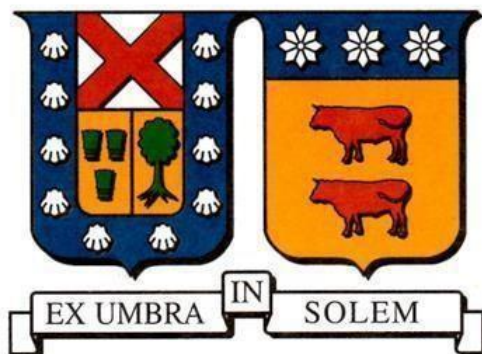




UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCION REY BALDUINO DE BELGICA
CONCEPCION

**Estudio de Prefactibilidad Canalización de aguas lluvias
Camino Carriel Norte, Talcahuano**

Matias Abraham Rivas Zuñiga

2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE CONCEPCIÓN

“REY BALDUINO DE BÉLGICA”

**Estudio de Prefactibilidad Canalización de aguas lluvias
Camino Carriel Norte, Talcahuano**

**TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CONSTRUCTOR**

**Alumno: Matias Abraham Rivas Zuñiga
Profesor Guía: Sergio Hernández Aravena**

2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Estudio de Prefactibilidad Canalización de aguas lluvias Camino Carriel Norte, Talcahuano

Nombre del candidato(a): Matías Abraham Rivas Zúñiga

Carrera / Grado: Ingeniería en Construcción con Licenciatura en Ingeniería

Campus: Concepción Departamento: Construcción y Prevención de Riesgos

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Sergio Hernández Aravena, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 21 de agosto, 2026 Firma: Sergio Hernández Aravena

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 21 de ago. de 26 Firma: _____

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi querida familia: mi madre, mi padre, mi hermano y mi hermana, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida y de este logro. En cada etapa de mi formación estuvieron a mi lado, brindándome su apoyo incondicional, su confianza y el ánimo necesario para seguir adelante, incluso en los momentos en que yo mismo dudaba. Desde mi infancia me enseñaron, con su ejemplo, que el esfuerzo, la perseverancia y la constancia son el verdadero camino para alcanzar los sueños, y que nada en esta vida se consigue sin sacrificio y dedicación. Cada enseñanza, cada palabra de aliento y cada gesto de cariño fueron fundamentales para convertirme en la persona que soy hoy en día. Este logro también les pertenece a ustedes, porque sin su amor y apoyo incondicional, difícilmente habría sido posible alcanzar esta meta.

También quiero dedicar un agradecimiento muy especial a mi gata Morita, quien, aunque no lo sepa, fue una gran compañera durante este proceso. En los momentos de mayor estrés y cansancio, jugar con ella o simplemente hacerle cariño me permitió despejar la mente y enfrentar con una mejor actitud las largas jornadas de trabajo.

Agradezco igualmente a mis amigos Pablo Silva y Sebastián Fonseca. Durante nuestra etapa universitaria formamos un gran equipo de trabajo, apoyándonos mutuamente frente a cada desafío académico. Su compañerismo, compromiso y amistad hicieron este camino mucho más llevadero y enriquecedor.

Finalmente, quiero agradecer a todos los profesores que formaron parte de mi proceso de aprendizaje, tanto en la carrera de Técnico Dibujante Proyectista como en Ingeniería en Construcción, por compartir sus conocimientos y experiencias. En especial, expreso mi más profundo agradecimiento al profesor Sergio Hernández, quien siempre tuvo la disposición y el tiempo para orientarme, entregándome no solo apoyo técnico durante el desarrollo de este proyecto, sino también palabras de ánimo y confianza en los momentos más complejos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	5
CONTEXTO HIDROLÓGICO DEL SECTOR.....	6
JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	7
METODOLOGÍA DEL TRABAJO	9
1. LEVANTAMIENTO Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	9
2. ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL SISTEMA EXISTENTE	9
3. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN DE DRENAJE.....	10
4. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA	10
MARCO TEÓRICO.....	11
HIDROLOGÍA APLICADA AL DRENAJE VIAL	11
DRENAJE SUPERFICIAL EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS	11
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y MANTENIMIENTO.....	12
MARCO NORMATIVO.....	13
MANUAL DE CARRETERAS	13
OBJETIVO GENERAL.....	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.1 PRECIPITACIÓN ANUAL	16
1.2 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE PRECIPITACIONES	17
1.3 IMPACTO EN LA POBLACIÓN Y ACTIVIDAD ECONÓMICA DEL SECTOR	18
1.4 GEOMETRÍA DE LA VÍA EN ESTUDIO	22
1.4.1 PERFIL LONGITUDINAL ACTUAL DE LA VÍA EN ESTUDIO	22
1.4.2 PERFILES TRANSVERSALES.....	24
1.4.3 GEOMETRÍA ACTUAL DE LA ZANJA	26
1.5 ANÁLISIS HIDROLÓGICO	27
1.5.1 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO.....	27
1.5.2 VARIABLES HIDRÁULICAS (CAPACIDAD DE EVACUACIÓN)	28
2.1 CRITERIOS DE DISEÑO.....	32
2.2 EVALUACIÓN DEL ESPACIO DISPONIBLE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	33
2.3 ANÁLISIS GEOTÉCNICO Y DEFINICIÓN DE TALUDES	34
2.4 SECCIÓN TRANSVERSAL PROPUESTA	35
2.5 TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE COMO SOLUCIÓN PARA EL	

CAMINO	37
3.1 EVALUACIÓN TÉCNICA	40
3.1.1 ECUACIÓN DE MANNING	40
3.2 PLANTA GENERAL Y PERFILES PROYECTADOS	41
3.2.1 PLANTA GENERAL DEL PROYECTO	41
3.2.2 PERFILES LONGITUDINALES PROYECTADOS	42
3.2.3 PERFILES TRANSVERSALES PROYECTADOS	44
3.3 SELECCIÓN DEL ENROCADO CLASE I	45
3.4 DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	46
3.5 ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA	47
3.6 DURACIÓN DE LA OBRA	50
3.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA	51
3.7.1 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	51
3.8 CUBICACIONES PRINCIPALES	60
3.8.1 CUBICACIÓN DE EXCAVACIÓN Y RELLENO	60
3.8.2 CUBICACIÓN DEL TRANSPORTE DEL MATERIAL EXCAVADO	62
3.8.3 CUBICACIÓN GEOTEXTIL NO TEJIDO	63
3.8.4 CUBICACIÓN CAPA DE ARENA	64
3.8.5 CUBICACIÓN DOBLE CAPA DE ENROCADO	65
3.8.6 CUBICACIÓN DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE	66
3.9 PRESUPUESTO DE LA OBRA	66
4 CONCLUSIONES	68
4.1 CONCLUSIÓN OBJETIVO ESPECÍFICO 1	68
4.2 CONCLUSIÓN OBJETIVO ESPECÍFICO 2	69
4.3 CONCLUSIÓN OBJETIVO ESPECÍFICO 3	70
4.4 CONCLUSIÓN GENERAL	71
5 BIBLIOGRAFÍA	73

INTRODUCCIÓN

La adecuada evacuación de aguas lluvias constituye uno de los aspectos fundamentales en el diseño, operación y conservación de la infraestructura vial, especialmente en caminos no pavimentados, donde el desempeño hidráulico influye directamente en el comportamiento estructural de la vía, su nivel de servicio y la seguridad de los usuarios.

En los caminos de ripio, el drenaje adquiere una importancia aún mayor debido a la ausencia de una carpeta de rodadura impermeable que proteja la estructura del camino frente a la acción del agua. Cuando el sistema de drenaje es insuficiente, ya sea por un diseño inadecuado, la inexistencia de obras de evacuación o la falta de mantenimiento, el agua de escorrentía superficial se acumula sobre la calzada o infiltra las capas granulares, disminuyendo su capacidad portante.

Esta condición se agrava durante eventos de precipitación intensa, donde la capacidad hidráulica de las obras de drenaje resulta insuficiente, provocando anegamientos, erosión de la plataforma y pérdida de material granular, situaciones que reducen considerablemente la vida útil del camino y afectan su funcionalidad.

Las deficiencias en el drenaje no solo comprometen el estado físico de la infraestructura vial, sino que también generan impactos directos sobre la conectividad y accesibilidad de las comunidades. La disminución de la transitabilidad, el aumento de los tiempos de desplazamiento y las condiciones de inseguridad para los usuarios durante eventos de lluvia evidencian la importancia de incorporar soluciones de drenaje técnicamente adecuadas.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA



Ilustración 1: Condición de anegamiento de la vía en estudio

Fuente: Residente del sector

El Camino Carriel Norte, ubicado en el sector Brisas del Sol de la comuna de Talcahuano, presenta problemas recurrentes de anegamiento durante los períodos de lluvia, situación que afecta la transitabilidad de la vía y dificulta el acceso tanto a las viviendas como a las empresas emplazadas en el sector.

Durante los eventos de precipitación, la acumulación de agua llega a cubrir gran parte de la superficie de rodadura, restringiendo el tránsito vehicular y peatonal, disminuyendo la seguridad de los usuarios y limitando el normal desarrollo de las actividades cotidianas.

Una vez finalizadas las precipitaciones, la problemática persiste debido a la presencia de barro y material saturado sobre la calzada, producto de la infiltración del agua y la pérdida de capacidad de drenaje de la vía.

Estas condiciones reducen considerablemente la adherencia de los vehículos, dificultan el desplazamiento de peatones y prolongan las deficiencias de conectividad incluso varios días después de los eventos de lluvia. Asimismo, la saturación del material granular acelera el deterioro de la plataforma, favoreciendo la formación de deformaciones superficiales y aumentando la frecuencia de las labores de conservación requeridas para mantener el camino en condiciones adecuadas de servicio.



Ilustración 2: Condición de barro posterior a anegamiento

Fuente: Fotografía propia

Esta situación afecta directamente la calidad de vida de los habitantes y el funcionamiento de las actividades productivas del sector. Durante la encuesta aplicada a residentes y usuarios habituales del camino, diversos participantes manifestaron las dificultades que enfrentan para desplazarse durante los períodos de lluvia. Uno de los testimonios señala:

"Hace un año que me compré un auto y eso me ha salvado para poder llegar al trabajo; cuando permanece el agua en el camino es muy complicado pasar a pie."

Este relato refleja el impacto que las condiciones del camino generan sobre la movilidad cotidiana de los usuarios, quienes deben modificar sus formas de desplazamiento para enfrentar las reiteradas dificultades de acceso.

24 HORAS

Informe Especial TV Tiempo Actualidad Internacional Deportes Regiones Tendencias Noticiarios

Talcahuano: Vecinos de Carriel Norte protestan por camino inundado

Ruta de acceso está inundada, por obstrucción de los canales naturales de evacuación de aguas lluvias y mantención deficiente.

Centro Regional Biobío

Martes 24 de junio de 2014

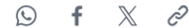


Ilustración 3: Registro histórico de los anegamientos del sector

Fuente: 24 Horas

La persistencia de esta problemática también ha sido evidenciada por distintos medios de comunicación. Un antecedente corresponde a la publicación realizada por 24 Horas el 24 de junio de 2014, titulada "Talcahuano: Vecinos de Carriel Norte protestan por camino inundado", en la que se informa que el acceso al sector permanecía inundado debido a la obstrucción de los canales naturales de evacuación de aguas lluvias y a la deficiente mantención de estos. Este antecedente demuestra que los problemas de drenaje no corresponden a una situación puntual, sino a una condición que ha persistido por más de una década.

UBICACIÓN DEL PROYECTO

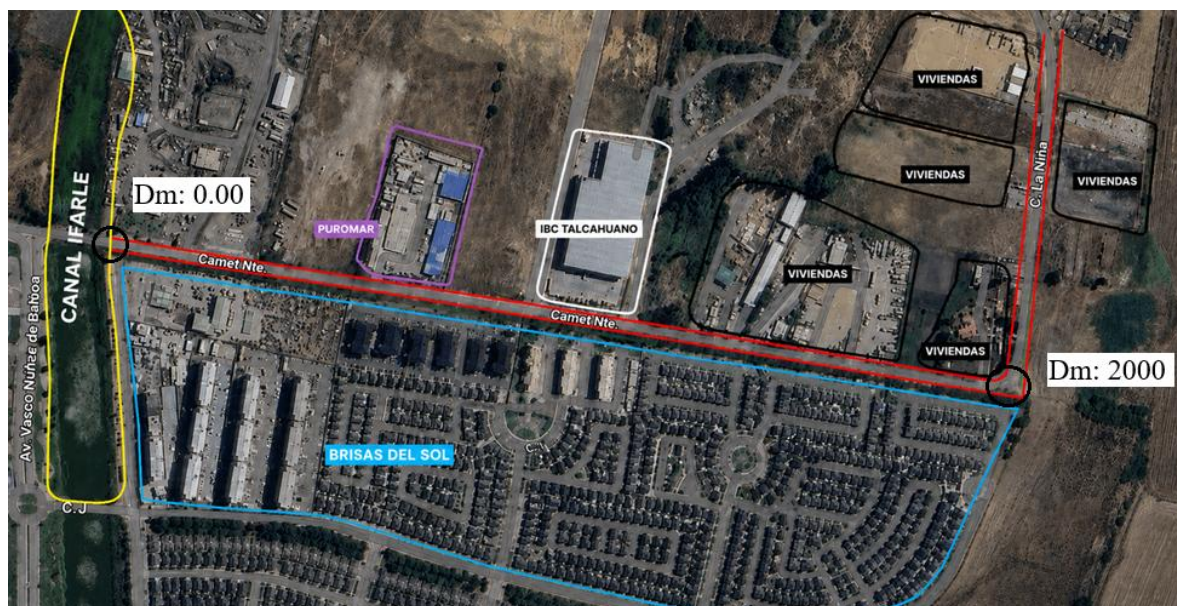


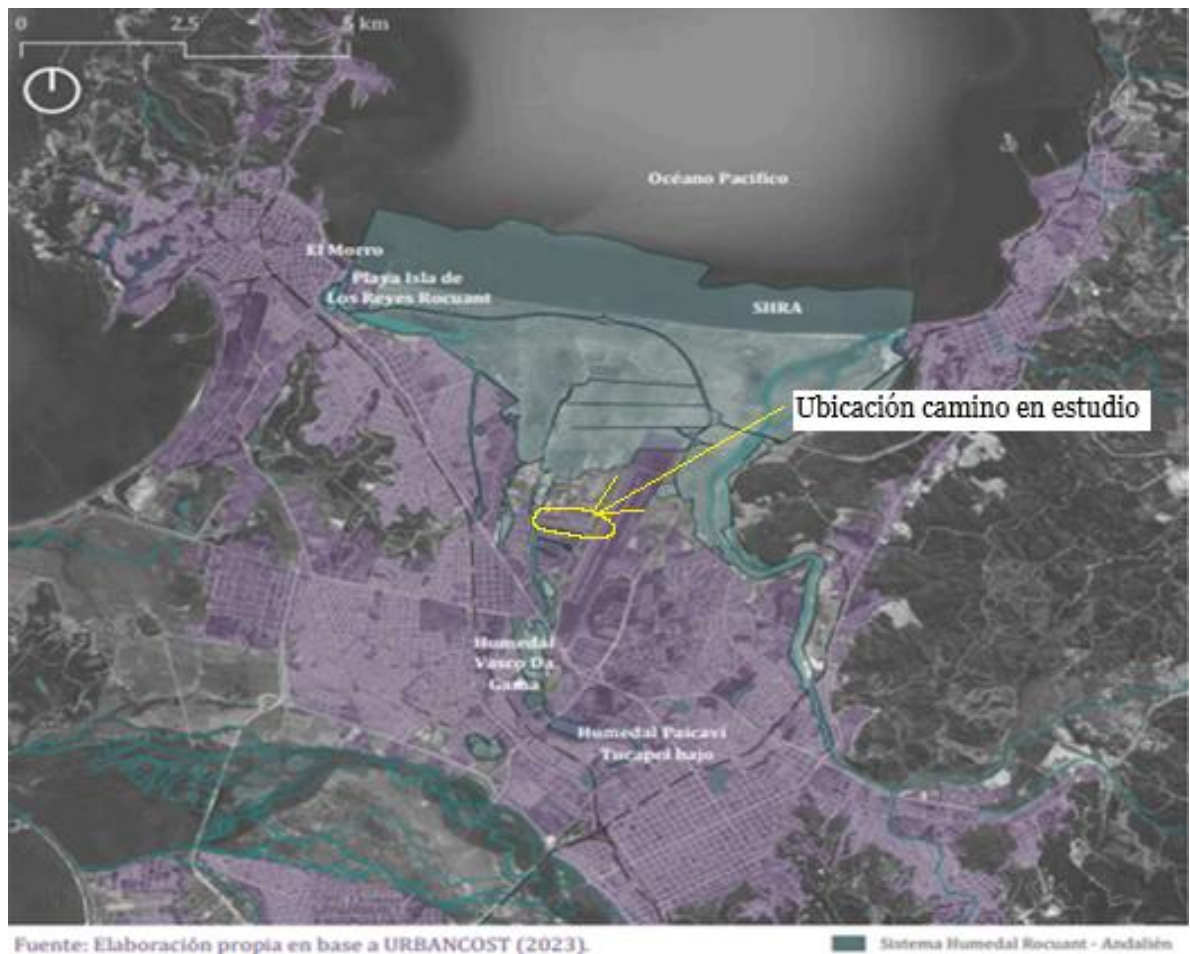
Ilustración 4: Ubicación del área de estudio

Fuente: Elaboración propia sobre imagen satelital de Google Earth

El proyecto se desarrolla en el Camino Carriel Norte, ubicado en el sector Brisas del Sol, comuna de Talcahuano, Región del Biobío. El tramo en estudio posee una longitud aproximada de 2.000 m, extendiéndose desde la intersección con la Avenida Ifarle Oriente, donde se encuentra la descarga hacia el Canal Ifarle.

