentía en m³/seg.

C: coeficiente de escorrentía en función al suelo.

I: intensidad de la lluvia en mm/h, durante el tiempo de concentración.

A: área de la cuenca en Ha

La fórmula es aplicable a pequeñas cuencas de menos de 400 hectáreas. porque con los valores correctos de lluvia y coeficiente de escorrentía, la fórmula sobreestima la escorrentía a medida que aumenta el área del área drenada. El valor de la pluviometría máxima se selecciona de acuerdo con el período de trabajo estimado, que, a su vez, dependerá del riesgo o importancia de la estructura. Para el presente proyecto, las intensidades se tomaron durante un período de retorno de 10 años.

B. Fórmula de Mac Math. Esta fórmula ya está indicada en la ecuación (17).

$$Q = C * ITR * A^{0.58} * S^{0.42} * 10^{-3} \dots \dots \dots (49)$$

Donde:

Q: caudal en m³/seg

C: coeficiente de Escorrentía

ITR: intensidad de precipitación máxima para un tiempo de duración y periodo de retorno.

A: área de la cuenca en has.

S: pendiente de la cuenca en m/km.

2.3 Método

2.3.1 Metodología

2.3.1.1 Enfoque de investigación. El enfoque desarrollado en este trabajo es el enfoque cuantitativo, ya que se van a analizar datos que se obtuvieron de la recolección de datos, para poder obtener las conclusiones mediante métodos estadísticos.

2.3.1.2 Tipo de investigación. Este trabajo es de tipo descriptivo, ya que se va a realizar y describir el procedimiento del diseño de estructuras de drenaje según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje.

2.3.1.3 Diseño de investigación. Este trabajo según su diseño se puede definir como no Experimental, ya que carece de variables independientes.

2.3.2 Población y muestra

2.3.2.1 Población. Para el presente trabajo la población está conformada por los distritos de Pampamarca y Tupac Amaru del departamento del Cusco.

2.3.2.2 Muestra. Para el presente trabajo la muestra está conformada por la carretera que une las localidades de Pampamarca, Tungasuca y Pabellones.

2.3.3 Instrumentos de recolección de datos

Para el presente trabajo los instrumentos de recolección de datos son secundarios, ya que se usaron están datos asociados con la recopilación de información.

2.3.4 Procedimientos

1. Se va analizar la precipitación promedio en el área de la investigación, utilizando los registros históricos de la precipitación mensual promedio de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de aplicación de este estudio, las cuales son: estación Perayoc, estación Acomayo, estación Combapata y estación Yauri. Las cuales a su vez se encuentran a una similar altitud del lugar en estudio.

2. Con el objetivo de evaluar la confiabilidad de la información disponible, se llevará a cabo un análisis de consistencia de masa doble. Este análisis se encargará de verificar la coherencia en los registros de cada estación, realizando comparaciones entre la precipitación acumulada, ya sea a nivel anual o estacional, y los valores coincidentes de precipitación media.

3. Se llevará a cabo la correlación de datos, una operación que implica la imputación de valores en aquellos datos faltantes. Para llevar a cabo este proceso, se utilizarán estaciones índices que dispongan de datos completos, seleccionando aquellas que se encuentren lo más cercanas posible a la estación en cuestión y que compartan una altitud similar.

4. Los datos meteorológicos se regionalizarán en toda el área del proyecto haciendo una regresión de la precipitación anual promedio en las estaciones utilizadas, donde se utilizarán como un término independiente para la altitud en lo que respecta a la precipitación, que dependerá del tiempo.

5. Se calculará la intensidad de precipitación, la cual es el volumen de agua precipitado durante un período determinado; Su cálculo comienza con la lectura de los pluviogramas para construir de inmediato un histograma que determine la intensidad indicada.

6. Se realiza el cálculo de la intensidad máxima de diseño en el área del proyecto. Para esto se utilizaron registros pluviométricos, a partir del cual se obtendrán las precipitaciones (mm) y el tiempo de duración (min.)

7. Se realiza la proyección probabilística, las intensidades se calculan para periodos de retorno de 1, 5, 10, 25, 50 años, teniendo en cuenta los parámetros de la media y la desviación estándar.

8. Se va determinar el tiempo de concentración utilizando la Fórmula de Ventura Heras y la Fórmula de Passini.

9. Usando tablas: Estas tablas señalan los coeficientes de escurrimiento en base a la naturaleza de la superficie y su pendiente topográfico.

10. Se calcula las máximas avenidas utilizando el índice máximo de lluvia.

11. Se procede a calcular la longitud máxima de las cunetas laterales usando algunas formulas y parámetros (Fórmula de Manning, coeficiente de rugosidad, coeficiente de permeabilidad) y se obtendrán valores como: área de la cuneta, perímetro mojado radio hidráulico, área tributaria).

12. Se procede a calcular el área hidráulica para las alcantarillas se procede a usar algunas formulas (fórmula de Talbot, fórmula de Manning y Continuidad) y se obtendrán valores como: diámetro de la alcantarilla, perímetro mojado, radio hidráulico).

13. Se realizará el diseño hidráulico de las alcantarillas de alivio. Con los datos de caudal máximo del relieve y área hidráulica (fórmula de Manning y Continuidad).

2.3.5 Análisis de datos

Se va realizar el análisis de datos, el cual se ha obtenido durante la recolección de la información que se va usar para el diseño de las estructuras de drenaje de la carretera

2.3.5.1 Precipitación. No existe información meteorológica sobre el territorio del proyecto, por lo tanto, para calcular la precipitación, es necesario utilizar datos de la estación más cercana o regionalizar los datos con la ayuda de estaciones más cercanas y que tengan características climáticas, altitud, etc.

A. Precipitación media anual del proyecto. Para examinar la precipitación promedio en la zona de estudio, se emplearon registros históricos de la precipitación mensual promedio obtenidos de estaciones meteorológicas ubicadas a una altitud similar y con un mayor periodo de registro.

Tabla 8

Estaciones Meteorológicas Analizadas

Nombre.	Departamento	Provincia	Distrito	Coordenadas		Altitud m.s.n.m.
Perayoc	Cusco	Cusco	Cusco	Latitud	13° 13'	3385
				Longitud	71° 58'	
Acomayo	Cusco	Acomayo	Acomayo	Latitud	13° 56'	3250
				Longitud	71° 42'	
Combapata	Cusco	Canchis	Combapata	Latitud	14° 06'	3474
				Longitud	71° 26'	
Yauri	Cusco	Espinar	Yauri	Latitud	14° 49'	3927
				Longitud	71° 25'	

Fuente: SENAMHI.

B. Análisis y procesamiento de la información meteorológica. Consiste en analizar los registros meteorológicos obtenidos con el fin de excluir los que no sean confiables, y en algunos casos completar los valores faltantes o ampliar la información especificada.

Con el propósito de evaluar la confiabilidad de la información disponible, se llevará a cabo un análisis de consistencia de masa doble. Este análisis verifica la coherencia de los registros de cada estación al comparar la precipitación acumulada, ya sea anual o estacional, con los valores correspondientes a la precipitación media. Este procedimiento se realizará para un conjunto de estaciones ubicadas en las proximidades, permitiendo así una evaluación robusta de la consistencia en los datos hidro-meteorológicos.

