



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE DAÑOS EN CAMINOS OCASIONADOS POR
EVENTOS HIDROMETEOROLÓGICOS**

POR

Leandro Antonio Contardo Concha

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniero Civil.

Profesor Guía
Tomás Echaveguren Navarro

Noviembre 2022
Concepción (Chile)

© 2022 Leandro Antonio Contardo Concha

© 2022 Leandro Antonio Contardo Concha

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Dedicatoria

*Le dedico este trabajo a Dios y a mi familia.
En eterna gratitud por su constante apoyo con mis estudios, objetivos y metas.*

Agradecimientos

Agradezco afectuosamente a mi profesor patrocinante, el Señor Tomás Echaveguren Navarro, quien ha sido un apoyo académico trascendental lleno de paciencia y conocimientos en el desarrollo de este trabajo, aportando con valiosas ideas, correcciones y tiempo para ayudarme a terminar este proceso.

Resumen

Los eventos de origen hidrometeorológico son un tema que ha cobrado importancia en los últimos años debido a que su probabilidad de ocurrencia aumenta como consecuencia del cambio climático. Por otra parte, son los que generan mayores daños a la infraestructura vial de un país, generando pérdidas significativas tanto humanas como económicas. Chile, por su parte, posee una red vial que está sometida a una gran variedad de condiciones climáticas como lo son: el clima árido en la zona norte, clima mediterráneo en la zona centro, y clima templado en la zona sur, obligando a realizar constantes gestiones para la atención de emergencias y conservación de los activos en la infraestructura mediante procedimientos intuitivos de estimación de daños. Dicho esto, el problema a abordar consiste en que actualmente no existen métodos estandarizados por parte de la Dirección de Vialidad para objetivizar la estimación del daño producido por las amenazas hidrometeorológicas en la red vial. Por esta razón, el objetivo de esta memoria es elaborar un procedimiento basado en la inspección visual para la medición de los daños de origen hidrometeorológico en los caminos administrados por la Dirección de Vialidad, el cual consta de un protocolo de aplicación y una ficha de registro para la inspección en terreno. El procedimiento desarrollado en esta memoria contempló la recopilación de información sobre eventos hidrometeorológicos registrada por la Dirección de Vialidad; un análisis de la diversidad y frecuencia de estos eventos en la red vial nacional; y a partir de estos antecedentes, la definición de los daños causados y su severidad en los caminos, junto con los procedimientos para la medición de estos daños. Como resultado, se obtiene un protocolo con las instrucciones de trabajo requeridas para la atención de una emergencia hidrometeorológica, un catálogo informativo de los daños a encontrar, y dos procedimientos de medición de daños con el fin de ser versátiles ante las condiciones presentes en la vía, permitiendo cuantificar los daños tanto en terreno como en gabinete.

Abstract

Hydrometeorological events are an issue that has gained importance in recent years due to the increased probability of their occurrence as a result of climate change. On the other hand, they are the ones that cause the greatest damage to a country's road infrastructure, generating significant human and economic losses. Chile, for its part, has a road network that is subject to a wide variety of climatic conditions such as: arid climate in the northern zone, Mediterranean climate in the central zone, and temperate climate in the southern zone, forcing to make constant efforts for emergency response and conservation of infrastructure assets through intuitive procedures for damage estimation. That said, the problem to be addressed is that there are currently no standardized methods used by the Highway Administration to objectify the estimation of damage caused by hydrometeorological hazards on the road network. For this reason, the objective of this report is to develop a procedure based on visual inspection for the measurement of hydrometeorological damage on roads administered by the Directorate of Roads, which consists of an application protocol and a record sheet for field inspection. The procedure developed in this report included the collection of information on hydrometeorological events recorded by the Roads Directorate; an analysis of the diversity and frequency of these events in the national road network; and from this background, the definition of the damage caused and its severity on the roads, together with the procedures for the measurement of this damage. As a result, a protocol is obtained with the work instructions required for the attention of a hydrometeorological emergency, an informative catalog of the damages to be found, and two damage measurement procedures in order to be versatile in the face of the conditions present on the road, allowing the quantification of damages both in the field and in the office.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	i
ÍNDICE DE TABLAS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Motivación.....	1
1.2 Objetivo general	2
1.3 Objetivos específicos	2
1.4 Alcances.....	2
1.5 Plan de trabajo	2
1.6 Principales resultados y conclusiones.....	3
1.7 Organización de la memoria.....	4
CAPÍTULO 2: LA AUSCULTACIÓN VISUAL COMO HERRAMIENTA PARA IDENTIFICAR DAÑOS EN CAMINOS	5
2.1 Introducción.....	5
2.2 La inspección visual de caminos	5
2.3 Principales elementos de la inspección visual.....	6
2.4 Conclusiones.....	7
CAPÍTULO 3: EFECTOS DE LAS AMENAZAS HIDROMETEOROLÓGICAS EN LA RED VIAL DE CHILE	8
3.1 Introducción.....	8
3.2 Activos viales de un camino.....	8
3.3 Amenazas hidrometeorológicas que afecta a la red vial.....	12
3.4 Gestión de emergencias en la Dirección de Vialidad	15
3.5 Conclusiones.....	16
CAPÍTULO 4: MEDICIÓN DE DAÑOS PRODUCIDOS POR LAS AMENAZAS HIDROMETEOROLÓGICAS.....	17
4.1 Introducción.....	17
4.2 Elementos Conceptuales.....	17
4.3 Medición de daños.....	22
4.4 Procedimientos de medición de daños.....	22
4.5 Conclusiones.....	28