El camino constituye una vía de acceso para un importante sector residencial y para diversas instalaciones de carácter industrial y de servicios, entre las que destacan el conjunto habitacional Brisas del Sol, la empresa Puromar y las dependencias de IBC Talcahuano. Asimismo, permite la conexión con otros sectores urbanos de la comuna, cumpliendo un rol relevante para la movilidad diaria de residentes, trabajadores y vehículos de servicio.

CONTEXTO HIDROLÓGICO DEL SECTOR



Fuente: Elaboración propia en base a URBANCOST (2023).

Ilustración 5: Ubicación del Camino Carriel Norte dentro del Sistema de Humedales Rocuant–Andalién

Fuente: Plan de Gobernanza para el Sistema Humedal Rocuant-Andalién, Área Proyecto GEF Humedales Costeros.

El tramo en estudio se emplaza dentro del área de influencia del Sistema de Humedales Rocuant–Andalién, uno de los complejos de humedales costeros más importantes de la Región del Biobío. Este sistema está conformado por humedales, esteros, canales y zonas inundables que cumplen un rol fundamental en la regulación hídrica, el almacenamiento temporal de aguas lluvias y la conservación de la biodiversidad.

La cercanía del Camino Carriel Norte a este sistema natural condiciona el comportamiento del drenaje superficial del sector, ya que las aguas escurren hacia cauces y canales que finalmente descargan en el Humedal Rocuant–Andalién. En particular, la evacuación de las aguas lluvias provenientes del tramo en estudio se realiza mediante el Canal Ifarle, el cual constituye el principal receptor del sistema de drenaje proyectado.

Desde el punto de vista territorial, el camino se localiza en una zona de transición entre áreas urbanizadas, sectores industriales y espacios naturales asociados al humedal, lo que exige compatibilizar el adecuado funcionamiento de la infraestructura vial con la gestión de las aguas lluvias y la protección del entorno.

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La necesidad de desarrollar el presente proyecto surge como respuesta a los problemas recurrentes de anegamiento que afectan al Camino Carriel Norte durante los eventos de precipitación, comprometiendo la transitabilidad, la seguridad de los usuarios y la conservación de la infraestructura vial. La persistencia de esta problemática evidencia la necesidad de implementar una solución de drenaje superficial que permita restituir la capacidad hidráulica del sistema y garantizar un adecuado funcionamiento del camino frente a las condiciones climáticas propias del sector.

Desde el punto de vista técnico, la intervención propuesta busca mejorar el funcionamiento hidráulico del sistema de drenaje mediante el rediseño de la zanja existente, permitiendo conducir de manera eficiente las aguas lluvias y reducir la acumulación de agua sobre la superficie de rodadura.

Con ello se disminuye la infiltración hacia la estructura granular del camino, se reduce el deterioro asociado a la saturación del material y se prolonga la vida útil de la infraestructura, favoreciendo además una disminución en las necesidades de conservación y mantenimiento.

La ejecución del proyecto también responde a una necesidad identificada por la comunidad. Los anegamientos y la persistencia de barro dificultan el acceso a viviendas, empresas y otros servicios del sector, afectando la movilidad diaria de residentes y trabajadores.

En consecuencia, el mejoramiento del sistema de drenaje permitirá restituir condiciones adecuadas de transitabilidad, incrementando la seguridad de los usuarios y mejorando la conectividad del Camino Carriel Norte durante y después de los eventos de lluvia.

Desde una perspectiva académica, el desarrollo de este proyecto permite integrar conocimientos propios de la Ingeniería en Construcción mediante la aplicación de criterios hidrológicos, hidráulicos, geotécnicos, geométricos y económicos para resolver una problemática real de infraestructura vial.

El estudio contempla la estimación de caudales de diseño, el análisis hidráulico del sistema de drenaje, la evaluación del comportamiento del suelo, el diseño de la solución propuesta y su evaluación técnico-económica mediante cubicaciones, análisis de precios unitarios y presupuesto de obra.

METODOLOGÍA DEL TRABAJO

La metodología del presente proyecto se estructura en tres etapas principales, las cuales se encuentran directamente relacionadas con los objetivos específicos planteados. Estas etapas consideran el análisis de la situación actual, el desarrollo de una solución técnica y la evaluación de su factibilidad.

1. LEVANTAMIENTO Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En una primera etapa se recopiló la información necesaria para caracterizar las condiciones existentes del Camino Carriel Norte.

Para ello se realizaron visitas a terreno, levantamientos geométricos y registro fotográfico, permitiendo identificar el estado de la superficie de rodadura, las características de la zanja existente y los principales problemas asociados a la evacuación de aguas lluvias.

Complementariamente, se recopiló información pluviométrica correspondiente a la estación meteorológica Carriel Sur y antecedentes técnicos obtenidos del Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas y del Manual de Drenaje Urbano, utilizados como base para el desarrollo del estudio.

2. ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL SISTEMA EXISTENTE

Con los antecedentes recopilados se efectuó el análisis hidrológico del área de estudio mediante el Método Racional, determinando el caudal de diseño a partir de la intensidad de lluvia, el área de aporte y el coeficiente de escorrentía.

Posteriormente, se evaluó hidráulicamente la zanja existente mediante la aplicación de la ecuación de Manning, considerando su geometría, pendiente longitudinal y condiciones actuales de operación. Este análisis permitió determinar la capacidad de conducción del sistema y establecer las principales deficiencias que justifican la necesidad de una intervención.

3. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN DE DRENAJE

A partir del diagnóstico obtenido, se desarrolló una propuesta de mejoramiento del sistema de drenaje superficial, considerando los criterios de diseño establecidos en el Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas, particularmente en lo referente al drenaje longitudinal, pendientes mínimas, geometría de la sección hidráulica y revestimiento de canales.

En función de estos lineamientos, se definió el rediseño de la zanja existente mediante una sección revestida con geotextil y enrocado, con el propósito de mejorar la capacidad de conducción de las aguas lluvias, disminuir los procesos de erosión y asegurar un adecuado funcionamiento hidráulico del sistema.

Como complemento a la solución de drenaje, se incorporó un Tratamiento Superficial Doble (TSD) sobre la superficie de rodadura del camino, diseñado de acuerdo con las recomendaciones del Manual de Carreteras, con el objetivo de mejorar las condiciones de circulación, reducir la infiltración de agua hacia la estructura del camino y favorecer el escurrimiento superficial hacia la zanja proyectada, contribuyendo al desempeño integral de la solución propuesta.

4. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

Finalmente, la solución propuesta fue evaluada desde los puntos de vista técnico y económico. La evaluación técnica consistió en verificar que la sección proyectada fuera capaz de conducir el caudal de diseño bajo condiciones hidráulicas adecuadas, cumpliendo con los criterios establecidos en la normativa vigente.

Posteriormente, se desarrolló la evaluación económica mediante la elaboración de cubicaciones, análisis de precios unitarios, presupuesto de obra y estimación del plazo de ejecución, permitiendo determinar la factibilidad de implementación de la alternativa propuesta.

MARCO TEÓRICO

HIDROLOGÍA APLICADA AL DRENAJE VIAL

La precipitación corresponde al agua que cae desde la atmósfera hacia la superficie terrestre, constituyendo el principal aporte de agua a los sistemas de drenaje superficial. En infraestructura vial, variables como intensidad de lluvia, período de retorno y área de aporte permiten estimar los caudales generados durante eventos de precipitación (Chow, Maidment & Mays, 1994).

Cuando la capacidad de infiltración del suelo es superada, se produce escorrentía superficial, es decir, el flujo de agua que circula sobre el terreno. Para estimar este escurrimiento en cuencas pequeñas se utiliza frecuentemente el método racional, el cual relaciona intensidad de lluvia, área de aporte y coeficiente de escorrentía (MOP, 2025).

DRENAJE SUPERFICIAL EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS

El drenaje superficial corresponde al conjunto de obras destinadas a captar y evacuar aguas lluvias desde la superficie del camino hacia puntos de descarga. En caminos de ripio, este sistema resulta fundamental debido a la ausencia de una carpeta impermeable que proteja la estructura frente a la acción directa del agua (MOP, 2012).

Entre las principales obras de drenaje se encuentran las zanjas laterales, cuya capacidad hidráulica corresponde al caudal máximo que pueden transportar sin desbordarse. Cuando el caudal generado supera dicha capacidad, se produce un déficit hidráulico, favoreciendo anegamientos y acumulación de agua sobre la vía.

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y MANTENIMIENTO

La infiltración de agua en caminos no pavimentados provoca una disminución de la capacidad portante del suelo, generando deterioro de la superficie de rodadura, pérdida de material granular y deformaciones (MOP, 2018).

Asimismo, la sedimentación y la acumulación de vegetación reducen la capacidad hidráulica de zanjales y canales, afectando la eficiencia del drenaje y favoreciendo la ocurrencia de estancamientos y anegamientos recurrentes.

MARCO NORMATIVO

MANUAL DE CARRETERAS

El Volumen N°3 “Instrucciones y Criterios de Diseño”, el cual establece los criterios técnicos para el diseño geométrico y de drenaje superficial de caminos, incluyendo pendientes, bombeo y obras de evacuación de aguas lluvias.

El Volumen N°2 “Procedimientos de Estudios Viales”, que define la metodología para la obtención y análisis de información base, incluyendo aspectos hidrológicos necesarios para la estimación de caudales.

El Volumen N°5 “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción”, que regula la ejecución de obras viales, incluyendo la construcción de zanjas, movimiento de tierras y obras de drenaje.

El Volumen N°7 “Mantenimiento Vial”, el cual establece criterios para la conservación de caminos y obras de drenaje, destacando la importancia de la limpieza y mantenimiento para asegurar su correcto funcionamiento.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar técnica y económicamente una solución constructiva de drenaje pluvial para el camino ubicado en el sector Carriel Norte, comuna de Talcahuano, con el fin de mejorar la evacuación de aguas lluvias y optimizar las condiciones de transitabilidad de la vía.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar las condiciones hidrológicas, hidráulicas y geométricas del camino Carriel Norte para determinar las causas de los anegamientos.
2. Plantear una solución de drenaje para el camino Carriel Norte que permita reducir los problemas de anegamiento.
3. Evaluar la factibilidad técnica y económica de la solución propuesta para el drenaje del camino.

**CAPÍTULO I: DIAGNOSTICAR LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS,
HIDRÁULICAS Y GEOMÉTRICAS DEL CAMINO CARRIEL NORTE PARA
DETERMINAR LAS CAUSAS DE LOS ANEGAMIENTOS.**

1.1 PRECIPITACIÓN ANUAL

Para el análisis hidrológico se utilizaron los registros de precipitación de la estación meteorológica Concepción Carriel Sur, perteneciente a la Dirección Meteorológica de Chile, debido a su proximidad al área de estudio y a la disponibilidad de información histórica confiable. Se analizaron los datos correspondientes a los últimos diez años completos disponibles (2015–2024). Además, esta fuente corresponde a una de las entidades recomendadas por el Manual de Carreteras del MOP, (Manual de Carreteras. Volumen N°2: Procedimientos de Estudios Viales)

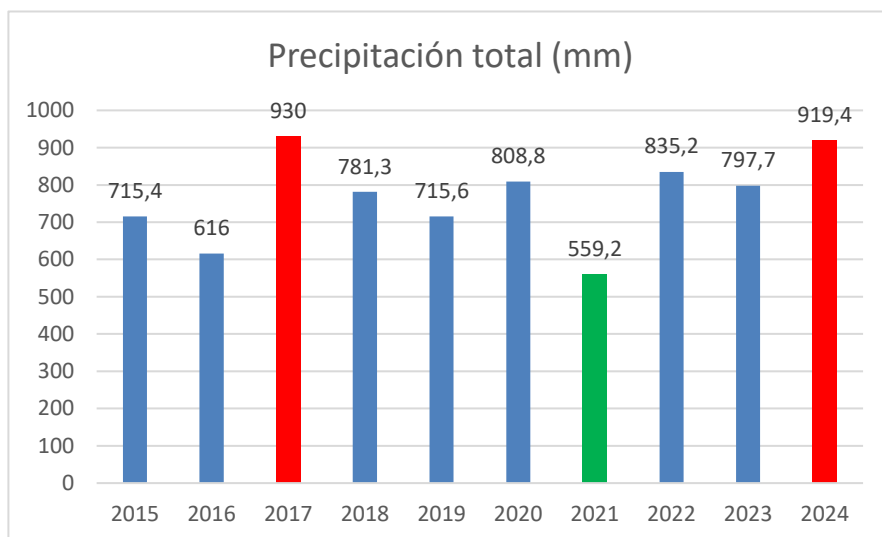


Gráfico 1: Precipitación anual estación Carriel Sur (2015–2024)

Fuente: Datos de la estación meteorológica Concepción Carriel Sur. Elaboración propia

El gráfico 1 muestra la variación de la precipitación anual registrada en la estación meteorológica Carriel Sur durante el período 2015–2024. Se observa una alta variabilidad interanual, con valores que oscilan entre aproximadamente 552 mm y 922 mm.

Destacan años con precipitaciones elevadas, como 2017 y 2024, así como períodos más secos, como 2021. Esta variabilidad evidencia que, si bien el promedio anual puede ser moderado, existen eventos pluviométricos significativos que generan condiciones propicias para la acumulación de aguas lluvias, especialmente en sistemas de drenaje deficientes.