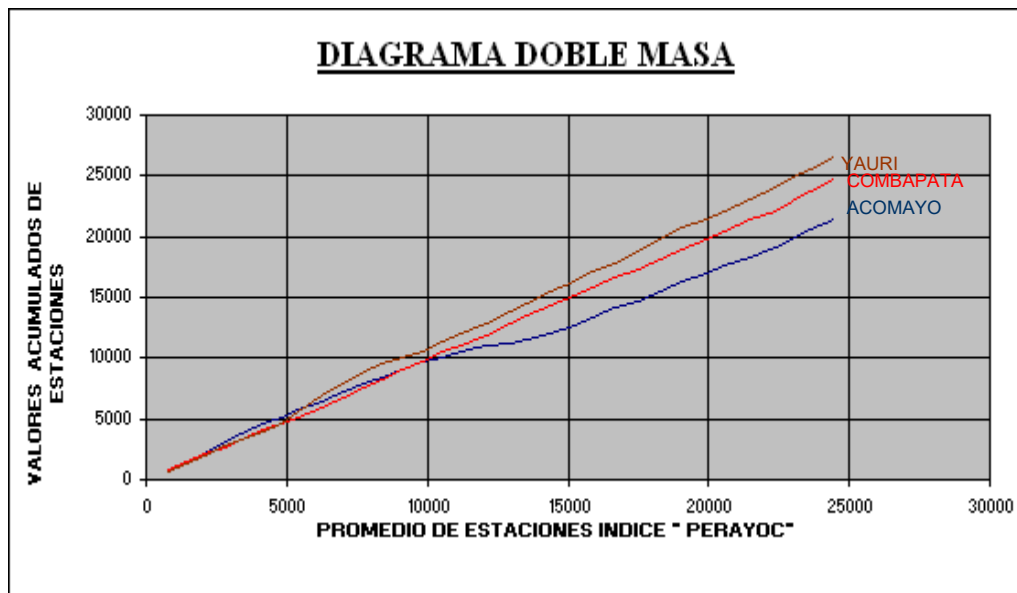
Para analizar la información meteorológica se sigue el siguiente proceso:

a. Análisis de consistencia. Se realizó el análisis de consistencia usando el método de promedios.

En conclusión, la coherencia en los registros de precipitación de cada estación respalda su utilización integral para la generación de precipitaciones y flujos en el área del proyecto. En última instancia, la constancia en la cantidad de precipitación registrada en cada estación refuerza la decisión de emplear todas las estaciones para la generación de datos hidro-meteorológicos en el área del proyecto.

Figura 13

Diagrama de doble masa.



Fuente: Propia.

b. Relleno y extensión de datos faltantes. Se realizó el relleno de datos faltantes usando el método de la recta de regresión.

Una vez completados y ampliados los registros de las estaciones utilizadas, se debe regionalizar la precipitación media anual al punto de interés.

C. Relación Precipitación y Altitud. La relación entre la precipitación y la altitud se establece a partir de la precipitación anual promedio en cada estación y la correspondiente altura de dichas estaciones. Al expresar esta relación mediante una ecuación de línea de regresión, se facilita la determinación de la precipitación anual promedio para el área de influencia del proyecto.

Tabla 9*Resumen promedio de precipitaciones.*

RESUMEN PROMEDIO DE PRECIPITACIONES			
ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN (mm)		ALTITUD
PERAYOC	Mínima	587.80	3385
	Media	795.50	
	Máxima	1040.60	
ACOMAYO	Mínima	354.00	3250
	Media	878.40	
	Máxima	1109.00	
COMBAPATA	Mínima	410.00	3474
	Media	721.39	
	Máxima	912.00	
YAURI	Mínima	406.00	3927
	Media	775.55	
	Máxima	1333.00	

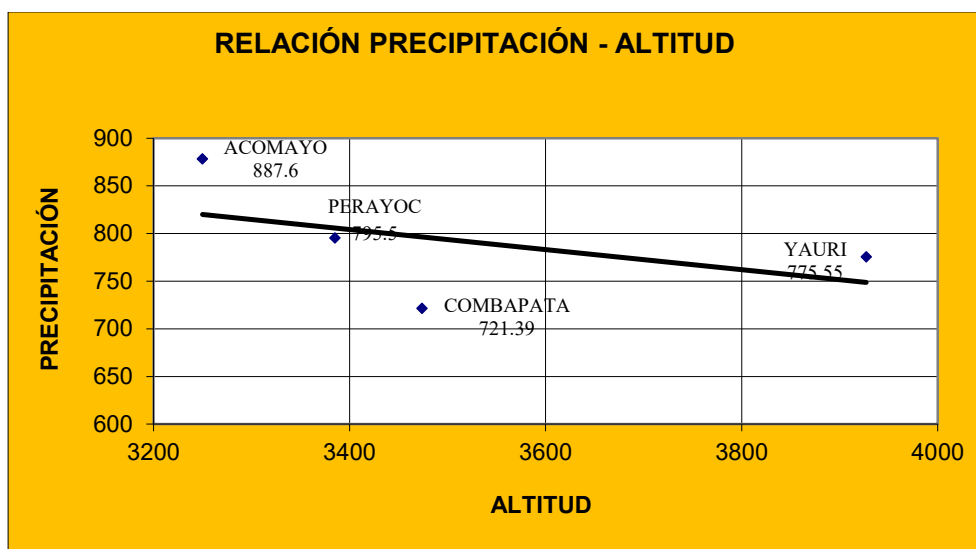
Fuente: Elaboración Propia.

El valor del coeficiente de correlación R debe corresponder a la propiedad fundamental definida por el siguiente intervalo: -1 y 1, de acuerdo con esta propiedad, la relación entre las variables x e y puede considerarse regular y buena.

El cálculo y los resultados de ejecutar una regresión lineal simple se muestran a continuación:

Figura 14

Relación Precipitación – Altitud.



Fuente: Propia.

En el gráfico podemos ver el valor de correlación $R = 0.49$, este valor es muy cercano a 1, lo que indica que podemos obtener un valor para la precipitación media anual en esta zona; la ecuación obtenida del gráfico se ve así:

$$y = 0.1583 (x) + 199.44$$

y = Precipitación media anual de la zona

x = Altitud para la cual se quiere generar la precipitación

El proyecto se ubica a una altitud promedio de 3796.00 m.s.n.m sobre el nivel del mar, este valor se reemplaza en la ecuación (3), por lo que la precipitación:

$$y = 0.1583 (3796) + 199.44$$

Precipitación media anual del proyecto = 813.01 mm

D. Determinación de los valores de intensidades máximas de diseño. Debido a la pequeña cantidad de equipos de las estaciones meteorológicas cercanas al proyecto y a la insuficiencia de datos, se decidió calcular la tasa máxima de precipitación calculada para diferentes duraciones y períodos de recurrencia, ajustando las tasas de precipitación máxima regional de acuerdo con el modelo probabilístico.

Con el propósito de establecer el valor correspondiente a la intensidad máxima de diseño en la zona del proyecto, se siguen los siguientes procedimientos:

a. Obtención de intensidades máximas. El cálculo de la tasa de precipitación anual máxima para diferentes intervalos de tiempo se realiza de acuerdo con los diagramas construidos por los registros de lluvia. Para esto se utilizaron registros pluviométricos de la estación Perayoc (UNSAAC), a partir del cual se obtuvieron las precipitaciones (mm) y el tiempo de duración (min.) Los datos obtenidos permitieron determinar y seleccionar la máxima intensidad anual (mm / min) para la duración de 5, 10, 15 y 30 minutos.

b. Regionalización de las intensidades. La constante de regionalización vinculados al área del proyecto, se determinada como un cociente de la precipitación anual promedio dentro del proyecto y la precipitación promedio en la estación de Perayoc.

$$K = \frac{\text{precipitación media anual del proyecto}}{\text{precipitación media anual de Perayoc}}$$

Las intensidades máximas anuales para diferentes periodos de operación de la estación Perayoc y regionalizada se observan en la siguiente tabla, en la que podemos indicar que los datos de la izquierda representan las intensidades máximas medidas y calculadas a partir de la estación meteorológica Perayoc, y los datos de la El lado derecho de la siguiente tabla indica la intensidad máxima del área del proyecto ya ajustada con la constante de zonificación:

$$K = \frac{813.10 \text{ mm}}{795.5 \text{ mm/h}} = 1.022 \text{ mm/h}$$

Ejemplo aplicativo:

Año 1980

Intensidad Perayoc (5min) -----

Intensidad Proyecto (5 min)

26.4

1.022 x 26.4 = 26.9

Tabla 10

Intensidad máxima de precipitaciones de las tormentas – Parte 1.