CAPÍTULO 5: PROTOCOLO DE INSPECCIÓN VISUAL PARA CAMINOS	30
5.1 Introducción.....	30
5.2 Descripción general	30
5.3 Disposiciones previas	31
5.4 Aplicación del instrumento.....	32
5.5 Informe resumen.....	33
5.6 Conclusiones.....	33
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES.....	34
ANEXO 1.1 Contribución a los objetivos de desarrollo sostenible.....	41
ANEXO 1.2 Ficha de registro de daños por amenazas hidrometeorológicas	42
ANEXO 1.3 Protocolo de medición de daños en caminos producto de amenazas hidrometeorológicas	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Ejemplos donde se emplea la técnica de inspección visual	6
Tabla 3.1 Clasificación de activos viales para caminos	10
Tabla 3.2 Riesgo e impactos climáticos en la infraestructura de transporte	13
Tabla 3.3 Clasificación de Amenazas Hidrometeorológicas	14
Tabla 4.1 Grupos de activos seleccionados.....	18
Tabla 4.2 Grupo de amenazas hidrometeorológicas seleccionadas	18
Tabla 4.3 Daños de amenazas hidrometeorológicas en los activos considerados en el estudio	20
Tabla 4.4 Cruce de información: Amenaza vs Daño	21
Tabla 4.5 Métrica establecida para los daños según el activo.....	22
Tabla 4.6 Aplicaciones de medición para smartphone o Tablet	23
Tabla 4.7 Softwares de medición para computadores.....	24
Tabla 4.8 Niveles de severidad establecidos para cada daño y activo involucrado	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Distribución de la red vial nacional según carpeta de rodadura - diciembre 2020.....	8
Figura 3.2 Longitud de la red vial nacional, según clasificación de los caminos y capa de rodadura - dic 2020	9
Figura 3.3 Variabilidad climática a lo largo de Chile según clasificación de Köppen	9
Figura 3.4 Sección transversal de un camino.....	11
Figura 4.1 Ejemplo de un deslizamiento de tierra en la Carretera Nacional 319 en Chongqing, China, el 28 de noviembre del 2019.....	25

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

Un camino consta de una serie de activos viales que se encuentran expuestos a afectaciones naturales. Por eso es importante conservar el nivel de servicio de una vía, tanto desde el punto de vista físico como operacional, mediante una estimación precisa de los daños con procedimientos concretos a la hora de actuar. En particular, la calzada y la plataforma son los activos de mayor importancia funcional y económica ya que, no solo son trascendentales para el desarrollo de un país, sino que además son los activos más valiosos de un camino.

Los eventos naturales conllevan pérdidas de gran envergadura, humanas y económicas, afectando con mayor fuerza a países en vías de desarrollo, por lo que, sumado a los efectos secundarios producidos por el cambio climático, a futuro se esperan numerosos daños causados en la red vial, forzando a las autoridades a actuar de forma rápida y eficiente en cada una de las emergencias. En Chile, de acuerdo con el Sistema Informático de Emergencias (SIEMOP), las amenazas de origen hidrometeorológico (AHM) son las que generan mayores daños y pérdidas económicas a la red. Los registros indican que entre 2010 y 2015, 371 rutas fueron afectadas por estos eventos, de donde se obtuvieron 729 daños totales en infraestructura. Sin embargo, el problema técnico radica en la medición de estos daños, ya que actualmente no se cuenta con procedimientos estandarizados para cuantificar esta información, lo que se traduce en una mala gestión de las emergencias y los recursos destinados a la red vial.