1.2 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE PRECIPITACIONES

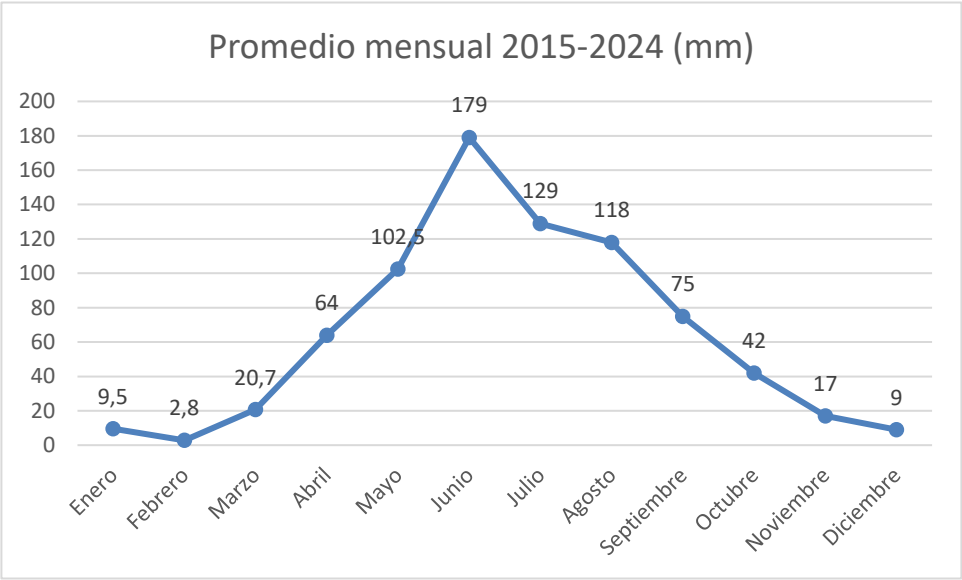


Gráfico 2: Distribución mensual de precipitaciones
Fuente: Datos estación meteorológica Carriel Sur, gráfico elaboración propia

El gráfico 2 muestra la distribución del promedio mensual de precipitaciones registradas en la estación meteorológica Concepción Carriel Sur durante el período 2015–2024. Se observa una marcada estacionalidad, característica del clima de la zona centro-sur de Chile, donde las mayores precipitaciones se concentran durante los meses de otoño e invierno.

Los valores comienzan a incrementarse desde marzo, alcanzando aproximadamente 65 mm en abril y superando los 100 mm en mayo. El máximo promedio mensual se registra en junio, con cerca de 180 mm de precipitación, constituyéndose en el mes más lluvioso del año. Posteriormente, las precipitaciones disminuyen gradualmente durante julio y agosto, manteniéndose aún sobre los 100 mm mensuales.

1.3 IMPACTO EN LA POBLACIÓN Y ACTIVIDAD ECONÓMICA DEL SECTOR

Con el propósito de evaluar los efectos que generan los anegamientos en el camino Carriel Norte sobre la comunidad y las actividades productivas del sector, se aplicó una encuesta mediante Google Forms dirigida a residentes y trabajadores que utilizan habitualmente esta vía.

La población objetivo estuvo compuesta por aproximadamente 120 residentes y 100 trabajadores vinculados a las empresas emplazadas en el sector. Del total, se obtuvieron 102 respuestas válidas, correspondientes a 58 residentes y 44 trabajadores, lo que representa una muestra significativa para conocer la percepción de los usuarios respecto a la problemática estudiada.

Rango de edades

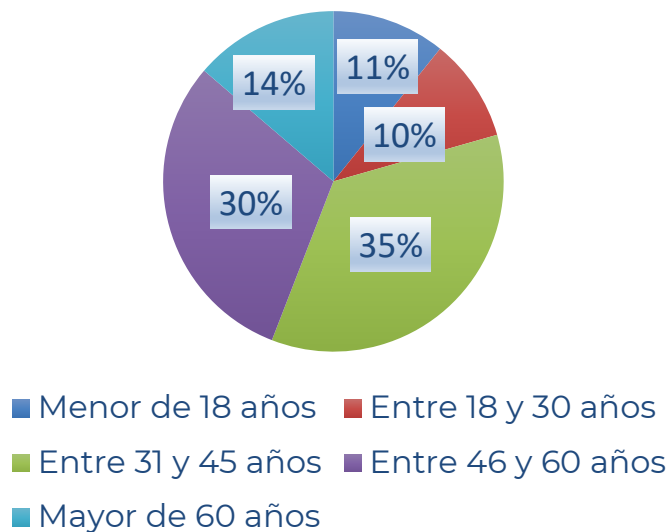
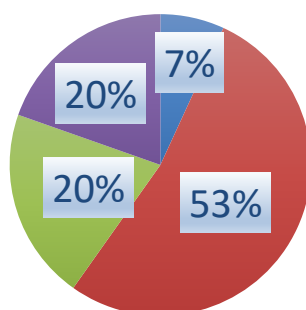


Gráfico 3: Rango de edades de los encuestados

Fuente: Encuesta a residentes del sector en estudio

El gráfico 3 muestra la distribución etaria de los participantes de la encuesta realizada en el sector de estudio. Se observa que la mayor proporción de encuestados corresponde al rango entre 31 y 45 años (35%), seguido por el grupo entre 46 y 60 años (30%). Los adultos mayores de 60 años representan un 14% de la muestra, mientras que los grupos entre 18 y 30 años y menores de 18 años alcanzan un 10% y 11%, respectivamente.

Frecuencia de ocupación del camino



- Todos los días
- Una vez por semana
- Muy rara vez
- Varias veces por semana
- Ocasionamente

Gráfico 4: Frecuencia de ocupación del camino en estudio

Fuente: Encuesta a residentes del sector en estudio

El gráfico 4 presenta la frecuencia de utilización del camino por parte de los encuestados. Se observa que la mayoría de los usuarios (53%) utiliza la vía varias veces por semana, mientras que un 20% la ocupa una vez por semana y otro 20% de manera ocasional. Solo un 7% indicó utilizar el camino todos los días.

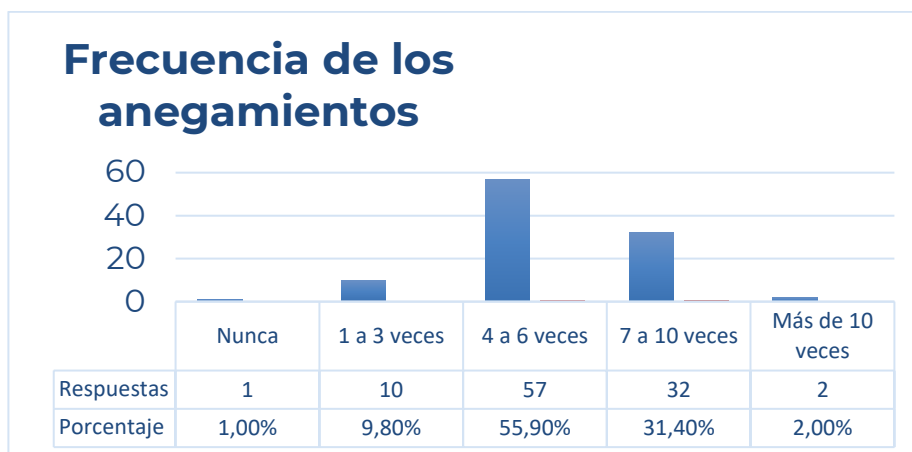


Gráfico 5: Frecuencia observada de los anegamientos

Fuente: Encuesta a residentes del sector en estudio

El gráfico 5 muestra la frecuencia con que los encuestados perciben la ocurrencia de anegamientos en el camino Carriel Norte. Los resultados indican que el problema es recurrente, ya que el 56% de los participantes señaló que los anegamientos ocurren entre 4 y 6 veces al año, mientras que un 31% indicó una frecuencia de entre 7 y 10 eventos anuales.

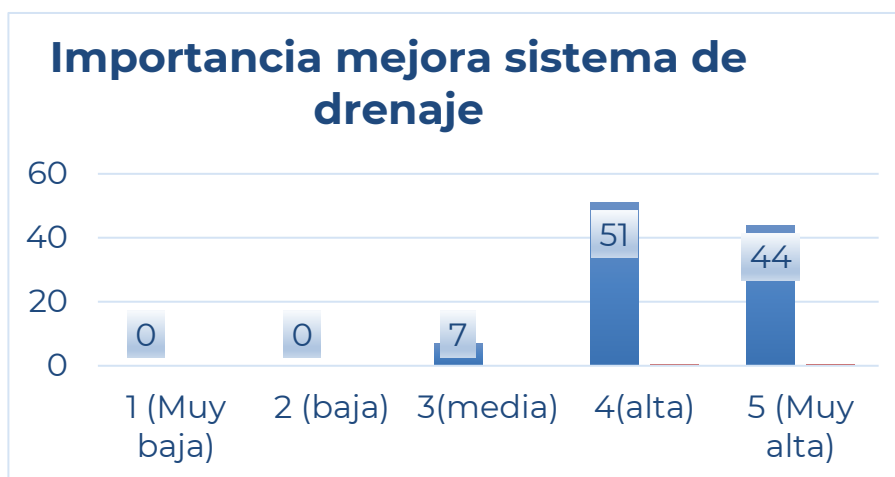


Gráfico 6: Punto de vista de los encuestados sobre el sistema de drenaje del camino

Fuente: Encuesta a residentes del sector en estudio

El gráfico 6 presenta la valoración que los encuestados asignan a la necesidad de mejorar el sistema de drenaje del camino Carriel Norte. Los resultados muestran un amplio consenso respecto a la importancia de implementar mejoras, ya que el 50% de los participantes calificó esta necesidad con una importancia alta (4) y un 43% con una importancia muy alta (5).

1.4 GEOMETRÍA DE LA VÍA EN ESTUDIO

1.4.1 PERFIL LONGITUDINAL ACTUAL DE LA VÍA EN ESTUDIO

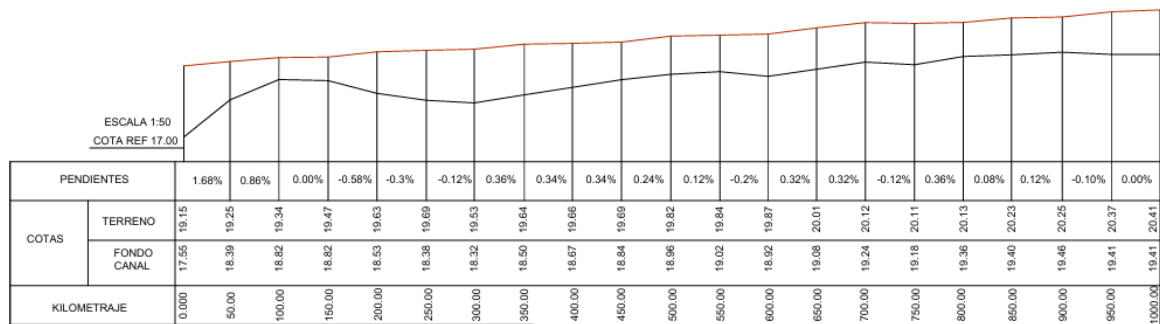


Ilustración 6: Perfil longitudinal dm 0.00 al dm 1000.00

Fuente: Levantamiento topográfico

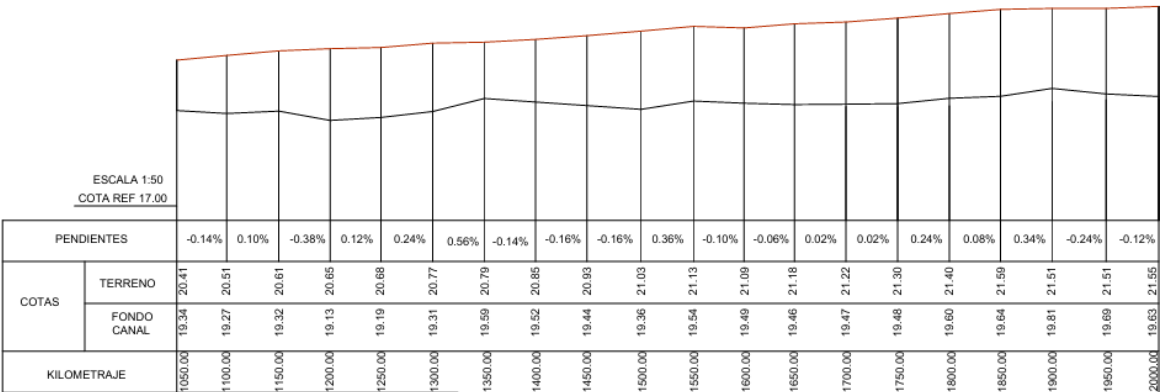


Ilustración 7: Perfil longitudinal dm 1050.00 al dm 2000.00

Fuente: Levantamiento topográfico

Las cotas del terreno natural presentan una variación aproximada entre 19,15 m y 21,65 m, evidenciando una topografía de pendiente suave, con pequeñas ondulaciones a lo largo de los 2 km del tramo analizado. Estas variaciones condicionan el trazado de la zanja existente y el comportamiento del escurrimiento superficial.

Por su parte, las cotas del fondo de la zanja oscilan entre aproximadamente 17,55 m y 19,99 m, manteniendo una profundidad variable respecto al terreno natural y reflejando las irregularidades presentes en el canal existente.

El análisis del perfil longitudinal evidencia que la pendiente del fondo de la zanja no mantiene un gradiente uniforme a lo largo del recorrido. Se registran pendientes que fluctúan aproximadamente entre -0,58 % y 1,68 %, observándose frecuentes cambios de pendiente, tramos prácticamente horizontales y sectores con pendientes negativas.

Particularmente, se identifican numerosos tramos con pendientes inferiores al 0,25 %, valor que el Manual de Carreteras, Volumen N.º 3: Instrucciones y Criterios de Diseño, establece como pendiente mínima recomendable para canales longitudinales de tierra. Estas condiciones disminuyen la velocidad del flujo, favorecen la deposición de sedimentos y reducen progresivamente la capacidad hidráulica de la zanja.

Asimismo, la presencia de pendientes negativas e inversiones locales de la rasante del fondo no necesariamente representa un cambio en el sentido natural del escurrimiento, sino que corresponde a deformaciones e irregularidades generadas por procesos de erosión, sedimentación y falta de conservación a lo largo del tiempo. Estas discontinuidades provocan que el agua tienda a estancarse en determinados sectores, favoreciendo la acumulación de sedimentos y vegetación, lo que agrava aún más la pérdida de capacidad de conducción del sistema.