Año	Fecha	Hora inicio		Hora Final		Duración		Días de duración	Cantidad (mm)	Intensida
		Horas	min	horas	min	horas	min			d
2000	26/01/00	3	5	3	10	0	5	0	2.2	26.40
	24/02/00	12	0	12	5	0	5		1.5	18.00
	02/10/00	22	0	22	50	0	50		15	18.00
2001	10/09/01	8	30	8	40	0	10		5.9	35.40
	18/10/01	19	15	19	20	0	5		2.4	28.80
	08/04/01	7	30	7	35	0	5		2.2	26.40
	10/11/01	12	0	12	10	0	10		3.3	19.80
2002	17/08/02	14	45	14	50	0	5		4	48.00
	23/09/02	10	0	10	25	0	25		14.2	34.08
	17/11/02	7	25	7	40	0	15		8.5	34.00
2003	24/01/03	20	40	20	55	0	15		7.7	30.80
	25/01/03	7	0	7	10	0	10		4.2	25.20
	31/12/03	19	0	19	20	0	20		7.8	23.40
2004	03/04/04	7	40	8	0	0	20		9.8	29.40
	01/03/04	14	40	15	5	0	25		11.6	27.84
2005	05/12/05	20	10	20	20	0	10		2.6	15.60
	06/12/05	12	50	13	0	0	10		2.1	12.60
	14/01/05	15	10	16	10	1	0		11.9	11.90
2006	05/10/06	16	30	17	10	0	40		10.9	16.35
	14/12/06	6	40	7	0	0	20		3.9	11.70
2007	06/02/07	20	10	20	15	0	5		7.3	87.60
	24/11/07	1	10	1	40	0	30		6.8	13.60

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 11*Intensidad máxima de precipitaciones de las tormentas – Parte 2.*

Año	Fecha	Hora inicio		Hora Final		Duración		Días de duración	Cantidad (mm)	Intensidad (mm/h)
		Horas	min	horas	min	horas	min			
2008	01/11/08	8	20	8	35	0	15		30.4	50.40
	16/11/08	21	40	22	0	0	20		23.7	33.60
2009	05/01/09	16	15	17	35	1	20		17.7	53.10
	16/10/09	18	50	19	35	0	45		25.07	33.43
2010	27/01/10	12	40	12	50	0	10		7	42.00
	28/01/10	0	20	1	10	0	50		35	42.00
2011	18/01/11	16	20	16	40	0	20		20.5	61.50
	22/03/11	22	0	22	15	0	15		12.5	50.00
2012	07/01/12	16	50	17	10	0	20		14.5	43.50
	11/03/12	19	50	20	0	0	10		7	42.00
	15/12/12	15	10	15	40	0	35		21.2	36.34
2013	27/01/13	11	50	12	0	0	10		12	72.00
	19/10/13	12	50	13	0	0	10		11.1	66.60
	11/12/13	14	0	14	15	0	15		11	44.00
	25/03/13	14	10	14	40	0	30		13	26.00
2014	27/01/14	20	5	20	15	0	10		8	48.00
	08/02/14	23	30	0	0	0	30		15.2	30.40
2015	28/08/15	4	40	4	45	0	5		5.4	64.80
	24/03/15	12	50	12	55	0	5		5	60.00
	09/03/15	20	30	21	0	0	30		16	32.00
2016	06/12/16	20	30	20	40	0	10		11	66.00
	11/12/16	13	20	13	25	0	5		4.8	57.60
	10/02/16	15	50	16	10	0	20		17	51.00
2017	24/11/17	23	55	0	0	0	5		6	72.00
	22/12/17	23	10	23	30	0	20		18	54.00
	20/04/17	17	55	18	10	0	15		13	52.00
	16/03/17	14	0	14	30	0	30		9	18.00
2018	28/01/18	14	20	14	25	0	5		5.5	66.00
	28/11/18	20	30	30	35	0	5		4.8	57.60
	16/02/18	17	50	18	5	0	15		10.2	40.80
	26/01/18	16	20	16	40	0	20		9.8	29.40
	04/10/18	15	20	15	50	0	30		10.8	21.60
2019	08/01/19	16	0	16	5	0	5		5.5	66.00
	04/04/19	17	55	18	0	0	5		4.5	54.00
	26/01/19	16	20	16	40	0	20		9.8	29.40
	04/10/19	15	20	15	50	0	30		10.8	21.60
	05/05/19	15	30	16	0	0	30		9	18.00
2020	25/01/20	7	0	7	5	0	5		6.5	78.00
	22/10/20	2	10	2	15	0	5		5	60.00
	12/01/20	5	30	5	45	0	15		8	32.00

28/01/20	3	0	3	20	0	20	9	27.00
10/01/20	17	0	17	25	0	25	8.5	20.40

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12

Resumen de intensidades máximas para diferentes tiempos de duración.

AÑO	DURACIÓN			
	5´	10´	15´	30´
2000	26.40	22.20	20.80	19.40
2001	35.40	35.40	33.20	27.60
2002	48.00	41.04	38.72	36.40
2003	30.80	30.80	30.80	27.70
2004	29.40	29.40	29.40	28.88
2005	15.60	15.60	14.60	14.85
2006	16.35	16.35	16.35	16.35
2007	87.60	50.60	38.27	25.93
2008	50.40	50.40	50.40	42.00
2009	53.10	53.10	53.10	46.54
2010	42.00	42.00	42.00	42.00
2011	61.50	61.50	61.50	57.67
2012	43.50	43.50	43.50	43.00
2013	72.00	72.00	70.20	60.87
2014	48.00	48.00	42.13	36.27
2015	64.80	62.40	52.27	42.13
2016	66.00	66.00	63.20	57.10
2017	72.00	63.00	60.00	56.67
2018	66.00	61.80	54.80	45.90
2019	66.00	60.00	49.80	39.60
2020	78.00	69.00	56.67	43.50

Fuente: Elaboración Propia.

E. Relaciones intensidad duración y frecuencia. La relación entre intensidad, duración y frecuencia, según las ecuaciones (7) y (8).

Se muestra el análisis de frecuencia para este proyecto. en la tabla 7

Tabla 13*Análisis de frecuencias para intensidades regionalizadas*

INTENSIDADES REGIONALIZADAS					ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DURACIÓN E INTENSIDAD							
AÑO	INTENSIDADES (mm/h)				Nº orden	INTENS. ORDEN DESC. (mm/h)				Probabilidad T. De Ret.		
	5 min	10 min	15 min	30 min'	m	5 min	10 min	15 min	30 min'	m/(n+1)	1/p	
2000	26.93	22.64	21.22	19.79	1	89.35	51.61	39.03	26.45	0.05	22.0	
2001	36.11	36.11	33.86	28.15	2	79.56	70.38	57.80	44.37	0.09	11.0	
2002	48.96	41.86	39.49	37.13	3	73.44	73.44	71.60	62.08	0.14	7.3	
2003	31.42	31.42	31.42	28.25	4	73.44	64.26	61.20	57.80	0.18	5.5	
2004	29.99	29.99	29.99	29.46	5	67.32	67.32	64.46	58.24	0.23	4.4	
2005	15.91	15.91	14.89	15.15	6	67.32	63.04	55.90	46.82	0.27	3.7	
2006	16.68	16.68	16.68	16.68	7	67.32	61.20	50.80	40.39	0.32	3.1	
2007	89.35	51.61	39.03	26.45	8	66.10	63.65	53.31	42.98	0.36	2.8	
2008	51.41	51.41	51.41	42.84	9	62.73	62.73	62.73	58.82	0.41	2.4	
2009	54.16	54.16	54.16	47.47	10	54.16	54.16	54.16	47.47	0.45	2.2	
2010	42.84	42.84	42.84	42.84	11	51.41	51.41	51.41	42.84	0.50	2.0	
2011	62.73	62.73	62.73	58.82	12	48.96	48.96	42.98	36.99	0.55	1.8	
2012	44.37	44.37	44.37	43.86	13	44.37	44.37	44.37	43.86	0.59	1.7	
2013	73.44	73.44	71.60	62.08	14	48.96	41.86	39.49	37.13	0.64	1.6	
2014	48.96	48.96	42.98	36.99	15	42.84	42.84	42.84	42.84	0.68	1.5	
2015	66.10	63.65	53.31	42.98	16	36.11	36.11	33.86	28.15	0.73	1.4	
2016	67.32	67.32	64.46	58.24	17	31.42	31.42	31.42	28.25	0.77	1.3	
2017	73.44	64.26	61.20	57.80	18	29.99	29.99	29.99	29.46	0.82	1.2	
2018	67.32	63.04	55.90	46.82	19	26.93	22.64	21.22	19.79	0.86	1.2	
2019	67.32	61.20	50.80	40.39	20	16.68	16.68	16.68	16.68	0.91	1.1	
2020	79.56	70.38	57.80	44.37	21	15.91	15.91	14.89	15.15	0.95	1.0	

Fuente: SENAMHI.