El propósito de esta memoria de título es elaborar un método de cuantificación de daños post emergencia hidrometeorológica, de manera de poder medir la magnitud y severidad de los daños ocasionados en caminos por algún evento. Para ello, se plantea desarrollar un protocolo de medición que utilice el método de inspección visual sobre los daños de los activos viales, de manera de poder objetivizar la medición de los daños producto de las amenazas.

El Anexo 1.1 muestra la contribución de la Memoria de Título a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

1.2 Objetivo general

Desarrollar un procedimiento de estimación de daños en caminos provocado por eventos hidrometeorológicos.

1.3 Objetivos específicos

- a) Identificar las amenazas de origen hidrometeorológico que afectan a la red vial de Chile.
- b) Caracterizar los daños en los caminos producto de las amenazas de origen hidrometeorológico.
- c) Elaborar un método de cálculo de daños.
- d) Elaborar un protocolo para la medición de los daños.

1.4 Alcances

Se acota el análisis a solo la red vial administrada por la Dirección de Vialidad, enfocando el estudio a situaciones de mayor necesidad como lo es la atención en caminos de una pista por sentido post emergencia hidrometeorológica.

1.5 Plan de trabajo

La metodología de trabajo se desarrolló en cuatro etapas que se subdividieron en cuatro subetapas. La primera etapa consistió en investigar sobre el origen de los daños producidos por las amenazas hidrometeorológicas que afectan a la red vial nacional. Para ello, se llevaron a cabo los procesos de identificación de las amenazas que producen daños a la infraestructura vial; y la caracterización de estas amenazas identificadas, obteniendo en la subetapa de resultados un catálogo con la información de las amenazas hidrometeorológicas que afectan a la red vial chilena. Actualmente, existe una base de datos de las amenazas hidrometeorológicas elaborada por la Dirección de Vialidad la cual ha registrado todos aquellos eventos que han causado daños en la red en los últimos años.

La segunda etapa consistió en caracterizar los daños ocasionados en caminos producto de las amenazas identificadas en la etapa anterior, para ello se llevaron a cabo los procesos de identificación de daños producidos por las amenazas hidrometeorológicas en las componentes de la infraestructura vial; y definición de una métrica para la cuantificación de la magnitud y severidad de estos daños, obteniendo en la subetapa de resultados los requerimientos fundamentales para la medición de los daños.

En la tercera etapa se elaboró una metodología de cálculo de los daños mediante el desarrollo de dos procedimientos de medición de la magnitud de los daños: uno para llevar a cabo en terreno y otro para llevar a cabo en gabinete, posteriormente, se definieron los niveles de severidad de los daños, obteniendo en la subetapa de resultados un método de medición de daños elaborado.

En la cuarta y última etapa se elaboró un método de registro de los daños en terreno y el protocolo de medición, para ello, se elaboró una ficha de registro para la inspección en terreno y los requisitos para la elaboración de un informe resumen para entregar al SIEMOP, de manera de obtener en la subetapa de resultados una ficha de registro de los daños en terreno y un protocolo de medición.

1.6 Principales resultados y conclusiones

Actualmente la Dirección de Vialidad cuenta con un sistema de atención global para las emergencias naturales en la vía que se ejecuta de manera intuitiva basándose en la capacidad de los inspectores. Esto genera un problema ya que los inspectores miden el daño de forma intuitiva o simplemente no lo miden ya que el instructivo no lo solicita. Por su parte, el Manual de Carreteras cuenta con un catálogo de deterioros superficiales para el mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles

Se propuso un protocolo de medición de daños post amenaza hidrometeorológica en caminos mediante dos procedimientos basados en la inspección visual, considerando los principales activos que componen un camino y las características a evaluar (magnitud del daño y severidad). Además, se elaboró una ficha de registro de datos en terreno adecuada para un levantamiento de información rápido y preciso por parte de los inspectores. Se espera que las características del daño en terreno ayuden a distinguir su gravedad en la red vial, a través de los niveles de severidad definidos en el

protocolo según la magnitud del daño. Los métodos de cálculo de daños permitirán medir de forma más versátil la magnitud de los daños causados por el evento hidrometeorológico, y elaborar una cuantificación más precisa de los daños causados, ayudando a optimizar los costos y tiempos requeridos para su atención.

El protocolo desarrollado para la medición de los daños ayudará a mecanizar el sistema de atención de emergencias hidrometeorológicas mediante instrucciones concretas de lo que se debe hacer, y permitirá estimar, procesar e informar los daños causados por el evento mediante la ejecución de uno de los dos procedimientos desarrollados basados en la inspección visual, minimizando los riesgos y optimizando los tiempos de inspección y levantamiento de información en terreno.