1.4.2 PERFILES TRANSVERSALES

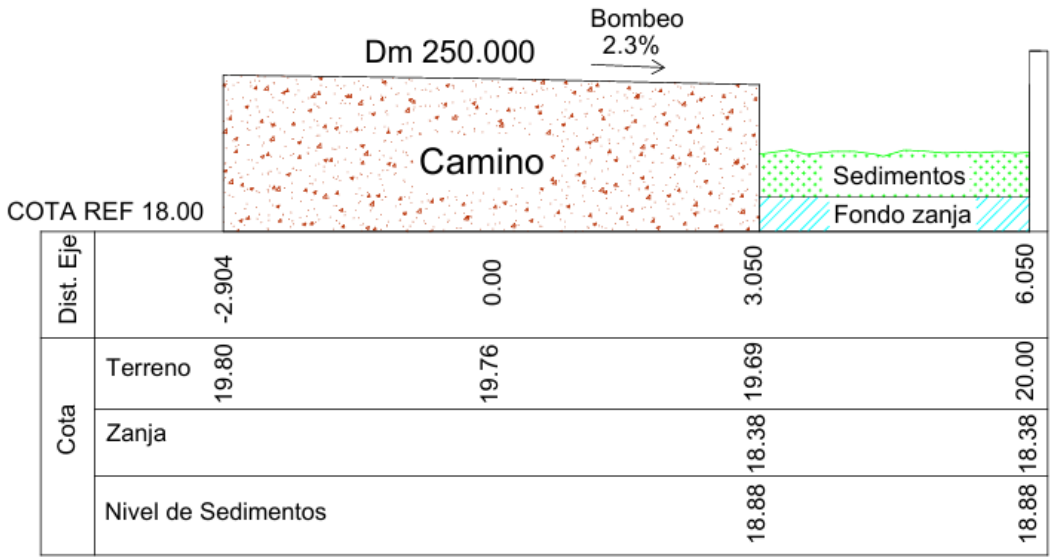


Ilustración 8: Perfil transversal dm 250

Fuente: Levantamiento topográfico

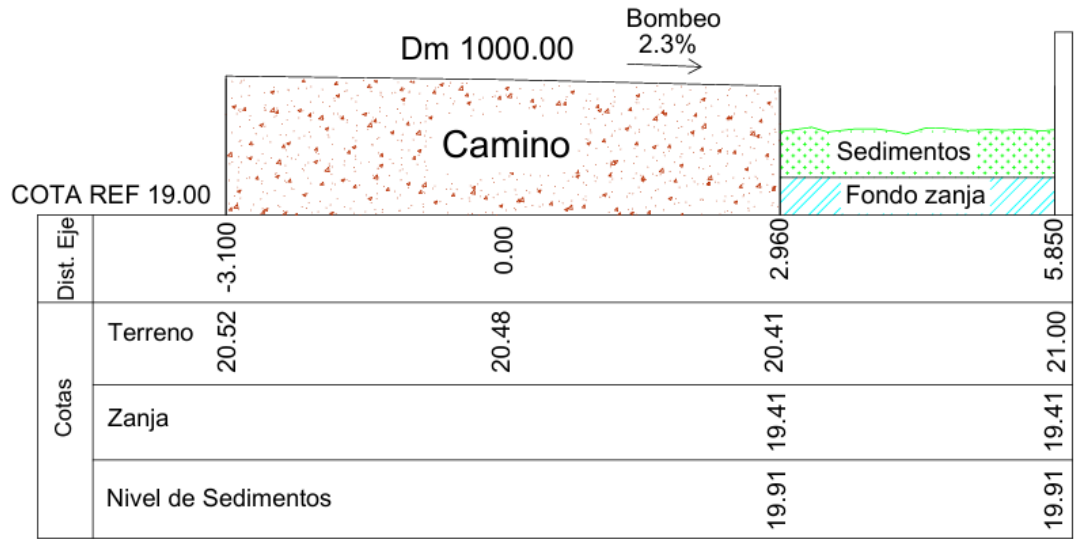


Ilustración 9: Perfil transversal dm 1000

Fuente: Levantamiento topográfico

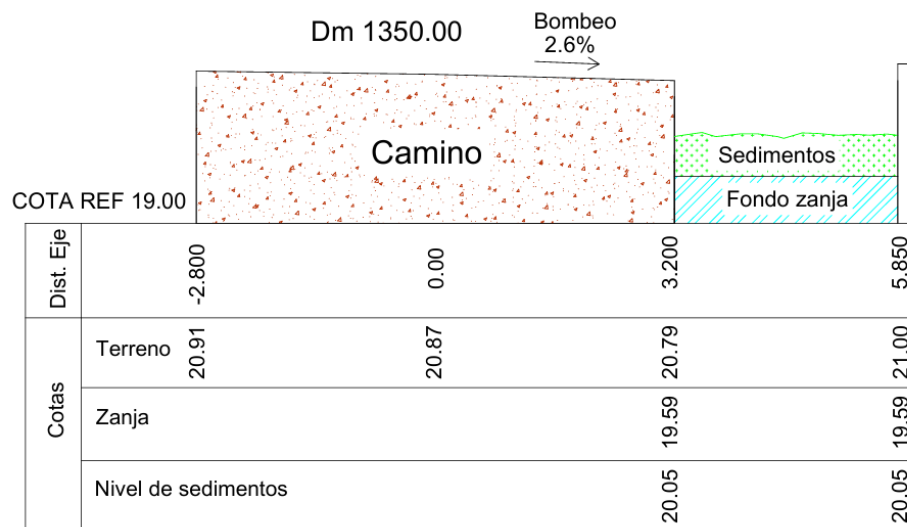


Ilustración 10: Perfil transversal dm 1350.00

Fuente: Levantamiento topográfico

Los perfiles transversales levantados en los DM 250, DM 1000 y DM 1350 muestran una configuración geométrica similar a lo largo del tramo estudiado. En todos los casos, la superficie de rodadura presenta un bombeo transversal comprendido entre 2,3 % y 2,6 %, condición que favorece el escurrimiento superficial de las aguas lluvias hacia la zanja lateral y resulta consistente con los criterios de diseño para caminos de ripio.

Las cotas del terreno presentan variaciones propias de la topografía del sector; sin embargo, se mantiene una diferencia de nivel entre la superficie del camino y el fondo de la zanja que permite conducir naturalmente el escurrimiento superficial hacia el sistema de drenaje existente.

Desde el punto de vista geométrico, la zanja conserva una sección de forma aproximadamente rectangular; no obstante, en los tres perfiles se observa una importante acumulación de sedimentos sobre el fondo, reduciendo la profundidad útil disponible para la conducción de las aguas lluvias. El espesor de sedimentación observado es del orden de 0,50 m, lo que representa una disminución significativa de la sección hidráulica efectiva.

La reducción de la profundidad útil implica una menor área hidráulica disponible para el flujo, disminuyendo la capacidad de evacuación del sistema y favoreciendo la ocurrencia de anegamientos durante eventos de precipitación intensa. Esta condición se ve agravada por la presencia de vegetación y material depositado, los cuales dificultan aún más el escurrimiento y aceleran el proceso de colmatación de la zanja.

1.4.3 GEOMETRÍA ACTUAL DE LA ZANJA

Parámetro	Valor
Ancho total de la zanja	2,89m
Profundidad total	1m
Profundidad útil	0,5m
Sedimentos acumulados	0,5m

Tabla 1: Sección actual de la zanja
Fuente: Levantamiento topográfico

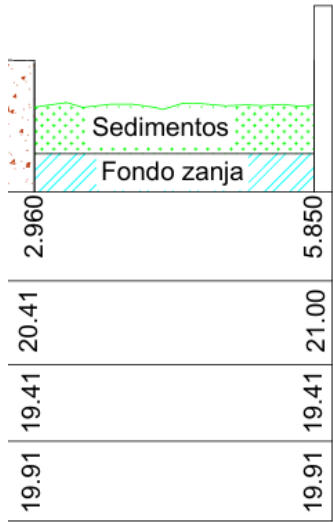


Ilustración 11: Sección transversal de la zanja
Fuente: Levantamiento topográfico

Con el objetivo de evaluar la capacidad hidráulica de la zanja existente, se seleccionó el perfil transversal ubicado en la progresiva DM 1000 como sección de referencia para los cálculos correspondientes. Esta elección se fundamenta en que dicho perfil representa adecuadamente las condiciones observadas en terreno, considerando tanto la geometría actual de la zanja como la presencia de sedimentos acumulados en su interior.

1.5 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

1.5.1 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO

Con el objetivo de estimar el caudal de aguas lluvias que debe evacuar el sistema de drenaje, se realizó un análisis hidrológico mediante la aplicación del Método Racional, procedimiento ampliamente utilizado para el dimensionamiento de obras de drenaje en cuencas de pequeña superficie.

Para la estimación del caudal de diseño se consideraron las principales variables hidrológicas que intervienen en la generación de escorrentía superficial: intensidad de precipitación, período de retorno, área de aporte y coeficiente de escorrentía.

La intensidad de precipitación adoptada corresponde a 50 mm/h, valor obtenido a partir del análisis de los registros pluviométricos de la estación meteorológica Carriel Sur, seleccionada por su cercanía y representatividad respecto del área de estudio. Este valor se asocia a un período de retorno de 10 años, criterio considerado adecuado para el diseño de obras de drenaje superficial en caminos de carácter local.

El área de aporte fue determinada a partir de la geometría del tramo analizado. Considerando una longitud aproximada de 2.000 m y un ancho promedio de calzada de 6,0 m, se obtuvo un área de 12.000 m², equivalente a 1,2 ha. Para efectos del análisis se consideró únicamente la superficie correspondiente al camino, sin incorporar aportes provenientes de terrenos adyacentes.

El coeficiente de escorrentía adoptado fue $C = 0,40$, valor representativo para caminos de ripio emplazados en sectores semiurbanos, donde parte de la precipitación infiltra en el terreno mientras el resto escurre superficialmente hacia las obras de drenaje.

Con estos antecedentes, el caudal de diseño fue estimado mediante la ecuación del Método Racional:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

Reemplazando los valores:

$$Q = 0,4 \cdot 50 \cdot 1,2 = 24 \text{ mm} \cdot \text{ha/h}$$

Aplicando el factor de conversión correspondiente (360) del método racional al Sistema Internacional, se obtiene un caudal aproximado de $0,067 \text{ m}^3/\text{s}$.”

Por lo tanto, el caudal de diseño estimado para el área mínima de aporte del camino corresponde a $0,067 \text{ m}^3/\text{s}$. Este valor representa la capacidad mínima que debería tener el sistema de drenaje para evacuar adecuadamente el escurrimiento generado durante un evento de precipitación relevante.

1.5.2 VARIABLES HIDRÁULICAS (CAPACIDAD DE EVACUACIÓN)

La evacuación del caudal generado depende directamente de la capacidad hidráulica del sistema de drenaje superficial existente, compuesto principalmente por la zanja lateral y las obras de arte asociadas observadas en los antecedentes planimétricos del proyecto. No obstante, a partir de la inspección visual en terreno, fotografías del sector y análisis de perfiles transversales, se identifican diversas condiciones que limitan significativamente su funcionamiento hidráulico.

La zanja lateral presenta una sección transversal irregular, con acumulación de sedimentos y abundante vegetación, reduciendo el área hidráulica efectiva disponible para el escurrimiento del agua. Asimismo, los perfiles transversales evidencian pendientes longitudinales y transversales insuficientes o mal definidas, lo que disminuye la velocidad de conducción y favorece la formación de zonas de estancamiento sobre la superficie del camino.

Desde el punto de vista hidráulico, estas condiciones incrementan la rugosidad del flujo y restringen la capacidad efectiva de evacuación del sistema. En consecuencia, la capacidad hidráulica de la zanja fue estimada preliminarmente mediante criterios de flujo en canales abiertos, utilizando como referencia la ecuación de Manning:

Donde:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

- (Q) corresponde al caudal transportado (m³/s),
- (n) es el coeficiente de rugosidad de Manning,
- (A) corresponde al área hidráulica de flujo,
- (R) es el radio hidráulico,
- (S) corresponde a la pendiente longitudinal de la zanja.

Parámetro	Valor
Parámetro	Valor
Ancho útil	2,89 m
Profundidad útil	0,50 m
Área hidráulica	1,445 m ²
Perímetro mojado	3,89 m
Radio hidráulico	0,371 m
Pendiente	0,002 (0,20 %)
Rugosidad de manning	0,1

Tabla 2: Parámetros ecuación de Manning

Fuente: Levantamiento topográfico

	TIPO DE CANAL	MINIMO	MEDIO	MAXIMO
CANALES EXCAVADOS Y UNIFORMES				
a) Tierra, Rectos y Uniformes	Limpio, recién terminado	0,016	0,018	0,020
	Limpio en uso	0,018	0,022	0,025
	Con grava, sección uniforme, limpio	0,022	0,025	0,030
	Con pasto corto, poca maleza	0,022	0,027	0,033
b) Tierra, con curvas y sin mantención	Sin vegetación	0,023	0,025	0,030
	Con pasto y algo de maleza	0,025	0,030	0,033
	Gran cantidad de maleza o algas en canales profundos	0,030	0,035	0,040
	Fondo de tierra y lados de piedra en bruto	0,028	0,030	0,035
	Fondo de piedra y lados con maleza	0,025	0,035	0,040
	Fondo de guijarros y lados limpios	0,030	0,040	0,050
c) Excavado mecánicamente o dragado	Sin vegetación	0,025	0,028	0,033
d) Excavado en Roca	Lados con algo de vegetación y matorrales	0,035	0,050	0,060
	Liso y uniforme	0,025	0,035	0,040
	Irregular, dentado	0,035	0,040	0,050
e) Canales sin mantención, malezas y matorrales sin cortar	Malezas densas de altura comparable con la profundidad del escurrimiento	0,050	0,080	0,120
	Fondo limpio, con matorrales en los lados	0,040	0,050	0,080
	Idem a niveles máximos de escurrimiento	0,045	0,070	0,110
	Matorrales densos a niveles altos de escurrimiento	0,080	0,100	0,140

Fuente: Chow (1959).

Tabla 3: Valores rugosidad de Manning

Fuente: Manual de carreteras, Volumen n°3

$$Q = \frac{1}{0,1} 1,445 \times 0,371^{\frac{2}{3}} 0,002^{\frac{1}{2}}$$

$$Q \approx 0,334 \text{ m}^3/\text{s}$$

Los resultados obtenidos mediante la ecuación de Manning indican que la zanja existente posee una capacidad hidráulica teórica aproximada de 0,334 m³/s, valor superior al caudal de diseño estimado de 0,067 m³/s.

No obstante, el análisis de los perfiles longitudinales y transversales, junto con las inspecciones realizadas en terreno, evidencia que el comportamiento hidráulico del sistema difiere de las condiciones ideales consideradas en el cálculo. La presencia de una importante acumulación de sedimentos, vegetación que ocupa gran parte de la sección hidráulica, pendientes longitudinales irregulares y sectores con contrapendientes generan una disminución significativa en la eficiencia del escurrimiento, favoreciendo la pérdida de continuidad del flujo y la formación de zonas con estancamiento de agua.

En consecuencia, la problemática observada no se atribuye exclusivamente a la capacidad hidráulica de una sección aislada, sino al funcionamiento integral de la zanja a lo largo del tramo estudiado.

CAPÍTULO II: SELECCIONAR UNA SOLUCIÓN PARA EL CAMINO CARRIEL NORTE QUE PERMITA REDUCIR LOS PROBLEMAS DE ANEGAMIENTO.

2.1 CRITERIOS DE DISEÑO

La propuesta de mejoramiento del sistema de drenaje tiene por objetivo restituir la capacidad hidráulica de la zanja existente y asegurar un escurrimiento continuo de las aguas lluvias a lo largo del tramo en estudio. Para ello, el diseño considera la regularización geométrica del canal, la definición de una pendiente longitudinal uniforme y la incorporación de un revestimiento que permita mejorar las condiciones de conducción y disminuir los procesos de erosión y sedimentación.

En función de las deficiencias identificadas durante el diagnóstico, se propone el reperfilado de la zanja existente mediante una sección trapezoidal uniforme, capaz de incrementar el área hidráulica disponible para la conducción de los caudales de diseño, mejorar la estabilidad de los taludes y facilitar las futuras labores de conservación y mantenimiento.

Asimismo, se adopta una pendiente longitudinal uniforme de 0,12 %, valor compatible con la topografía del terreno y con los criterios establecidos en el Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas, Volumen N.º 3, para canales revestidos. La regularización de la rasante permite eliminar las discontinuidades observadas en el perfil longitudinal existente, favoreciendo un escurrimiento continuo hacia el punto de descarga y disminuyendo la formación de zonas de baja velocidad donde habitualmente se produce la acumulación de sedimentos.

Como complemento, la zanja será revestida mediante geotextil no tejido y enrocado, solución que incrementa la estabilidad hidráulica del canal, reduce los procesos erosivos y disminuye las necesidades de conservación asociadas al mantenimiento de una sección de tierra.