Según la proyección probabilística, las intensidades se calculan para periodos de retorno de 1, 5, 10, 25, 50 años, teniendo en cuenta los parámetros de la media y la desviación estándar.

Para lo cual se usan las ecuaciones (11) y (12) en la Tabla 8, que se muestra a continuación:

Tabla 14

Cálculo de intensidades de diseño para diferentes periodos de retorno.

		TIEMPO DE DURACIÓN (minutos)			
CÁLCULOS PRELIMINARES		5 min	10 min	15 min	30 min
Parámetros de las	Media: \bar{x}	52.11	48.28	44.77	39.36
Intensidades	Desviación Estándar :S	20.73	17.58	15.90	13.79
Parámetros de la	$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$	16.17	13.71	12.40	10.75
Distribución de					
Gumbel	$u = \bar{x} + 0.45005 * S$	42.78	40.37	37.61	33.15
	PERIODO DE	<u>INTENSIDADES (mm/h)</u>			
	RETORNO	<u>LEY DE DIST. DE GUMBEL</u>			
	(años)	ITR = $u + \alpha * \ln T$			
	1	42.78	40.37	37.61	33.15
	5	68.80	62.43	57.56	50.46
	10	80.00	71.94	66.16	57.92
	25	94.81	84.50	77.52	67.77
	50	106.02	94.00	86.11	75.22

Fuente: SENAMHI.

2.3.5.2 Escorrentía. En lo que respecta a las carreteras, la finalidad del drenaje es, en primer lugar, minimizar la cantidad de agua que llega a diversas partes de la calzada y, en segundo lugar, asegurar la rápida descarga de agua que es el inevitable acceso a la carretera.

- Maneras de cómo el agua llega al camino:
- Precipitación pluvial directa.
- Inundación por las corrientes de los ríos y arroyos

- Infiltración a través del sub - suelo.

Características físicas de las cuencas:

Área topográfica (A): Determinada en fotografías aéreas por procedimientos fotogramétricos.

Longitud del cauce (L): Determinada en la fotografía en Km

Punto más alto de la cuenca (PA): Elevación máxima de cauce

Punto hidráulicamente más alto (PH): Elevación máxima del cauce

Punto de interés (PI): Punto hidráulicamente más bajo donde se ubicarán las obras de drenaje.

Pendiente Media De La Cuenca O Superficial (PMS).

Pendiente Media Del Cauce (S):

Datos cuencas: Tramo Carretera Tungasuca- Pabellones.

Datos de cálculo de áreas y perímetros de las fotografías Par de fotos 2784-2785 hallados en el gabinete de fotogrametría:

Cuenca A:

Área en fotografía: 87.30, Perímetro en fotografía: 37.10

Cuenca B:

Área en fotografía: 96.52, Perímetro en fotografía: 39.23

Cálculo del área:

$$A = A_f * E^2$$

A: área del terreno.

A_f: área sobre la fotografía.

E: modulo escalar

Cálculo de distancia:

$$L = I * E$$

L: distancia horizontal del terreno.

I: distancia sobre la fotografía.

E: modulo escalar

Tabla 15

Características físicas de las cuencas

	PTO A.	PTO B.
Área Cuenca Topográfica	52.49 Ha.	45.57 Ha.
Longitud De Cause	0.7808 km.	0.6074 km.
Punto más Elevado De La Cuenca	3998 m.s.n.m	3988 m.s.n.m
Punto Hidráulicamente Mas Alto	3971 m.s.n.m	3963 m.s.n.m.
Punto De Interés	3871 m.s.n.m	3911 m.s.n.m.
Pendiente Media Superficial	17.53%	11.41%
Pendiente Media Del Cause	12.80%	8.56%

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.5.3 Tiempo de concentración (Tc). Para determinar el tiempo de concentración se utilizó la ecuación (13)

A. Fórmula de Ventura Heras. Utilizando la ecuación (13), se realiza el cálculo del tiempo de concentración para los puntos de interés se muestra a continuación:

Tabla 16

Cálculo del tiempo de concentración.

Pto	Área Km²	Long Km	PH	PI	H m	Pendiente S	Tc min
A	0.5249	0.7808	3971	3871	100	0.13	15.45
B	0.4557	0.6074	3963	3911	52	0.09	17.61

Fuente: Elaboración Propia.

B. Fórmula de Passini. Utilizando la ecuación (14), se realiza el cálculo del tiempo de concentración para los puntos de interés se muestra a continuación:

Tabla 17

Cálculo según la fórmula de Passini.

Pto	Área Km²	Long Km	Pendiente S	Tc Min
A	0.52	0.7808	0.13	16.19
B	0.46	0.6074	0.09	17.37

Fuente: Elaboración Propia.

C. Fórmula de California. Utilizando la ecuación (15), se realiza el cálculo del tiempo de concentración para los puntos de interés se muestra a continuación.

Tabla 18

Cálculo según la fórmula de California.

Pto	Longitud Km	Desnivel (m)	Tc (min)
A	0.7808	100	7.26
B	0.6074	52	6.99

Fuente: Elaboración Propia.

Para el presente informe los tiempos de concentración se determinaron promediando los resultados obtenidos utilizando las tres fórmulas utilizadas y aproximando a los tiempos de duración de las intensidades regionalizadas.

Tabla 19

Promedio de los resultados de los tiempos de concentración.

Pto	Ventura H.	Passini	California	Tc Promedio
	min	min	min	(min)
A	15.45	16.19	7.26	13
B	17.61	17.37	6.99	14

Fuente: Elaboración Propia.

2.3.5.4 Coeficiente de escurrimiento (C). Esta relación se analizó mediante los siguientes métodos:

A. Usando tablas. Estas tablas señalan los coeficientes de escurrimiento en base a la naturaleza de la superficie y su pendiente topográfico.

De las Tablas (2) y (3) mostradas, podemos tomar un valor de 0.36 para el factor de escorrentía porque el área del proyecto tiene una topografía con una pendiente menor al 10% con muchos pastos como ichu.

B. Método de Justin.

La zona de proyecto tiene una temperatura media anual de 11.5° C.

La precipitación media anual del proyecto antes calculada es 813.01, por lo tanto:

$$R = 813.01 \text{ mm.}$$

Reemplazando los valores en las ecuaciones (18), se obtiene los siguientes valores indicadas en la siguiente tabla.:

Tabla 20

Resultado final del cálculo de los coeficientes de escorrentía.

Pto. de interés	Área Ha	PA	PI	S	T °C	R mm	F Mm	Ca
A	52.49	3998	3871	0.18	11.5	813.01	350.47	0.43

B	45.57	3988	3911	0.11	11.5	813.01	327.88	0.40
---	-------	------	------	------	------	--------	--------	------

Fuente: Elaboración Propia.

De los dos métodos utilizados, se tomaron los valores obtenidos del método de Justin, porque representa más parámetros en su cálculo.

2.3.5.5 Generación de caudales. Para determinar el caudal se va usar la fórmula racional y la fórmula de Mac Math, las cuales se indican en las ecuaciones (19) y (20) respectivamente:

Tabla 21

Cálculo del caudal máximo.

PUNTO	UBICACIÓN (km)	ÁREA Ha	S m/km	Tc min	Ce	C	ITR mm/h	CAUDALES		
								FÓRMULA RACIONAL	FÓRMULA MAC MATH	PROMEDIO
										m3/s
Pto A.	0+620	52	180	13.00	0.43	0.25	44.37	2.78	1.68	2.23
Pto B.	4+810	46	110	14.00	0.40	0.25	44.37	2.25	1.17	1.71

Fuente: Propia.