La selección de esta alternativa responde tanto a criterios hidráulicos como constructivos, buscando una solución durable y compatible con las condiciones de operación del camino.

2.2 EVALUACIÓN DEL ESPACIO DISPONIBLE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN



Ilustración 12: Espacio disponible actual

Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento topográfico realizado en terreno.

Como parte del diagnóstico geométrico del sector, se evaluó el espacio disponible entre el borde del camino Carriel Norte y el cauce existente ubicado al costado de la vía. A partir del levantamiento topográfico realizado en terreno, se determinó la existencia de una franja lateral continua de 3,0 m de ancho a lo largo del tramo analizado. Esta condición proporciona el espacio necesario para el desarrollo de alternativas de drenaje superficial, permitiendo definir una solución compatible con las restricciones geométricas existentes y con las condiciones observadas en terreno.

La existencia de este espacio disponible resulta favorable para la implementación de la solución de drenaje propuesta, ya que permite ejecutar las obras dentro de la faja actualmente disponible, sin reducir el ancho operativo del camino ni interferir significativamente con la circulación vehicular.

Asimismo, esta condición minimiza la necesidad de intervenciones sobre predios colindantes y reduce los costos asociados a movimientos de tierra adicionales.

2.3 ANÁLISIS GEOTÉCNICO Y DEFINICIÓN DE TALUDES

La definición de la geometría de la zanja consideró las características geotécnicas del sector de estudio. De acuerdo con los antecedentes de mecánica de suelos disponibles para el sector Brisas del Sol, los materiales presentes corresponden principalmente a las clasificaciones CL (arcilla de baja plasticidad), ML (limo de baja plasticidad), SM (arena limosa) y SP-SM (arena con limo) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS). (EMPRO Ltda, Informe mecánica de suelos. 2006)

Estas clasificaciones indican la presencia predominante de suelos finos y granulares finos, los cuales pueden presentar susceptibilidad a procesos de erosión y pérdida de estabilidad cuando permanecen expuestos a escurrimientos superficiales durante períodos prolongados. Por esta razón, la geometría de los taludes debe definirse considerando criterios de estabilidad y seguridad durante la operación de la obra.

TABLA 3.705.2.A
TALUDES RECOMENDADOS PARA LA SECCION TRAPECIAL

TERRENO	Talud (H/V)
Roca	Casi vertical
Turba	0,25/1
Arcilla y revestimiento en hormigón	0,5/1 hasta 1/1
Tierra o albañilería de piedra	1/1
Pequeños canales en tierra	1,5/1
Suelo arenoso	2/1
Arcilla arenosa, limo arenoso	3/1

Tabla 4: “Taludes recomendados para la sección trapecial”

Fuente: Manual de carreteras “Volumen 3

De acuerdo con los criterios establecidos en el Manual de Carreteras, para los suelos presentes en el sector, constituidos principalmente por arcillas y limos arenosos, se recomienda la utilización de taludes del orden de 3H:1V, con el fin de proporcionar una mayor estabilidad a las excavaciones.

No obstante, el mismo Manual considera taludes de 1H:1V para secciones revestidas con albañilería de piedra, criterio que se adopta como referencia para el presente proyecto debido a que la solución propuesta contempla un revestimiento mediante geotextil no tejido y enrocado Clase I, ambos elementos pétreos destinados a proteger los taludes frente a la erosión y preservar la geometría hidráulica de la sección.

En consecuencia, se adoptará un talud de 1H:1V.

2.4 SECCIÓN TRANSVERSAL PROPUESTA

La sección transversal propuesta corresponde a una zanja trapezoidal revestida con geotextil no tejido y doble capa de enrocado Clase I, diseñada para mejorar la capacidad hidráulica y proporcionar una solución durable frente a las condiciones del sector. La elección de este sistema de revestimiento responde a la necesidad de proteger el fondo y los taludes frente a procesos de erosión y socavación, reducir la pérdida de material fino y disminuir la acumulación de sedimentos, manteniendo la estabilidad de la sección hidráulica durante su vida útil. Asimismo, esta solución presenta ventajas constructivas y de mantenimiento respecto de otras alternativas, ya que se adapta a las condiciones existentes del terreno y permite una ejecución más sencilla sin requerir elementos estructurales rígidos.

La geometría adoptada considera un ancho superior de 3,00 m, un ancho de fondo de 1,00 m, una profundidad total de excavación de 1,00 m y taludes de diseño 1H:1V. Debido a que el revestimiento del fondo está conformado por una doble capa de enrocado con un espesor total de 0,60 m, la profundidad hidráulica útil de la sección corresponde a 0,40 m. Esta configuración permite conducir de forma segura el caudal de diseño, garantizando el correcto funcionamiento del sistema de drenaje y aumentando la durabilidad de la obra mediante la protección permanente de la sección frente a la acción del flujo de agua.

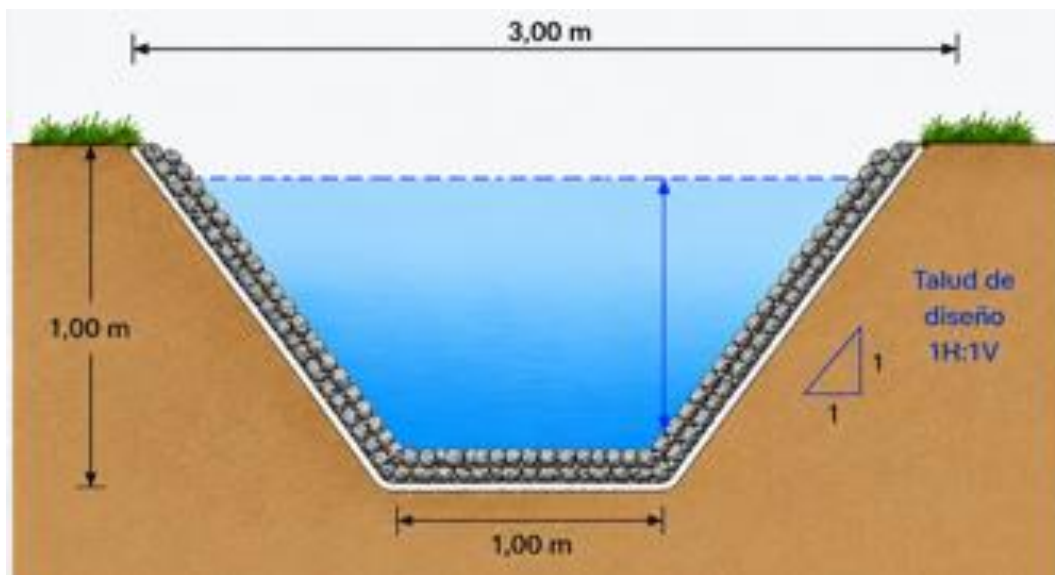


Ilustración 13: Sección de zanja propuesta

Fuente: Elaboración propia

2.5 TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE COMO SOLUCIÓN PARA EL CAMINO

La incorporación de un Tratamiento Superficial Doble (TSD) como medida complementaria a la solución de drenaje se fundamenta en las condiciones de tránsito, climáticas y geotécnicas presentes en el sector de estudio. Aunque el camino registra un volumen de tránsito relativamente bajo, estimado entre 50 y 100 vehículos por día, una proporción importante corresponde a camiones y vehículos de carga asociados a las actividades productivas del sector. Este tipo de tránsito genera mayores esfuerzos sobre la superficie de rodadura, por lo que se requiere una solución con mayor resistencia al desgaste y mejor comportamiento estructural que un tratamiento superficial simple.

El tratamiento Superficial Doble proporciona una mayor impermeabilización de la superficie de rodadura al incorporar dos aplicaciones sucesivas de ligante asfáltico y árido, disminuyendo la penetración de agua y mejorando la durabilidad del pavimento.

Asimismo, la elección del TSD se encuentra respaldada por las características geotécnicas del terreno, donde predominan suelos limosos y arcillosos (ML y CL), materiales que presentan una elevada susceptibilidad a la humedad y una importante disminución de su capacidad de soporte cuando alcanzan estados de saturación. Al reducir el ingreso de agua hacia la estructura granular, el TSD contribuye a conservar la capacidad estructural del camino, disminuir la formación de baches y deformaciones, y prolongar la vida útil de la intervención.



Ilustración 14: Estado actual del camino

Fuente: Fotografía propia



Ilustración 15: Camino luego de la aplicación del TSD

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: EVALUAR LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

3.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

3.1.1 ECUACIÓN DE MANNING

Con el propósito de verificar el desempeño hidráulico de la solución propuesta, se evaluó la capacidad de conducción de la zanja mediante la ecuación de Manning, utilizando la geometría y las características del revestimiento definidas para el proyecto. La sección corresponde a una zanja trapezoidal con un ancho superior de 3,00 m, un ancho de fondo de 1,00 m, una profundidad total de excavación de 1,00 m y taludes de diseño 1H:1V. Debido a que el fondo se encuentra revestido con una doble capa de enrocado Clase I, con un espesor total de 0,60 m, la profundidad hidráulica útil considerada en los cálculos es de 0,40 m. Asimismo, se adoptó un coeficiente de rugosidad de Manning representativo para este tipo de revestimiento.

Parámetro	Valor
Ancho inferior útil	1,00 m
Profundidad hidráulica útil	0,40 m
Talud lateral	1H:1V
Ancho superior hidráulico	1,80 m
Área hidráulica	0,56 m ²
Perímetro mojado	2,13 m
Radio hidráulico	0,263 m
Pendiente longitudinal	0,0012
Coeficiente de Manning	0,035
Velocidad media	0,41 m/s
Capacidad hidráulica	0,227 m ³ /s

Tabla 5: Parámetros zanja propuesta

Fuente: Elaboración propia

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$Q = \frac{1}{0,035} 0,56 \times 0,263^{\frac{2}{3}} 0,0012^{\frac{1}{2}}$$

$$Q \approx 0,227 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidad media: $V = \frac{Q}{A}$

$$V \approx 0,41 \text{ m/s}$$

De acuerdo con la ecuación de Manning, la sección trapezoidal propuesta, presenta una capacidad de conducción de aproximadamente 0,227 m³/s. Este valor es superior al caudal de diseño de 0,067 m³/s, por lo que se verifica que la geometría adoptada posee capacidad hidráulica suficiente para evacuar el flujo estimado para el sector.

3.2 PLANTA GENERAL Y PERFILES PROYECTADOS

3.2.1 PLANTA GENERAL DEL PROYECTO

La planta general presenta la disposición de la solución de canalización de aguas lluvias propuesta para el Camino Carriel Norte, considerando un tramo de aproximadamente 2,0 km, comprendido entre los DM 0+000 y DM 2+000. La zanja proyectada se desarrolla longitudinalmente junto al camino y permite conducir las aguas hacia el Canal Ifarle, ubicado en el sector correspondiente al DM 0+000.

En la planta se identifican además los principales accesos vehiculares existentes, el límite del condominio, el sentido de escurrimiento y el punto de descarga de la solución proyectada.

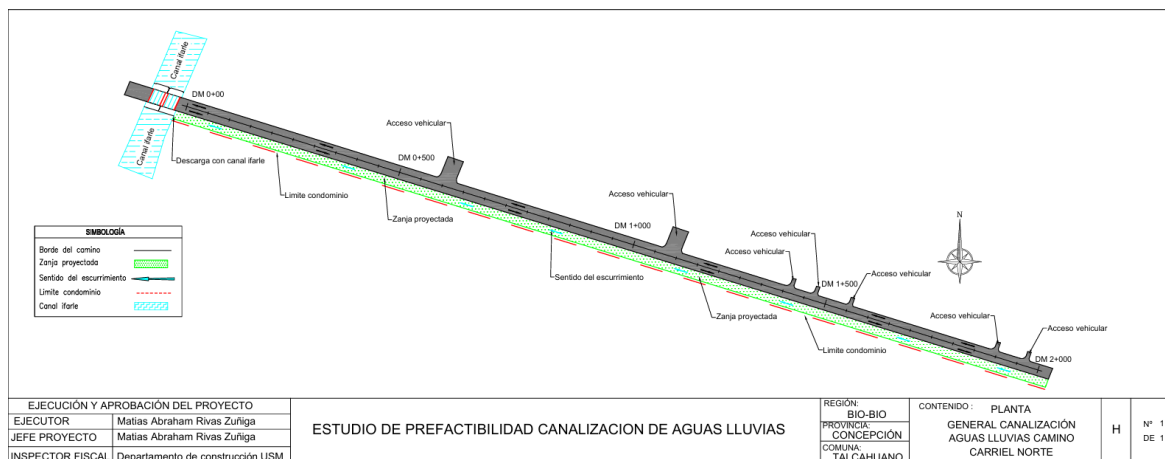


Ilustración 16: Planta general del proyecto

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 PERFILES LONGITUDINALES PROYECTADOS

Con el propósito de mejorar las condiciones hidráulicas del sistema de drenaje existente, se definió una nueva rasante para el fondo de la zanja, estableciendo una pendiente longitudinal uniforme de 0,12 % a lo largo de los 2.000 m del tramo intervenido. La rasante proyectada se desarrolla desde la cota 18,15 m en el inicio del proyecto hasta la cota 20,55 m, permitiendo mantener un flujo gravitacional continuo y eliminando los sectores con pendientes insuficientes y contrapendientes identificados en la condición actual.

Esta nueva configuración favorece el escurrimiento de las aguas lluvias, disminuye la acumulación de sedimentos y reduce la probabilidad de estancamientos, mejorando el desempeño hidráulico y la eficiencia del sistema de drenaje propuesto.

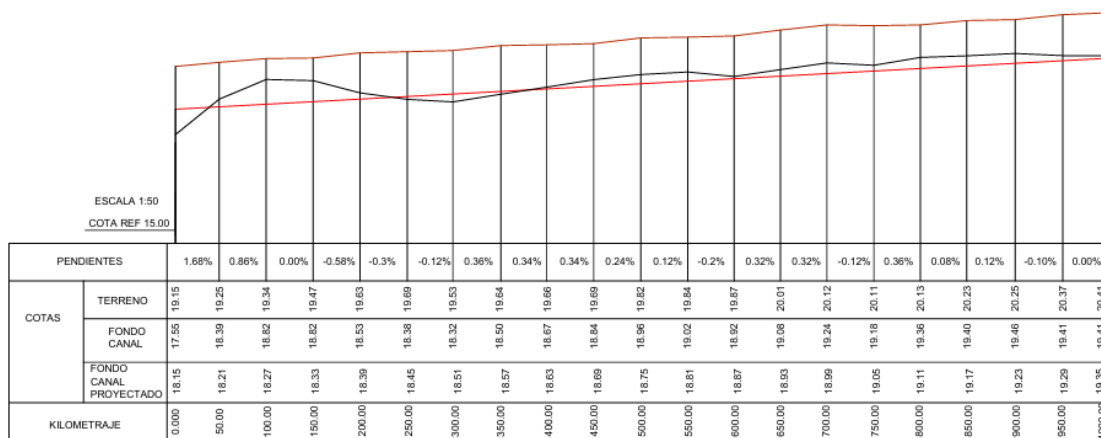


Ilustración 17: Perfil longitudinal fondo de zanja proyectado dm 0.00 al dm 1000.00

Fuente: Elaboración propia

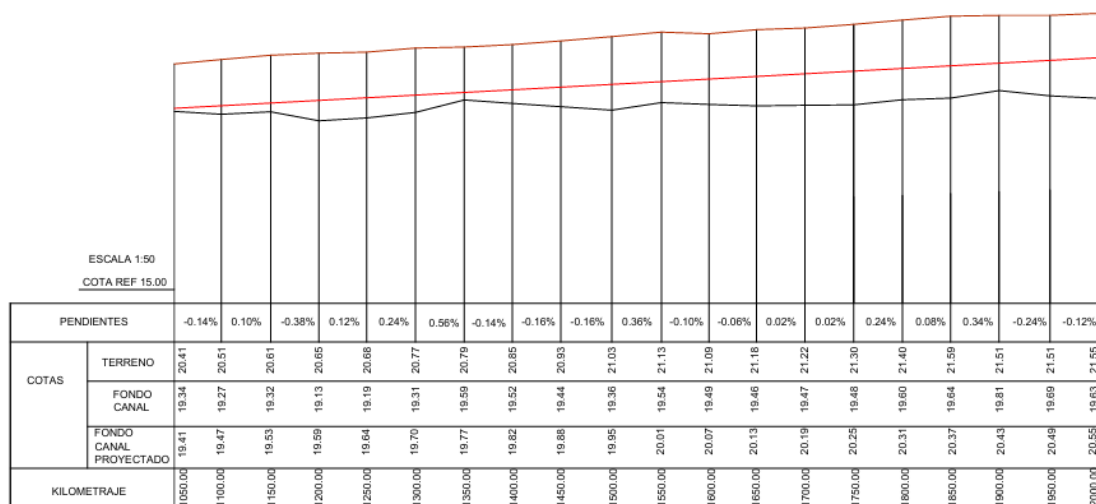


Ilustración 18: Perfil longitudinal fondo de zanja proyectado dm 1005.00 al dm 2000.00

Fuente: Elaboración propia

Los perfiles longitudinales permiten comparar la condición actual del fondo de la zanja con la rasante proyectada propuesta para el sistema de drenaje.

En contraste, la rasante proyectada establece una pendiente longitudinal uniforme de 0,12 % a lo largo de los 2.000 m del tramo intervenido.

Esta configuración elimina las discontinuidades presentes en el perfil existente y proporciona una trayectoria continua para el flujo gravitacional, mejorando las condiciones de evacuación de las aguas superficiales.

La regularización del fondo de la zanja contribuye a reducir la formación de zonas de estancamiento, minimizar la deposición de sedimentos y mantener la capacidad hidráulica del sistema durante su vida útil. Asimismo, la pendiente longitudinal adoptada se encuentra en concordancia con los criterios establecidos para canales revestidos, permitiendo un funcionamiento hidráulico más eficiente y favoreciendo las condiciones de conservación de la obra.

3.2.3 PERFILES TRANSVERSALES PROYECTADOS

Los perfiles transversales proyectados representan la solución geométrica adoptada para la nueva zanja de drenaje, mostrando su integración con la plataforma del camino y las condiciones existentes del terreno.

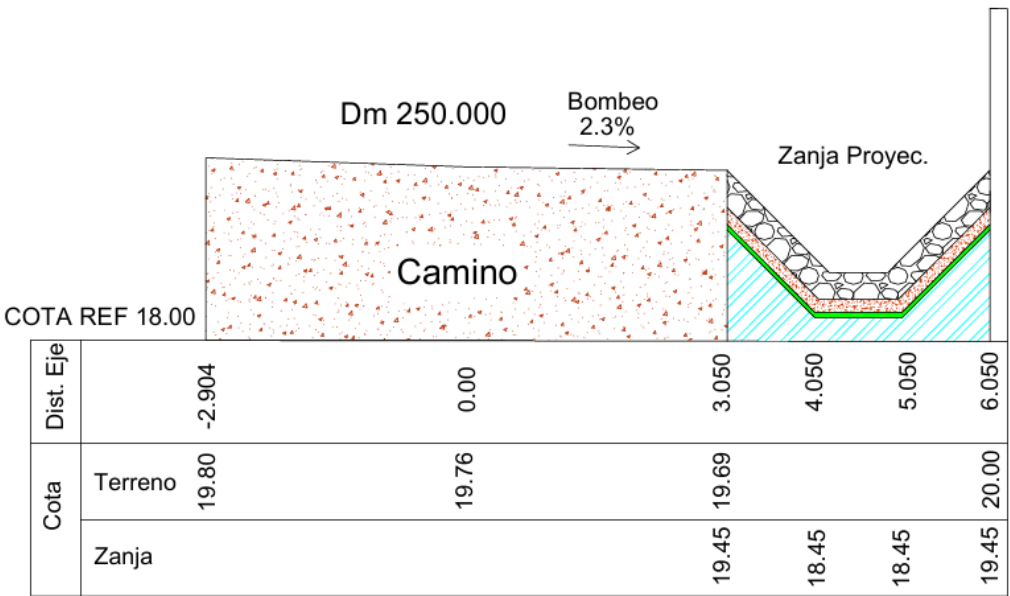


Ilustración 19: Perfil transversal dm 250 proyectado fondo
Fuente: Elaboración propia

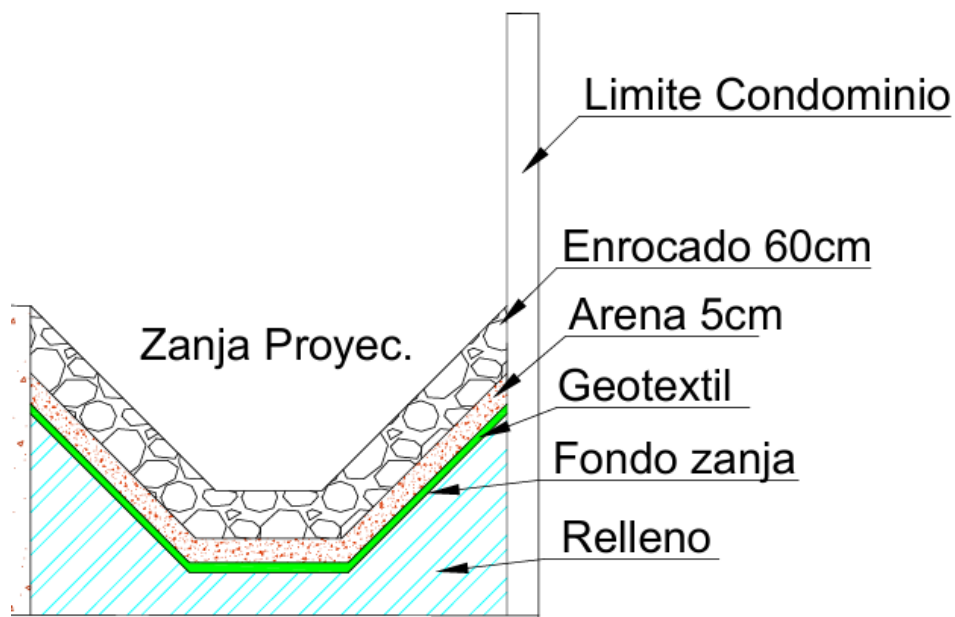


Ilustración 20: Detalle zanja proyectada
Fuente: Elaboración propia

La solución incorpora un sistema de revestimiento compuesto por geotextil no tejido, una capa de arena como material de asiento y una doble capa de enrocado Clase I. Esta configuración fue seleccionada por su capacidad para controlar los procesos de erosión y socavación, evitar la pérdida de material fino del terreno natural y mejorar la estabilidad de la sección frente a la acción permanente del flujo de agua. Además, el empleo de materiales granulares facilita las labores de conservación y permite una mejor adaptación frente a eventuales asentamientos del terreno.

3.3 SELECCIÓN DEL ENROCADO CLASE I

La protección de la zanja proyectada se realizará mediante un revestimiento de enrocado Clase I, dispuesto sobre una capa de geotextil no tejido y una capa de arena de transición, conformando un sistema de protección diseñado para controlar los procesos de erosión y garantizar la estabilidad de la obra frente a la acción del flujo de agua.

La selección de este revestimiento se realizó conforme a los criterios establecidos en el Manual de Carreteras, Volumen N.º 3, el cual clasifica los distintos tipos de enrocado según sus características geométricas, resistencia y campo de aplicación en obras de drenaje. De acuerdo con esta normativa, el enrocado Clase I está constituido por elementos pétreos de diámetro nominal menor o igual a 400 mm y peso aproximado inferior a 100 kg, siendo recomendado para canales y zanjas sometidos a velocidades de escurrimiento de hasta 3,0 m/s.

La evaluación hidráulica de la sección propuesta, desarrollada mediante la ecuación de Manning, determinó una velocidad media de escurrimiento de 0,41 m/s, valor considerablemente inferior al límite admisible para este tipo de revestimiento. En consecuencia, el enrocado Clase I presenta un amplio margen de seguridad frente al desprendimiento o desplazamiento de las partículas, asegurando un adecuado comportamiento hidráulico y estructural durante la vida útil de la obra.

3.4 DURABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

La durabilidad de una obra de drenaje no depende únicamente de su capacidad hidráulica inicial, sino también de su capacidad para mantener su funcionalidad a lo largo del tiempo frente a la acción del agua, las condiciones climáticas y las características del terreno. En este sentido, la solución propuesta incorpora materiales que permiten mantener el desempeño hidráulico de la zanja con una baja pérdida de eficiencia durante su vida útil.

Una de las principales ventajas de la solución adoptada es su carácter flexible. A diferencia de soluciones rígidas, como revestimientos continuos de hormigón, el sistema compuesto por geotextil y enrocado posee una mayor capacidad de adaptarse a pequeñas deformaciones o asentamientos diferenciales del terreno sin comprometer significativamente su funcionamiento hidráulico.

Esta característica resulta particularmente favorable considerando la presencia de suelos finos y condiciones de humedad variable en el sector de estudio.

Asimismo, la utilización de materiales pétreos permite que eventuales daños localizados puedan ser reparados mediante reposiciones puntuales, evitando reconstrucciones completas de la obra.

Otro aspecto relevante corresponde a la capacidad de la solución para mantener su funcionalidad frente a eventos de precipitación de alta intensidad. La combinación de una pendiente longitudinal uniforme, una sección hidráulica regularizada y un revestimiento resistente a la erosión permite disminuir la probabilidad de deterioros asociados a socavaciones, colapsos localizados o pérdida de capacidad hidráulica.

En el caso de la superficie de rodadura, la incorporación de un Tratamiento Superficial Doble contribuye a preservar las condiciones operacionales del camino al disminuir la generación de polvo, mejorar la resistencia al desgaste superficial y reducir el ingreso de agua hacia las capas granulares. Esto permite prolongar la vida útil del camino y disminuir la frecuencia de intervenciones asociadas a la reposición de material de superficie.

3.5 ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA

La estrategia constructiva propuesta fue desarrollada considerando las condiciones operacionales del camino, la presencia de una napa freática superficial, la necesidad de mantener la conectividad del sector durante la ejecución de las obras y las características hidráulicas y geotécnicas del proyecto.

Debido a que el proyecto contempla aproximadamente 2 km de intervención, la construcción se dividió en tramos sucesivos de longitud acotada. Esta metodología permite mantener un mejor control de la obra, reducir los tiempos de excavación expuesta, facilitar el manejo de aguas durante la construcción y disminuir la afectación al tránsito de residentes y vehículos de carga que utilizan diariamente el camino.

1. Instalación de faenas

Como primera actividad se contempla la habilitación de las instalaciones temporales necesarias para el desarrollo de la obra, incluyendo áreas de almacenamiento de materiales, equipos, servicios para el personal y señalización provisoria.

2. Replanteo y trazado

Una vez instalada la faena, se realiza el replanteo topográfico del proyecto con el propósito de materializar en terreno el eje de la zanja, las cotas de la rasante proyectada y los límites de excavación definidos en el diseño.

3. Limpieza y excavación

Posteriormente se ejecutan las labores de limpieza del área de intervención, retirando vegetación, sedimentos acumulados y cualquier material que interfiera con la construcción de la nueva sección de drenaje. Finalizada esta actividad, se realiza la excavación y el perfilado de la zanja de acuerdo con la rasante longitudinal y los perfiles transversales proyectados.

4. Agotamiento de aguas

Considerando la presencia de una napa freática superficial y la posible acumulación de agua durante la excavación, se contempla el agotamiento mediante bombeo para mantener seca la zona de trabajo.

5. Relleno con material estabilizado compactado

En aquellos sectores donde la rasante del fondo existente se encuentra por debajo de la rasante proyectada, se ejecuta un relleno con material estabilizado compactado hasta alcanzar las cotas definidas en el diseño. Esta actividad tiene por finalidad conformar el nuevo fondo de la zanja, proporcionando una base uniforme y estable para la posterior instalación del sistema de revestimiento.

6. Instalación del geotextil

Una vez conformada la geometría definitiva de la zanja, se instala el geotextil no tejido sobre el fondo y los taludes. Este elemento actúa como separador y filtro, impidiendo la migración de partículas finas hacia el revestimiento pétreo y contribuyendo a la estabilidad del sistema de drenaje.

7. Colocación de la capa de arena

Sobre el geotextil se dispone una capa de arena de transición de 5 cm de espesor, cuya función es generar una superficie de apoyo uniforme para el enrocado, proteger el geotextil durante la colocación de los elementos pétreos y favorecer una adecuada distribución de las cargas transmitidas por el revestimiento.

8. Colocación del enrocado Clase I

Finalmente, se instala la doble capa de enrocado Clase I sobre la capa de arena, conformando el revestimiento definitivo de la zanja. Este sistema proporciona protección frente a la erosión y la socavación, asegurando la estabilidad hidráulica y estructural de la obra.

9. Aplicación de Tratamiento Superficial Doble

Se ejecuta sobre la superficie de rodadura del camino, una vez concluidas todas las labores que involucran tránsito de maquinaria pesada. Con ello se mejora la impermeabilidad de la vía, se reduce la infiltración de aguas lluvias hacia la estructura del camino y se complementa el funcionamiento del sistema de drenaje proyectado.

3.6 DURACIÓN DE LA OBRA

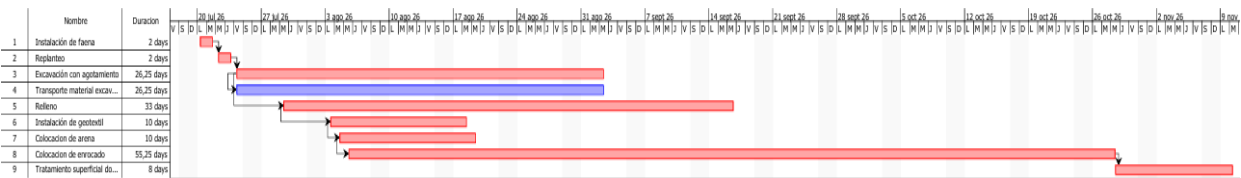


Ilustración 21: Carta Gantt del proyecto

Fuente: Elaboración propia

La duración de la obra fue estimada a partir de los rendimientos considerados en los Análisis de Precios Unitarios (APU) y de las cantidades obtenidas mediante las cubicaciones del proyecto. Con esta información se determinó el tiempo requerido para cada partida y se elaboró la programación de actividades mediante una Carta Gantt, permitiendo establecer la secuencia constructiva y las relaciones de dependencia entre las distintas etapas de ejecución.

La planificación contempla una duración total aproximada de 105 días corridos, considerando la ejecución de las actividades principales del proyecto, desde la instalación de faenas hasta la aplicación del Tratamiento Superficial Doble (TSD). La programación incorpora actividades que pueden ejecutarse de manera simultánea, optimizando el uso de maquinaria y recursos disponibles, especialmente durante las etapas de excavación, transporte de material, rellenos e instalación del revestimiento.