2.4 Resultados

2.4.1 Cunetas laterales.

Para una zanja para terreno lluvioso, se toman las siguientes dimensiones, según dimensiones mínimas de la Tabla 1:

Teniendo en cuenta que la precipitación media anual del proyecto = 813.01 mm

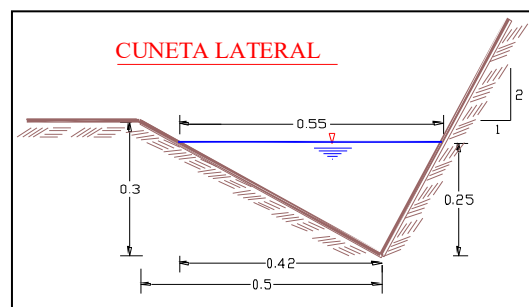
Profundidad: 0.30m (zona lluviosa)

Ancho: 0.50 m

Rebose: 0.05 m

Figura 15

Gráfico de la cuneca lateral.



Fuente: Propia.

2.4.1.1 Determinación de la longitud máxima.

A. Cálculo de la Longitud Máxima. Esta es la longitud máxima a la que el agua que fluye desde la pendiente y la superficie de la carretera, no pasa más allá de la zanja, esto se resolverá con la ecuación (4).

Se tendrá en cuenta que en el caso de que la longitud máxima de la zanja sea menor que la longitud del tramo investigado, se proveerán alcantarillas de descarga para evitar daños a la vía.

En el caso del proyecto, veremos la metodología para el cálculo de la superficie fiscal y la longitud máxima de las acequias mediante un ejemplo:

Datos:

$$L \text{ del tramo} = 200 \text{ m}$$

$$S \text{ del tramo} = 0.74 \%$$

$$n = 0.025$$

2.4.1.2 Capacidad de la Cuneta.

a. Área de la Cuneta. Se va usar la ecuación (8)

$$A = \frac{0.55 * 0.25}{2} = 0.068 \text{ m}^2$$

b. Perímetro mojado. Se va usar la ecuación (9)

$$P = 0.488 + 0.281 = 0.769 \text{ m}$$

c. Radio hidráulico. Se va usar la ecuación (10)

$$R = \frac{0.068}{0.769} = 0.085 \text{ m}$$

d. Velocidad. Se va usar la ecuación (11)

$$V = \frac{(0.085)^{2/3} * (0.74)^{1/2}}{0.025}$$

$$V = 1.02 \text{ m/s}$$

Teniendo en cuenta que:

e. Caudal. Ecuación de continuidad la cual es la ecuación (1)

$$Q = 1.02 * 0.068$$

$$Q = 0.069 \text{ m}^3 / \text{s}$$

e. Área Tributaria. Se va usar la ecuación (12)

$$A = \frac{(0.069)^{\frac{4}{3}}}{0.022 * 0.25 * 8.0 * 200^{\frac{1}{4}}}$$

$$A = 0.31 \text{ ha}$$

f. Longitud Máxima. Se va usar la ecuación (4)

Tomando un ancho de incidencia de 50 m como mínimo.

$$A = 0.31 \text{ ha}$$

$$A = 0.31 * 1000 \text{ m}^2$$

$$B = 0.50$$

$$L_{\text{máx}} = \frac{0.31 * 1000}{50}$$

$$L_{\text{máx}} = 62.30 \text{ m}$$

La longitud del tramo investigado fue de 200 m y por lo tanto mayor que la longitud máxima definida, por lo que se necesita una alcantarilla de alivio y podemos ver desde qué lado se encuentra la velocidad calculada dentro de los parámetros.

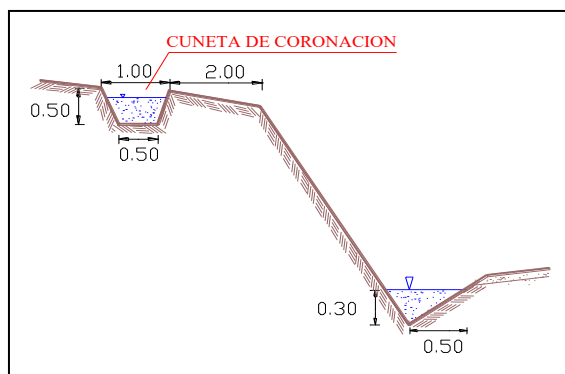
2.4.2 Zanjas de coronación

Su ubicación depende del terreno y del tipo de suelo. Las dimensiones se fijarán de acuerdo a las condiciones de precipitación en la zona.

En el Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito nos indican dimensiones mínimas para la zanja de coronación, las cuales se indican en la Figura 16.

Figura 16

Dimensionamientos de las cunetas de coronación.



Fuente: Propia.

A continuación, se realiza un análisis para las dimensiones mínimas, usando los datos mínimos de la zanja de coronación de la Figura 16.

2.4.2.1 Cálculo de la sección de la cuneta.

a. Área de la Cuneta. Se va usar la ecuación (14)

$$A = (b + zy)y$$

$$A = 0.326 \text{ m}^2$$

b. Perímetro mojado. Se va usar la ecuación (15)

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2}$$

$$P = 1.510 \text{ m}$$

c. Radio hidráulico. Se va usar la ecuación (16)

$$R = \frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$$

$$R = 0.217 \text{ m}$$

d. Ecuación de Manning: Se va usar la ecuación (1) y (2)

$$V = 1.44 \text{ m/s}$$

$$Q = 0.496 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.4.2.2 Cálculo del área tributaria. Considerando un coeficiente de permeabilidad de $C=0.25$ debido al tipo de suelo y una precipitación de 8.0cm/h se determina el área tributaria con la ecuación (12):

$$A = \left(\frac{0.496}{0.022 * 0.25 * 8 * 20^{1/4}} \right)^{4/3}$$

$$A = 6.32 \text{ ha}$$

Esta será la superficie máxima sobre la que deberá operar la artesa de coronación.

2.4.3 Alcantarillas

Para el llenado de la Tabla 22, se usaron las ecuaciones (17), (18), (19), (20), (21), (22), (23), (24) y (25).

Tabla 22

Cálculo del diámetro y parámetros de las alcantarillas.

CÁLCULO DEL DIÁMETRO Y PARÁMETROS DE LAS ALCANTARILLAS														
DIÁMETRO (m)														
Pto	Progresiva	Ce	Área	Pendiente	Área	Qmáx	TALBOT	COOK	MANNING	Calibr.	Long.	S		
			Drenada		Hidráulica (m ²)	(m ³ /s)	m	pulg	m	pulg	m	pulg (pulg.)	(m)	%
A	KM 00 + 620	0.5	52.5	66.70	1.749	2.230	1.49	59	1.20	47	0.84	33	48"	6.00 3%
B	KM 04 + 810	0.5	45.6	130.70	1.444	1.710	1.36	53	1.08	42	0.67	27	48"	6.00 3%

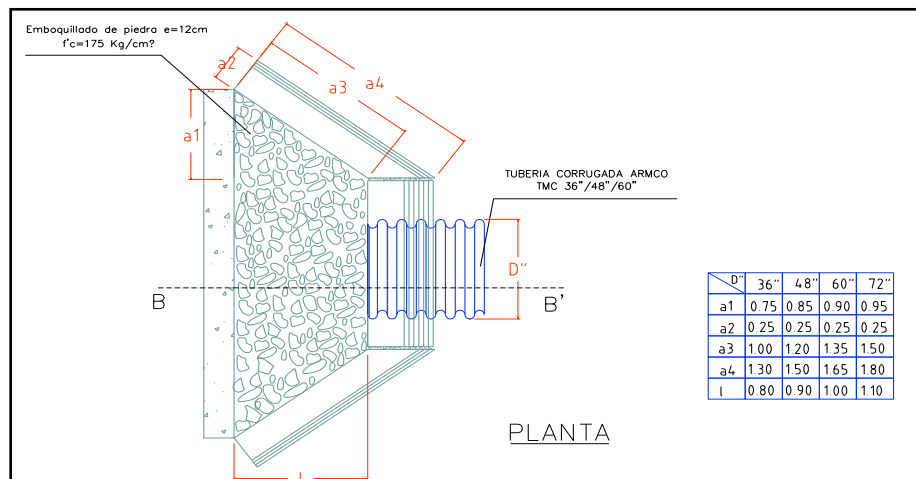
Fuente: Elaboración Propia.

El diámetro de la alcantarilla se analizó mediante tres métodos, tomando el promedio de los tres métodos como el diámetro calculado y luego el diámetro comercial.