Actividad	Duración
Instalación de faenas	2 días
Replanteo topográfico	2 días
Excavación y agotamiento	26,25 días
Transporte de material	26,25 días
Relleno con material estabilizado	33 días
Instalación del geotextil	10 días
Colocación de arena	10 días
Colocación del enrocado	55,25 días
Tratamiento Superficial Doble	8 días

Tabla 6: Actividades y su duración

Fuente: Elaboración propia

3.7 EVALUACIÓN ECONÓMICA

3.7.1 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Con el objetivo de evaluar económicamente la solución propuesta, se elaboraron los Análisis de Precios Unitarios (APU) de las principales partidas involucradas en la construcción de la obra de drenaje y mejoramiento vial. Los APU fueron desarrollados considerando los recursos de mano de obra, materiales, equipos y maquinaria necesarios para la correcta ejecución de cada actividad.

APU N°1: Instalación de faena

La partida de instalación de faenas considera todas las actividades y recursos necesarios para habilitar el área de trabajo antes del inicio de las obras. Se incluyen los materiales destinados a la delimitación y señalización del sector de intervención, tales como letrero informativo de obra, malla de cierre, estacas de madera, cinta de peligro y señalización vial provisoria, con el objetivo de resguardar la seguridad de los trabajadores y de los usuarios del camino. Asimismo, se contempla el empleo de un camión 3/4 para el transporte e instalación de estos elementos, además de la mano de obra correspondiente, compuesta por un capataz, un maestro y dos jornaleros.

ITEM : instalacion de faena					
UNIDAD: GI					
ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	COSTO UNITARIO
1	MATERIALES				
	Letrero informativo de obra	un	1,0	180000	180.000,0
	Malla 1x45m	Rollo	3,0	12.990	38.970,0
	Estacas de madera	un	25,0	4000	100.000,0
	Cinta de peligro	Rollo	2,0	6990	13.980,0
	Señalización vial provisoria	GL	1,0	200000	200.000,0
				SUB TOTAL N° 1	532.950,00
2	MAQUINARIA				
	Camion 3/4	dia	2	150.000	300.000,00
				SUB TOTAL N° 2	300.000,00
3	MANO DE OBRA INCLUIDO LEYES SOCIALES Y OTROS				
	Capataz	HH	8,000	10,000	80.000,00
	Maestro	HH	16,000	7,500	120.000,00
	Jornal	HH	32,000	4,625	148.000,00
	Desgaste de herramientas	%	10%		34.800,00
				SUB TOTAL N° 3	382.800,00
					COSTO NETO \$
					1.215.750,00
					LEYES SOCIALES 35% \$
					133.980,00
					APROXIMACION \$
					1.349.730

Ilustración 22: A.P.U Instalación de faena

Fuente: Elaboración propia

APU N°2: Excavación con agotamiento

La partida de excavación con agotamiento considera la ejecución de la excavación necesaria para conformar la geometría proyectada de la zanja, incorporando simultáneamente el agotamiento de aguas mediante bombeo para mantener seca la zona de trabajo.

El análisis de precios unitarios considera la utilización de una retroexcavadora Case 580H como equipo principal para la excavación, complementada con una bomba de agotamiento destinada a controlar el ingreso de agua al frente de trabajo. Asimismo, se contempla la participación de un capataz encargado de supervisar las labores de movimiento de tierras y un jornal de apoyo para las actividades complementarias.

ITEM : Excavación con agotamiento					
UNIDAD: m3					
ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	COSTO UNITARIO
1	MATERIALES / SERVICIOS				
SUB TOTAL N° 1					0,00
2	MAQUINARIA				
	Retroexcavadora case 580 H	hr	0,12	50.000	6.000,00
	Bomba agotamiento	día	0,02	19.500	312,00
SUB TOTAL N° 2					6.312,00
3	MANO DE OBRA INCLUIDO LEYES SOCIALES Y OTROS				
	Capataz movimiento tierra	día	0,05	45.000	2.250,00
	Jornal	día	0,10	25.000	2.500,00
	Desgaste de herramientas	%	10%		475,00
SUB TOTAL N° 3					5.225,00
COSTO NETO \$					11.537,00
LEYES SOCIALES 35% \$					1.828,75
APROXIMACION \$					13.366

Ilustración 23: A.P.U Excavación con agotamiento

Fuente: Elaboración propia

APU N°3: Transporte del material excavado

La partida de transporte de material excavado considera el traslado del material proveniente de las excavaciones, con el propósito de mantener despejada el área de trabajo y asegurar la continuidad de las actividades constructivas. La evacuación oportuna del material permite evitar obstrucciones en el frente de trabajo.

El análisis de precios unitarios contempla la utilización de un camión tolva de 15 m³ como equipo principal para el transporte del material excavado, considerando el número de viajes requerido en función del volumen generado durante la excavación. Asimismo, se incluye la participación de un capataz encargado de coordinar las labores de movimiento de tierras y un jornal de apoyo para las operaciones de carga, control y limpieza del frente de trabajo.

ITEM : Transporte material excavado					
UNIDAD: m3					
ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	COSTO UNITARIO
1	MATERIALES				
				SUB TOTAL N° 1	0,00
2	MAQUINARIA				
	Camion tolva de 15m3	viajes	0,08	128.000	10.240,00
				SUB TOTAL N° 2	10.240,00
3	MANO DE OBRA INCLUIDO LEYES SOCIALES Y OTROS				
	Capataz movimiento de tierra	día	0,050	50.000	2.500,00
	Jornal	día	0,1	30.000	3.000,00
	Desgaste de herramientas	%	2%		110,00
				SUB TOTAL N° 3	5.610,00
					COSTO NETO \$ 15.850,00
					LEYES SOCIALES 35% \$ 1.963,50
					APROXIMACION \$ 17.814

Ilustración 24: A.P.U Transporte material excavado

Fuente: Elaboración propia

APU N°4: Relleno compactado

La partida de relleno compactado considera la conformación de la nueva rasante del fondo de la zanja mediante la colocación de material estabilizado, en aquellos sectores donde el perfil existente se encuentra por debajo de las cotas definidas en el proyecto.

El análisis de precios unitarios contempla el suministro de material estabilizado de empréstito, el cual es colocado y compactado utilizando placas compactadoras de 2.000 kg, incorporando además el apoyo de un camión aljibe para controlar el contenido de humedad durante el proceso de compactación y asegurar el cumplimiento de la densidad requerida. Asimismo, se considera la participación de un capataz encargado de supervisar las labores de movimiento de tierras y un jornal de apoyo para las actividades complementarias.

ITEM : Relleno compactado					
UNIDAD: m3					
ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	COSTO UNITARIO
1	MATERIALES				
SUB TOTAL N° 1					0,00
2	MAQUINARIA				
	Estabilizado c/flete	m3	1,20	24.000	28.800,00
	Placas compactadoras de 2000kg	dia	0,16	10.000	1.560,00
	Camion agua mack aljibe	hr	0,01	15.000	105,00
SUB TOTAL N° 2					30.465,00
3	MANO DE OBRA INCLUIDO LEYES SOCIALES Y OTROS				
	Capataz movimiento tierra	dia	0,004	45.000	180,00
	Jornal	dia	0,2	25.000	5.000,00
	Desgaste de herramientas	%	10%		518,00
SUB TOTAL N° 3					5.698,00
COSTO NETO \$					36.163,00
LEYES SOCIALES 35% \$					1.994,30
APROXIMACION \$					38.157

Ilustración 25: A.P.U Relleno compactado

Fuente: Elaboración propia

APU N°5: Colocación geotextil no tejido

La partida de instalación de geotextil considera el suministro y colocación de un geotextil no tejido MacTex H de 300 g/m², dispuesto sobre el fondo y los taludes de la zanja previamente conformados.

El análisis de precios unitarios contempla el suministro del geotextil en rollos de 4 m de ancho por 200 m de longitud, además de estacas de madera para la fijación temporal durante la instalación. Debido al bajo nivel de mecanización requerido, la ejecución de esta partida se realiza principalmente mediante mano de obra, considerando un capataz, un maestro de primera y un jornal, además del porcentaje correspondiente al desgaste de herramientas.

ITEM : Instalación geotextil					
UNIDAD: Rollo					
ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	COSTO UNITARIO
1	MATERIALES				
	Geotextil MacTex H de 300gr/m2 x 4 m ancho x 200 m largo	Rollo	1,00	1.390.290	1.390.290,00
	Estacas de madera Pino 2"x2"	un	0,25	560	140,00
				SUB TOTAL N° 1	1.390.430,00
2	MAQUINARIA				
				SUB TOTAL N° 2	0,00
3	MANO DE OBRA INCLUIDO LEYES SOCIALES Y OTROS				
	Capataz	día	0,002	50.000	100,00
	Maestro de primera	día	0,002	40.000	80,00
	Jornal	día	0,006	30.000	540,00
	Desgaste de herramientas	%	10%		72,00
				SUB TOTAL N° 3	792,00
				COSTO NETO \$	1.391.222,00
				LEYES SOCIALES 35% \$	277,20
				APROXIMACION \$	1.391.499

Ilustración 26: A.P.U Colocación de geotextil no tejido

Fuente: Elaboración propia

APU N°6: Colocación capa de arena

La partida de colocación de arena considera el suministro, extendido y compactación de una capa de arena gruesa de transición sobre el geotextil previamente instalado. Esta capa constituye un elemento fundamental dentro del sistema de revestimiento de la zanja, ya que proporciona una superficie de apoyo uniforme para el enrocado Clase I.

El análisis de precios unitarios contempla el suministro de arena gruesa, su distribución mediante retroexcavadora Case 580H y la compactación mediante placas compactadoras de 2.000 kg, con el propósito de obtener una capa homogénea y estable. Asimismo, se considera la participación de un capataz, un maestro de primera y un jornal para la ejecución y control de la actividad

ITEM : Arena					
UNIDAD: m3					
ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	COSTO UNITARIO
1	MATERIALES				
	Arena gruesa	m3	1,05	5.950	6.247,50
				SUB TOTAL N° 1	6.247,50
2	MAQUINARIA				
	Retroexcavadora case 580 H	Hr	0,08	45.000	3.600,00
	Placas compactadoras de 2000kg	día	0,16	10.000	1.560,00
				SUB TOTAL N° 2	5.160,00
3	MANO DE OBRA INCLUIDO LEYES SOCIALES Y OTROS				
	Capataz	día	0,02	50.000	1.000,00
	Maestro de primera	día	0,02	40.000	800,00
	Jornal	día	0,040	30.000	2.400,00
	Desgaste de herramientas	%	10%		420,00
				SUB TOTAL N° 3	4.620,00
					COSTO NETO \$
					16.027,50
					LEYES SOCIALES 35% \$
					1.617,00
					APROXIMACION \$
					17.645

Ilustración 27: A.P.U Colocación de capa de arena

Fuente: Elaboración propia

APU N°7: Colocación del enrocado clase I

La partida de colocación de enrocado Clase I considera el suministro y disposición del material pétreo que conformará el revestimiento definitivo de la zanja proyectada.

El análisis de precios unitarios contempla el suministro del enrocado Clase I, cuya colocación se realiza mediante apoyo de una retroexcavadora Case 580H para la distribución del material dentro de la zanja. Posteriormente, los elementos pétreos son acomodados manualmente por la cuadrilla de trabajo, integrada por un capataz, un maestro de primera y un jornal, con el propósito de lograr una adecuada trabazón entre las rocas y una cobertura uniforme sobre el fondo y los taludes.

ITEM : Enrocado					
UNIDAD: m3					
ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	COSTO UNITARIO
1	MATERIALES				
	Enrocado Clase I	m3	1,05	45.000	47.250,00
SUB TOTAL N° 1					47.250,00
2	MAQUINARIA				
	Retroexcavadora case 580 H	Hr	0,08	45.000	3.600,00
SUB TOTAL N° 2					3.600,00
3	MANO DE OBRA INCLUIDO LEYES SOCIALES Y OTROS				
	Capataz	día	0,010	50.000	500,00
	Maestro de primera	día	0,01	40.000	400,00
	Jornal	día	0,02	30.000	1.800,00
	Desgaste de herramientas	%	10%		270,00
SUB TOTAL N° 3					2.970,00
				COSTO NETO \$	53.820,00
				LEYES SOCIALES 35% \$	1.039,50
				APROXIMACION \$	54.860,00

Ilustración 28: A.P.U Colocación del enrocado

Fuente: Elaboración propia

APU N°8: Tratamiento superficial doble

La partida de Tratamiento Superficial Doble considera la ejecución del revestimiento bituminoso sobre la superficie de rodadura del camino, con el propósito de mejorar sus condiciones de servicio, reducir la infiltración de aguas lluvias hacia la estructura del camino y prolongar su vida útil.

El análisis de precios unitarios contempla el suministro y aplicación de emulsión asfáltica CRS-2, junto con dos aplicaciones sucesivas de gravilla de diferente granulometría, correspondientes a una primera capa de gravilla TN 20-12,5 y una segunda capa de gravilla TN 10-6,3, de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas para este tipo de solución. Asimismo, se considera la utilización de un camión distribuidor de asfalto para la aplicación uniforme del ligante y un rodillo neumático para asegurar la correcta adherencia y compactación de los áridos.

ITEM : Tratamiento superficial doble					
UNIDAD: m2					
ITEM	DESIGNACION	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	COSTO UNITARIO
1	MATERIALES				
	Gravilla TN 20-12,5 (1ª aplicación)	m3	0,015	30000	450
	Gravilla TN 10-6,3 (2ª aplicación)	m3	0,01	32000	320
	Emulsión CRS-2	L	1,05	1.000	1.050,00
				SUB TOTAL Nº 1	1.820,00
2	MAQUINARIA				
	Rodillo neumático	hr	0,0053	80.000	424,00
	Camión distribuidor de asfalto	Hr	0,0053	50.000	265,00
				SUB TOTAL Nº 2	689,00
3	MANO DE OBRA INCLUIDO LEYES SOCIALES Y OTROS				
	Capataz	dia	0,001	50.000	50,00
	Maestro de primera	dia	0,002	40.000	80,00
	Jornal	dia	0,004	30.000	360,00
	Desgaste de herramientas	%	10%		49,00
				SUB TOTAL Nº 3	539,00
				COSTO NETO \$	3.048,00
				LEYES SOCIALES 35% \$	188,65
				APROXIMACION \$	3.237

Ilustración 29: A.P.U Tratamiento superficial doble

Fuente: Elaboración propia

3.8 CUBICACIONES PRINCIPALES

3.8.1 CUBICACIÓN DE EXCAVACIÓN Y RELLENO

La cubicación de los movimientos de tierra se realizó mediante el método de áreas medias, utilizando las áreas de excavación y relleno obtenidas en los perfiles transversales dispuestos cada 50 m a lo largo de los 2.000 m del proyecto.

En cada perfil se superpuso la geometría existente con la sección y la rasante proyectadas. A partir de esta comparación se determinaron dos áreas independientes:

- Área de excavación: corresponde al material que debe retirarse para alcanzar la geometría proyectada de la zanja.
- Área de relleno: corresponde al volumen necesario para elevar el fondo existente hasta la nueva rasante longitudinal, utilizando material estabilizado compactado.

Método de áreas medias

El volumen comprendido entre dos perfiles transversales consecutivos se calculó mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \times L$$

Donde:

- V : volumen del tramo, en m³.
- A_1 : área de excavación o relleno del perfil inicial, en m².
- A_2 : área de excavación o relleno del perfil final, en m².
- L : distancia entre perfiles, en m.

Posteriormente, los volúmenes parciales de cada tramo fueron sumados para determinar las cubicaciones totales del proyecto.

Ejemplo 1: tramo DM 0 a DM 50

Para el primer tramo, separado por una distancia de 50 m, se obtuvieron las siguientes áreas:

Parámetro	DM 0	DM 50
Área de excavación	1,60 m ²	1,80 m ²
Área de relleno	2,80 m ²	0,60 m ²

Tabla 7: Método áreas medias entre dm 0 y dm 50

Fuente: Elaboración propia

Excavación

$$V = \frac{1,60 + 1,80}{2} \times 50$$

$$V_{exc} = 85,00 \text{ m}^3$$

Relleno

$$V = \frac{2,80 + 0,60}{2} \times 50$$

$$V_{rell} = 85,00 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, en el tramo comprendido entre los DM 0 y 50 se requiere excavar 85,00 m³ y colocar 85,00 m³ de relleno compactado.

Una vez calculados y sumados los 41 tramos, se obtuvieron las siguientes cubicaciones:

Partida	Volumen total
Excavación con agotamiento	3.450,00 m ³
Relleno con material estabilizado compactado	3.250,50 m ³

Tabla 8: Resultados de los 41 tramos

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el proyecto requiere un volumen total de excavación de 3.450,00 m³ y un volumen de relleno compactado de 3.250,50 m³. La magnitud similar de ambas partidas se explica por la irregularidad del perfil longitudinal existente, el cual presenta sectores donde es necesario retirar material y otros donde se debe elevar el fondo para obtener una pendiente continua de 0,12 %.

3.8.2 CUBICACIÓN DEL TRANSPORTE DEL MATERIAL EXCAVADO

El volumen correspondiente al transporte del material excavado se determinó a partir del volumen total de excavación obtenido mediante el método de áreas medias. Considerando que el material incrementa su volumen al ser excavado debido a la pérdida de confinamiento natural del terreno, se aplicó un factor de esponjamiento de 20 %

La cubicación se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$V_t = V_e \times F_e$$

Donde:

- V_t : volumen de transporte (m³)
- V_e : volumen excavado (m³)
- F_e : factor de esponjamiento

$$V_t = 3.450 \times 1,20$$

$$V_t = 4.140 \text{ m}^3$$

3.8.3 CUBICACIÓN GEOTEXTIL NO TEJIDO

Longitud inclinada de cada talud

$$L_{talud} = \sqrt{1^2 + 1^2} = 1,414m$$

Desarrollo transversal del geotextil

Cubriendo el fondo y los dos taludes:

$$D = b + 2Lt$$

$$D = 1,00 + 2(1,414)$$

$$D = 3,828m$$

Superficie neta de geotextil

$$A = D \times L$$

$$A = 3,828 \times 2.000$$

$$A = 7.656,85m^2$$

Conversión a rollos

Cada rollo MacTex H considerado en el APU posee las siguientes dimensiones:

$$4,00 \times 200m = 800m^2/rollo$$

Cantidad de rollos

$$N = \frac{7.656,85}{800}$$

$$N = 9,57 \text{ rollos} = 10 \text{ Rollos}$$

Consideración de pérdidas del 10%

$$A = 7.656,85 \times 1,10$$

$$A = 8.422,53m^2$$

Cantidad de rollos:

$$N = \frac{8.422,53}{800}$$

$$N = 10,52 \text{ rollos} = 11 \text{ Rollos}$$

3.8.4 CUBICACIÓN CAPA DE ARENA

Longitud inclinada de cada talud

$$L_{talud} = \sqrt{1^2 + 1^2} = 1,414m$$

Desarrollo transversal de la arena

Cubriendo el fondo y los dos taludes:

$$D = b + 2Lt$$

$$D = 1,00 + 2(1,414)$$

$$D = 3,828m$$

Superficie neta de la arena

$$A = D \times L$$

$$A = 3,828 \times 2.000$$

$$A = 7.656,85m^2$$

Volumen neto de arena

$$V = A \times e$$

$$V = 7.656,85 \times 0,05$$

$$V = 382,84m^3$$

3.8.5 CUBICACIÓN DOBLE CAPA DE ENROCADO

Longitud inclinada de cada talud

$$L_{talud} = \sqrt{1^2 + 1^2} = 1,414m$$

Desarrollo transversal del enrocado

Cubriendo el fondo y los dos taludes:

$$\begin{aligned} D &= b + 2Lt \\ D &= 1,00 + 2(1,414) \\ D &= 3,828m \end{aligned}$$

Superficie neta del enrocado

$$\begin{aligned} A &= D \times L \\ A &= 3,828 \times 2.000 \\ A &= 7.656,85m^2 \end{aligned}$$

Volumen neto del enrocado

$$\begin{aligned} V &= A \times e \\ V &= 7.656,85 \times (0,3 \times 2) \\ V &= 4.594,11m^3 \end{aligned}$$

Consideración de pérdidas del 5%

$$\begin{aligned} V &= 4.594,11 \times 1,05 \\ V &= 4.823,82m^3 \end{aligned}$$

3.8.6 CUBICACIÓN DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE

La cubicación del Tratamiento Superficial Doble se realiza en metros cuadrados, considerando la superficie total de la calzada que será intervenida.

Para el proyecto se consideran:

- Longitud del camino: $L = 2.000 \text{ m}$
- Ancho de calzada: $B = 6,00 \text{ m}$

Superficie de tratamiento

$$\begin{aligned} A &= B \times L \\ A &= 2.000 \times 6,00 \\ A &= 12.000m^2 \end{aligned}$$

3.9 PRESUPUESTO DE LA OBRA

El presupuesto del proyecto fue elaborado a partir de los Análisis de Precios Unitarios (APU) desarrollados para cada una de las partidas consideradas en la ejecución de la obra. Para cada actividad se determinaron las cantidades mediante las cubicaciones previamente calculadas, las cuales fueron valorizadas utilizando los precios unitarios correspondientes a materiales, maquinaria, mano de obra y equipos necesarios para su correcta ejecución.

		NOMBRE ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNIT.	P. TOTAL \$
ITEM	PARTIDA	NOMBRE PARTIDA				
1		ACTIVIDADES INICIALES				
	1.1	Instalación de Faenas	gl	1,0	1.349.730	1.349.730
2		MOVIMIENTOS DE TIERRA				
	2.1	Excavación con agotamiento	m3	3450,0	13.366	46.112.700
	2.2	Transporte de material excavado	m3	4140,0	17.814	73.749.960
	2.3	Relleno con material estabilizado compacta	m3	3250,0	38.157	124.010.250
3		REVESTIMIENTO DE ZANJA				
	3.1	Instalación de geotextil	rollo	11,0	1.391.499	15.306.489
	3.2	Capa de arena	m3	383,0	17.645	6.758.035
	3.3	Enrocado de protección clase 1	m3	4823,0	54.860	264.589.780
4		SUPERFICIE DE RODADURA				
	4,1	Tratamiento superficial	m3	12000,0	3.237	38.844.000
					Costo directo	570.720.944
					Gastos generales 15%	85.608.142
					Utilidades 10%	57.072.094
					Sub-total Neto	713.401.180
					IVA	135.546.224
					TOTAL	848.947.404

Tabla 9: Presupuesto total de la obra

Elaboración propia

El costo directo obtenido corresponde a la suma de todas las partidas consideradas en el proyecto. Posteriormente, de acuerdo con los criterios habitualmente utilizados en la elaboración de presupuestos de obras civiles, se incorporó un 15 % por concepto de gastos generales, destinados a cubrir los costos indirectos asociados a la administración, supervisión y funcionamiento de la obra, además de un 10 % de utilidad, correspondiente al margen esperado por la ejecución del proyecto. Finalmente, al subtotal neto se aplicó el Impuesto al Valor Agregado (IVA) vigente, obteniéndose el presupuesto total de ejecución.

Del análisis económico realizado se observa que el capítulo de Revestimiento de Zanja representa la mayor participación dentro del costo directo del proyecto. Este comportamiento se explica principalmente por el volumen de enrocado Clase I requerido para revestir el fondo y los taludes de la zanja a lo largo de los 2 km de intervención, constituyéndose en la partida de mayor incidencia económica.

4 CONCLUSIONES

4.1 CONCLUSIÓN OBJETIVO ESPECÍFICO 1

El diagnóstico realizado permitió determinar que los problemas de anegamiento presentes en el Camino Carriel Norte responden a una combinación de factores hidrológicos, hidráulicos y geométricos.

El análisis de los registros pluviométricos de la estación Concepción Carriel Sur evidenció una marcada concentración de las precipitaciones durante los meses de otoño e invierno, condición que incrementa las exigencias sobre el sistema de drenaje existente.

A su vez, el levantamiento geométrico permitió identificar irregularidades importantes en el fondo de la zanja, con pendientes variables entre aproximadamente -0,58 % y 1,68 %, incluyendo sectores prácticamente horizontales, contrapendientes y numerosos tramos inferiores al 0,25 %. Estas condiciones dificultan la continuidad del escurrimiento, favoreciendo el estancamiento del agua.

Desde el punto de vista social, los resultados de la encuesta confirmaron que los anegamientos constituyen una problemática recurrente para los usuarios del camino. El 56 % de los encuestados indicó una ocurrencia de entre 4 y 6 eventos anuales y un 31 % señaló entre 7 y 10 eventos, mientras que la necesidad de mejorar el sistema de drenaje fue valorada como alta o muy alta por la gran mayoría de los participantes.

4.2 CONCLUSIÓN OBJETIVO ESPECÍFICO 2

A partir de las deficiencias identificadas en el diagnóstico, se definió una solución orientada a restituir y mejorar el funcionamiento del drenaje longitudinal del Camino Carriel Norte. La propuesta considera el reperfilado de la zanja mediante una sección trapezoidal uniforme, la regularización de su rasante con una pendiente longitudinal de 0,12 % y la incorporación de un revestimiento compuesto por geotextil no tejido y enrocado, con el propósito de favorecer un escurrimiento continuo hacia el punto de descarga y reducir los procesos de erosión y sedimentación.

La geometría propuesta fue definida considerando tanto las condiciones geotécnicas del sector como las restricciones físicas existentes. El levantamiento permitió identificar una franja lateral disponible de aproximadamente 2,8 a 3,0 m, posibilitando desarrollar la solución sin disminuir el ancho operativo del camino y reduciendo la necesidad de intervenir los terrenos colindantes.

Como complemento al drenaje longitudinal, se incorporó un Tratamiento Superficial Doble (TSD) sobre la superficie de rodadura, destinado a mejorar las condiciones de circulación, disminuir la infiltración de agua hacia la estructura del camino y favorecer el escurrimiento superficial hacia la zanja proyectada.

Por lo tanto, la solución definida aborda de manera conjunta la conducción de las aguas lluvias y la protección de la infraestructura vial, respondiendo directamente a las principales deficiencias detectadas durante el diagnóstico.

4.3 CONCLUSIÓN OBJETIVO ESPECÍFICO 3

La evaluación técnica permitió verificar que la solución propuesta presenta capacidad suficiente para conducir el caudal de diseño determinado para el Camino Carriel Norte. Mediante la aplicación de la ecuación de Manning se obtuvo una capacidad hidráulica aproximada de 0,227 m³/s, superior al caudal de diseño de 0,067 m³/s.

La definición de una pendiente longitudinal uniforme de 0,12 %, junto con el revestimiento de la sección mediante geotextil y enrocado Clase I, permite además corregir las irregularidades identificadas en el sistema existente y proporcionar continuidad al escurrimiento hacia el Canal Ifarle.

Desde el punto de vista constructivo, las cubicaciones determinaron volúmenes de aproximadamente 3.450,00 m³ de excavación con agotamiento y 3.250,50 m³ de relleno con material estabilizado compactado, asociados principalmente a la regularización de la rasante necesaria para alcanzar la pendiente proyectada. La evaluación económica, desarrollada mediante los análisis de precios unitarios y las cubicaciones de las distintas partidas, permitió establecer el costo de ejecución de la alternativa.

La programación de las partidas permitió establecer un plazo estimado de ejecución de 105 días corridos, considerando la ejecución secuencial y simultánea de las distintas actividades por tramos. Por su parte, la evaluación económica desarrollada mediante las cubicaciones y los análisis de precios unitarios permitió determinar un presupuesto total de \$848.947.404, incluyendo costos directos, gastos generales, utilidad e IVA.

En consecuencia, la evaluación realizada permite concluir que la solución propuesta es técnicamente viable y económicamente cuantificada, disponiendo de los antecedentes necesarios para definir las cantidades de obra, recursos, plazo y costos asociados a su eventual ejecución.

4.4 CONCLUSIÓN GENERAL

El presente estudio permitió evaluar técnica y económicamente una solución constructiva de drenaje pluvial para el camino ubicado en el sector Carriel Norte, comuna de Talcahuano, dando cumplimiento al objetivo general planteado al inicio de la investigación.

A partir de este análisis se desarrolló una propuesta de mejoramiento basada en la construcción de una zanja revestida con geotextil no tejido, capa de arena de transición y enrocado Clase I, complementada con la aplicación de un Tratamiento Superficial Doble sobre la superficie de rodadura. La solución fue diseñada considerando las características topográficas, hidráulicas y geotécnicas del sector, así como los criterios establecidos en el Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas.

La evaluación constructiva y económica permitió comprobar la factibilidad de ejecución de la propuesta. Para ello se desarrollaron las cubicaciones mediante el método de áreas medias, los análisis de precios unitarios, la programación de la obra y el presupuesto general del proyecto. Asimismo, la planificación por tramos constituye una estrategia adecuada para optimizar el uso de los recursos, facilitar el control de la obra y reducir las interferencias con el tránsito durante la ejecución. Como resultado de esta evaluación, se obtuvo un presupuesto total de \$848.947.404, incluyendo costos directos, gastos generales, utilidad e IVA.

En consecuencia, se concluye que la alternativa propuesta constituye una solución **técnicamente viable y económicamente fundamentada** para mejorar el sistema de drenaje del camino Carriel Norte. Su implementación permitiría aumentar la capacidad de evacuación de las aguas lluvias, disminuir los problemas de anegamiento y mejorar las condiciones de transitabilidad y seguridad para los usuarios del camino. Además, considerando que esta problemática ha persistido durante un largo período, la ejecución del proyecto representa una intervención necesaria para mejorar la infraestructura vial

del sector.

Los eventos de precipitaciones registrados durante los últimos años, tanto en la Región del Biobío como en otras zonas del país, han evidenciado la importancia de contar con sistemas de drenaje correctamente diseñados y mantenidos. En este contexto, la solución desarrollada no solo responde a una necesidad local, sino que también constituye una medida orientada a fortalecer la infraestructura vial frente a futuros eventos de lluvia, contribuyendo a una red vial más segura, funcional y con mejores condiciones de servicio para la comunidad.

5 BIBLIOGRAFÍA

24 Horas. (2014, 24 de junio). Talcahuano: Vecinos de Carriel Norte protestan por camino inundado. <https://www.24horas.cl/regiones/biobio/talcahuano-vecinos-de-carriel-norte-protestan-por-camino-inundado-1296752>

Aguilera, C. A. (2025). Plan de Gobernanza para el Sistema Humedal Rocuant-Andalién. Área Proyecto GEF Humedales Costeros. Concepción, Chile.

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). Applied Hydrology. McGraw-Hill.

Dirección Meteorológica de Chile. (2025). Datos pluviométricos estación Concepción Carriel Sur (2015–2024). Dirección General de Aeronáutica Civil.

Empresa Empro Ltda. Informe de mecánica de suelos. Concepción, Chile.

Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Vialidad. (2025). Manual de Carreteras. Volumen N.º 2: Procedimientos de Estudios Viales. Santiago, Chile.

Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Vialidad. (2025). Manual de Carreteras. Volumen N.º 3: Instrucciones y criterios de diseño. Santiago, Chile.

Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Vialidad. (2025). Manual de Carreteras. Volumen N.º 5: Especificaciones técnicas generales de construcción. Santiago, Chile.

Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Vialidad. (2025). Manual de Carreteras. Volumen N.º 7: Mantenimiento vial. Santiago, Chile.

Cámara Chilena de la Construcción. (2019). ONDAC: Análisis de precios unitarios de la construcción (Edición 2019). Cámara Chilena de la Construcción.