2.4.3.3 Muros cabezales para alcantarillas. Los muros principales seleccionados en nuestro proyecto son de mampostería, que es económica y adecuada para el trabajo. A continuación, presentamos los diagramas, así como sus respectivas dimensiones para el diámetro de la alcantarilla.

Figura 17

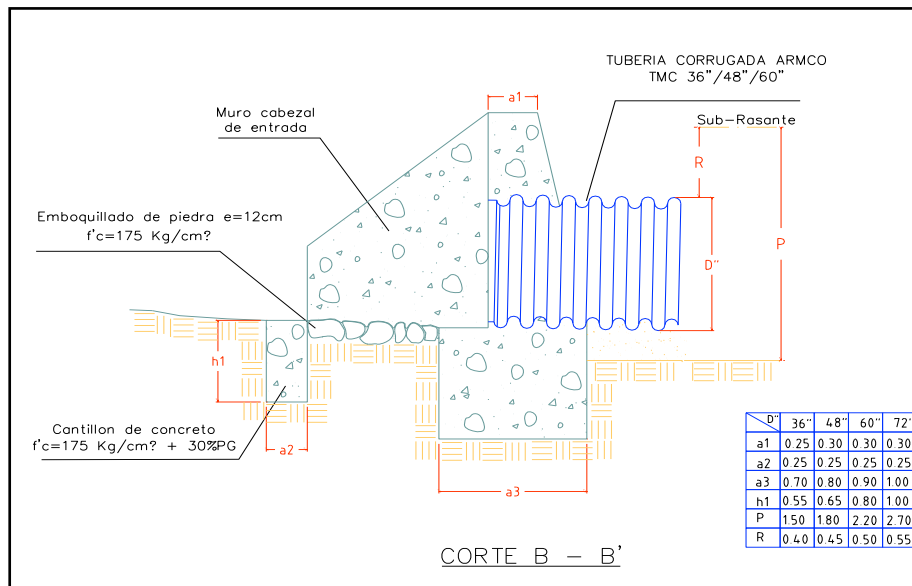
Diagrama en planta de la alcantarilla.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 18

Corte B-B'



Fuente: Elaboración Propia

2.4.3.4 Diseño hidráulico de las alcantarillas de alivio.

A. Determinación del caudal máximo del relieve. Se obtiene mediante el cálculo de la longitud máxima de las acequias, donde el caudal está intrínsecamente ligado al tramo y al área de la acequia específica. La cuantificación de este caudal se llevó a cabo mediante la incorporación de la fórmula de Manning en la ecuación de continuidad:

Para el llenado de la Tabla 23, se usaron las ecuaciones (26), (27), (28) y (29).

Tabla 23

Cálculo de áreas de las alcantarillas de alivio "canal revestido".

Q. RECEP DE										
Nro.	UBIC.	CUN.	LONGITUD	Coef Rug.	S-Vía	BASE	TIRANTE	ALTURA	VELOC.	
	(km)	m ³ / s	m	"n"	%	b	Y	H=(t + 0,3)	m/s	
1	0+440	0.074	5.50	0.020	2	0.4	0.14	0.4	1.3	
2	0+900	0.037	5.50	0.020	2	0.4	0.09	0.4	1.1	
3	1+000	0.056	5.50	0.020	2	0.4	0.11	0.4	1.2	
4	1+300	0.036	5.50	0.020	2	0.5	0.07	0.4	1.0	
5	1+550	0.079	5.50	0.020	2	0.4	0.15	0.4	1.2	
6	2+500	0.041	5.50	0.020	2	0.4	0.09	0.4	1.1	
7	2+770	0.062	5.50	0.020	2	0.4	0.12	0.4	1.3	
8	3+150	0.037	5.50	0.020	2	0.4	0.09	0.4	1.1	
9	3+450	0.047	5.50	0.020	2	0.4	0.10	0.4	1.2	
Q. RECEP DE										
Nro.	UBIC.	CUN.	LONGITUD	Coef Rug.	S-Vía	BASE	TIRANTE	ALTURA	VELOC.	
	(km)	m ³ / s	m	"n"	%	b	t	H=(t + 0,3)	m/s	
1	0+720	0.037	5.50	0.020	2	0.4	0.09	0.4	1.1	
2	0+900	0.055	5.50	0.020	2	0.4	0.11	0.4	1.2	
3	1+450	0.037	5.50	0.020	2	0.4	0.09	0.4	1.1	
4	2+020	0.037	5.50	0.020	2	0.4	0.09	0.4	1.1	
5	2+400	0.048	5.50	0.020	2	0.4	0.10	0.4	1.2	
6	2+750	0.064	5.50	0.020	2	0.5	0.10	0.5	1.2	

Fuente: Elaboración Propia.

2.5 Discusión de resultados

Los estudios hidrológicos realizados en la zona de estudio fueron muy importantes para el diseño de los sistemas de drenaje en la vía, como cunetas, cuentas o zanjas de coronación y alcantarillas, que tendrán la función de desviar el agua de origen superficial en su mayor parte, como medida para proteger la propia vía y asegurar un funcionamiento constante, así como la conservación de la carretera.

Mediante el respaldo de disciplinas como hidrología y estadísticas, se procedió al análisis de los datos de precipitación extraídos de los registros meteorológicos de estaciones ubicadas en proximidad al área del proyecto que sirvió como fundamento para el presente informe. Estos datos fueron sometidos a una evaluación exhaustiva con el fin de determinar la coherencia y confiabilidad de los registros. Con la establecida confiabilidad de los datos, se inició la delineación de parámetros cruciales, tales como escurrimiento, tiempo de concentración e intensidad máxima. Estos parámetros son indispensables para la planificación y diseño de las estructuras hidráulicas correspondientes al proyecto.

La progresión secuencial en el manejo de datos hidro-meteorológicos no conlleva complicaciones significativas en lo que respecta al procesamiento en sus distintas fases. Por el contrario, es la laboriosidad un elemento que podría restringir o ralentizar el desarrollo de este análisis, atribuible al considerable volumen de información que requiere ser examinado.

III. APORTES MÁS DESTACABLES A LA EMPRESA/INSTITUCIÓN

Durante mi experiencia profesional que tuve en diferentes empresas, en la que me mejor me desarrollé y tuve mayores aportes fue en el proyecto de Aprovechamiento de la quebrada Tupuri en la que me desempeñé como parte de la supervisión y posteriormente como parte del contratista.

En dicho proyecto se desarrollaron diferentes estructuras de drenaje, razón por la cual precise realizar el diseño de las estructuras de drenaje de la carretera que se encuentra ubicada en Cusco, viendo la importancia que tienen estas estructuras en la conservación de una carretera.

Los aportes que yo realice en dicho proyecto fueron en diferentes aspectos, ya sea en la revisión de documentación (planos, especificaciones técnicas, entre otros), así como también en para la verificación de un adecuado proceso de construcción de diferentes estructuras que formaban parte del proyecto.

Se cumplió con las metas y objetivos que se planteaban durante el tiempo en del proyecto, este trabajo se llevaba a cabo por el apoyo entre la supervisión y el contratista.

Se realizaba el avance correspondiente, a pesar que se presentaban varios inconvenientes ya sean sociales, así también como climatológicos.

Se implemento la mejora del proceso de trabajos con concreto, así como en un aspecto fundamental que es verificación y liberación de estructuras para su posterior vaciado de concreto.

Durante el proyecto se encontró que necesitaba adicionales de obra, para lo cual se coordinaba con el contratista con respecto a la presentación de documentación para agilizar su verificación por parte de la supervisión, también se tenían que generar partidas nuevas e incluso esto generaba una modificación en los tiempos de trabajo y el presupuesto.

IV. CONCLUSIONES

- El proyecto se ubica a una altitud promedio de 3796,00 m.s.n.m y tiene una precipitación media anual del proyecto de 813.01 mm. Si bien se realizó el cálculo de intensidades máximas de precipitación para diferentes periodos de retorno, se eligió el periodo de 10 años, para el cual se tiene intensidades de: 80 mm/h, 71.94 mm/h, 66.16 mm/h, y 57 mm/h.
- Los caudales máximos obtenidos son: en el punto A con coordenadas (0+620) es 2.23 m³/s y en el punto B con coordenadas (4+810) es 1.71 m³/s.
- La sección de las cunetas laterales calculadas se caracteriza por una profundidad de 0.30 m (zona lluviosa), un ancho de 0.50 m y un rebose de 0.05 m. Las zanjas de coronación se caracterizan por tener un área hidráulica de sección transversal de 0.326 m², un perímetro mojado de 0.217 m y un radio hidráulico de 0.217 m. Las alcantarillas tienen un diámetro de 48", una longitud de 6 m y una pendiente de 3%, mientras que las alcantarillas de alivio tienen una longitud de 5 m, una altura de 0.40 m y una base de 0.40 o 0.50 m.

V. RECOMENDACIONES

- Para el diseño de las estructuras de drenaje, se recomienda que este proyecto se apoye en hidrología y estadísticas, analizando los datos de lluvia de los registros meteorológicos de las estaciones cercanas al área del proyecto, los cuales deben ser evaluados para determinar su consistencia y confiabilidad.
- El desarrollo secuencial del tratamiento de la información hidro-meteorológica y precipitaciones, no presenta mayor dificultad en cuanto se refiere al procesamiento en sus diversas etapas; siendo en cambio la laboriosidad el factor que pueda limitar o hacer lenta el proceso de este análisis, esto debido al volumen considerable de información a analizar. Para superar este hecho usar fuentes como municipalidades, ministerio de transportes y sus manuales, así como data de SENAMHI.
- Para proyectos futuros como el proyecto en el que se basa este informe, se recomienda el uso cunetas triangulares por su fácil construcción y mantenimiento, con respecto a las alcantarillas se plantea que sean de TMC por su mayor duración y considerar siempre la importancia de un buen diseño de las estructuras de drenaje, para la conservación de las carreteras.

VI. REFERENCIAS

- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela: Episteme (6a ed.). Editorial Episteme.
- Asociación mundial de la carretera (2014). *Importancia de la conservación de la carretera*.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (s.f.). *Metodología de la investigación* (6a ed.). McGraw-Hill / Interamericana editores.
- Maldonado, S. y Rodríguez, F. (2012). *Análisis de alternativas de diseño de drenaje vial con aplicación de programas computacionales* (Tesis de Postgrado), Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Marín, E. y Pérez, I. (2014). *Drenaje y subdrenaje en carreteras* (Tesis de Pregrado). Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco.
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (s.f.). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*
- Ministerio de transportes y comunicaciones (2008). *Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito*.
- Saldaña, P. y Mera, S. (2014). *Diseño de la vía y mejoramiento hidráulico de obras de arte en la carretera Loero - Jorge Chávez, inicio en el km 7.5, distrito de Tambopata, Región Madre de Dios* (Tesis de Pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego.
- Senamhi (2021) *Atlas de temperaturas del aire y precipitación del Perú*.
- Senamhi (2023) *Informe técnico n°15-2023/SENAMHI-DMA-SPC Perspectivas climáticas Periodo diciembre 2023 – febrero 2024*.
- Vasquez, Y. (2021). *Diseño de alcantarillas y cunetas de drenaje para mejorar la serviciabilidad de la carretera Antilla - Ccollpa, Provincia de Abancay-Apurímac* (Tesis de Pregrado). Universidad Cesar Vallejo.

Yañez, E. (2014). *Eficiencia del sistema de drenaje pluvial en la av. Angamos y jr. Santa Rosa*
(Tesis de Pregrado), Universidad Privada del Norte.

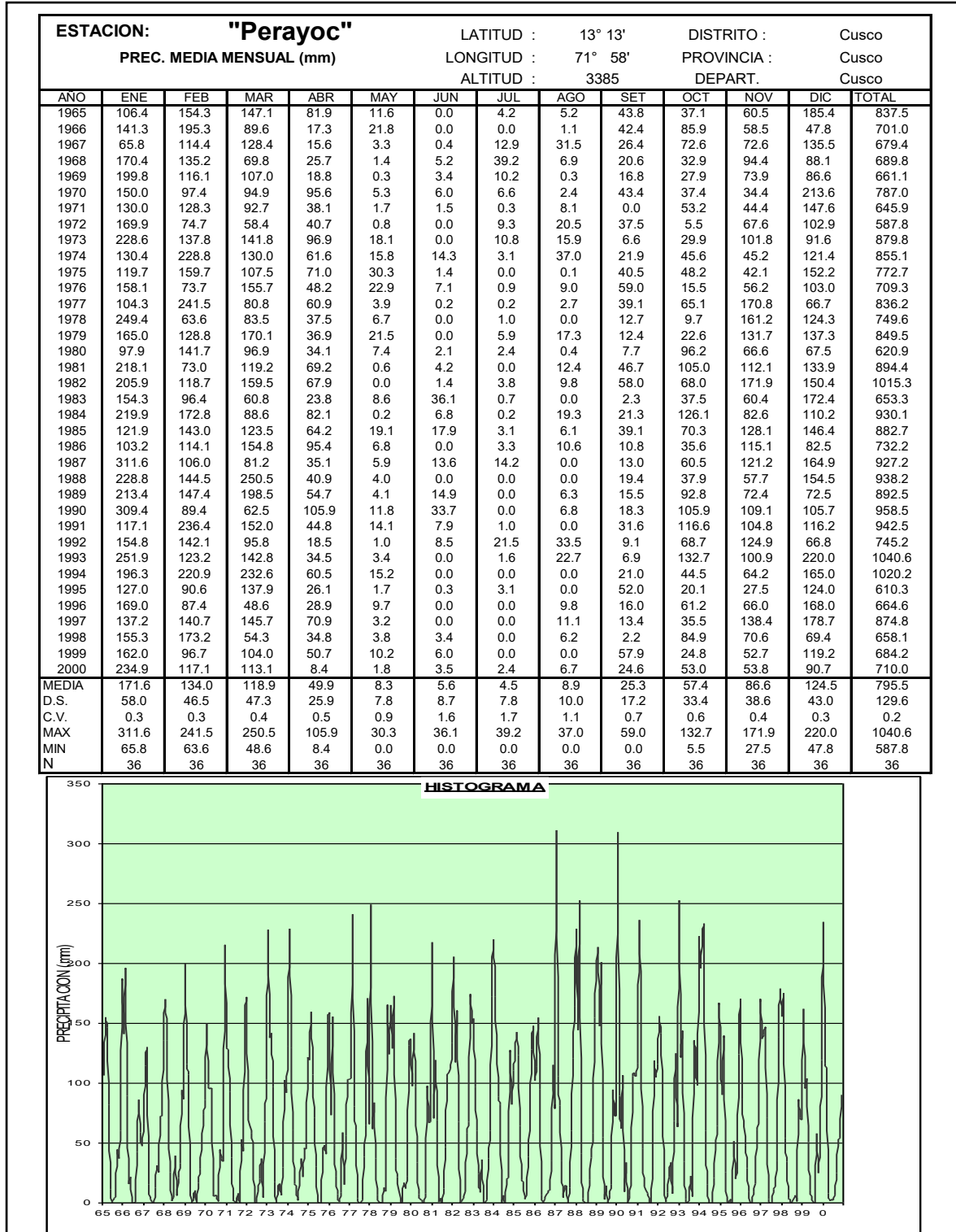
VII. ANEXOS

Anexo A

Valores de precipitación media actual

Figura 19

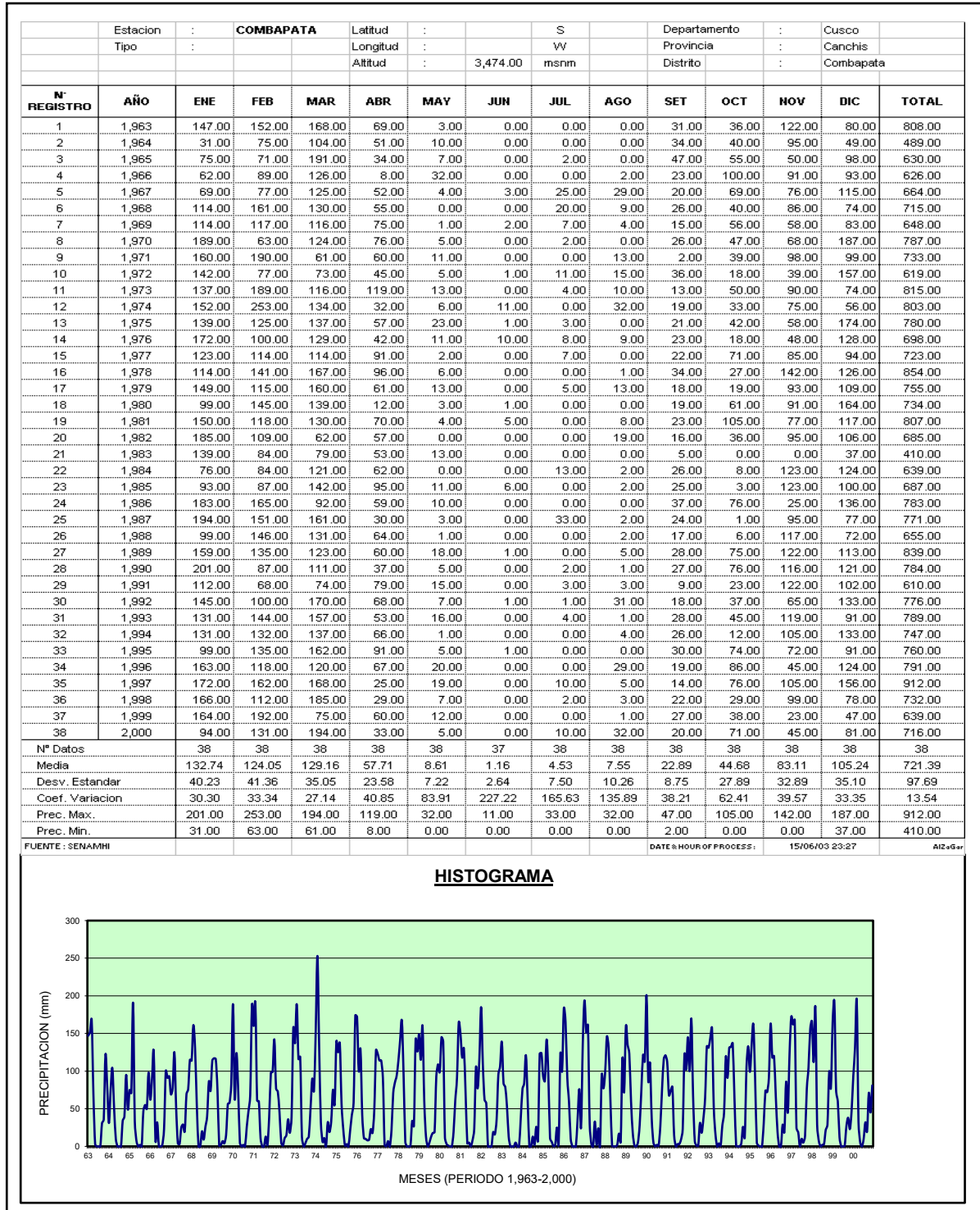
Valores de precipitación media mensual e histograma para la estación Perayoc.



Fuente: SENAMHI.

Figura 20

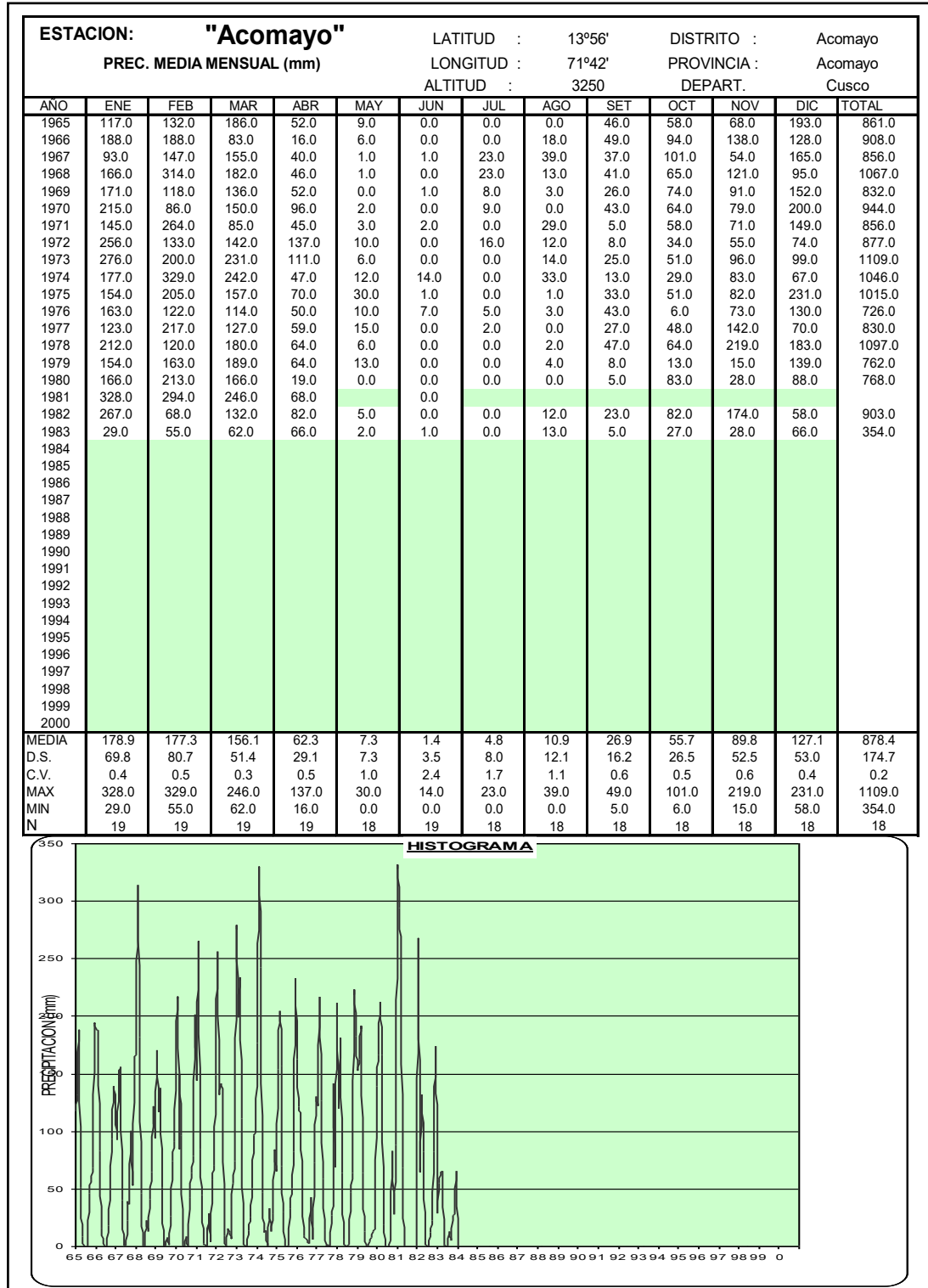
Valores de precipitación media mensual e histograma para la estación Combapata.



Fuente: SENAMHI.

Figura 22

Valores de precipitación media mensual e histograma para la estación Acomayo.



Fuente: SENAMHI.

Anexo B
Panel fotográfico

Figura 23

Carretera Combapata – Pampamarca 1.



Fuente: Propia.

Figura 24

Carretera Combapata – Pampamarca 2.



Fuente: Propia.

Figura 25*Laguna Pampamarca.*

Fuente: Propia.

Figura 26*Pueblo de Pampamarca.*

Fuente: Propia.

Figura 27

Inicio de la carretera Pampamarca – Tungasuca.



Fuente: Propia.

Figura 28

Carretera Pampamarca – Tungasuca 1.



Fuente: Propia.

Figura 29

Carretera Pampamarca – Tungasuca 2.



Fuente: Propia.

Figura 30

Pueblo de Tungasuca.



Fuente: Propia.

Figura 31

Carretera Tungasuca – Pabellones 1.



Fuente: Propia.

Figura 32

Carretera Tungasuca – Pabellones 2.



Fuente: Propia.

Figura 33

Pueblo de Pabellones.



Fuente: Propia.

Figura 34

Alcantarillas rectangulares de concreto en mal estado.



Fuente: Propia.

Anexo C

Planos o Mapas