1.7 Organización de la memoria

La estructura de la memoria inicia con el Capítulo 2 contempla la revisión bibliográfica sobre el método de inspección visual y los principales activos viales donde se usa actualmente. El Capítulo 3 describe el efecto de las amenazas hidrometeorológicas en la red vial, analizando los activos afectados por alguna amenaza y las gestiones de la Dirección de Vialidad para resolverlos. El Capítulo 4 procesa la información obtenida para definir los activos, amenazas hidrometeorológicas y daños en la red vial, que fueron de interés en el estudio, lo que permitió crear relaciones entre cada par de datos, y así establecer los procedimientos de medición y niveles de severidad de los daños. El Capítulo 5 entrega un resumen descriptivo del protocolo desarrollado, la forma de aplicación de este instrumento y las conclusiones al respecto. El Capítulo 6 y último redacta lo que son las conclusiones que dejó el desarrollo de este trabajo, los puntos fuertes y las posibles mejoras de esta investigación.

CAPÍTULO 2: LA AUSCULTACIÓN VISUAL COMO HERRAMIENTA PARA IDENTIFICAR DAÑOS EN CAMINOS

2.1 Introducción

Este capítulo hace referencia a los aspectos generales de la inspección visual como una herramienta eficaz de medición de daños, mencionando tanto sus fortalezas como debilidades, los diversos usos que se le ha dado actualmente a esta metodología en el ámbito vial, algunos ejemplos de técnicas que se han desarrollado, y finaliza con una conclusión respecto a cómo esta herramienta puede beneficiar en la investigación de la cuantificación de daños post amenaza hidrometeorológica.

2.2 La inspección visual de caminos

La inspección visual es una técnica no invasiva que puede ser aplicada de forma manual o mecanizada y que permite caracterizar los defectos superficiales presentes en la infraestructura vial tras la ocurrencia de algún suceso (Echaveguren *et al.*, 2002).

La auscultación visual es una herramienta que se utiliza en las etapas iniciales de un sistema de gestión de activos y se define como un proceso de dos fases que permite, mediante un proceso sistemático, tomar datos de estado de un pavimento y sintetizarlos en indicadores o índices objetivos (de Solminihac, 2018).

La principal ventaja de esta técnica de inspección es su rápida aplicación de campo y económica en redes no extensas, lo que permite utilizarlo de manera regular para determinar la evolución de los deterioros en el activo, determinar la eficacia de los métodos de mantenimiento aplicados y servir de control sobre el comportamiento de los activos de la vía. La ejecución del método requiere de personal capacitado y con experiencia en identificar la severidad de cada deterioro en terreno, pues la efectividad del método depende directamente de aquello (Arriagada, 2015).

Los métodos manuales de inspección visual están afectos a una variabilidad en sus resultados (Federal Highway Administration [FHWA], 2000). Este hecho no los invalida como técnica, sino que más bien obliga a dedicar esfuerzos a reducir dicha variabilidad. Las principales causas,

corresponden a limitaciones físicas de los inspectores, la falta de capacitación continua, manuales de procedimiento muy generales, el aumento en el nivel de interpretación cuando existe una cantidad importante de defectos superficiales y tramos extensos de inspección, entre otras causas. En el caso de pavimentos urbanos, una fuente adicional de error es la falta de oportunidades de inspección y la tensión que produce el roce con los volúmenes de tránsito elevados en vías de mayor jerarquía. (Echaveguren *et al.*, 2002).

2.3 Principales elementos de la inspección visual

En el ámbito vial, se han elaborado una gran cantidad de métodos de inspección visual para los diversos activos involucrados en la red, los cuales comparten elementos claves que resultan ser esenciales para la aplicación de este método. Los elementos de carácter físico suelen ser: catálogos, fichas de registro, instructivos, inspectores, fotografías, terreno, informes, etc., mientras que aquellos de carácter no físico son: indicadores o valores índice, charlas de inducción, entre otros. La Tabla 2.1 presenta algunos ejemplos de donde se emplea la técnica de inspección visual.

Tabla 2.1 Ejemplos donde se emplea la técnica de inspección visual

Activo Vial	Guías de Inspección	Autor
Puentes	“Bridge Inspector's Reference Manual” de Estados Unidos	Hartle, R. A. (2002)
	“Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado” de España	Morán (2021)
	Manual de Carreteras Volumen N°7	Ministerio de Obras Públicas [MOP] (2021)
	Sistema de Gestión de Puentes de Ontario de Canadá	Khazada, K. M. (2013)
	SGP para la Gestión de Carreteras Nacionales de Finlandia	SÖDERQVIST, M. K. (1999)
	Sistema PONTIS de Estados Unidos	Thompson (1998)
Pavimentos Urbanos	Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados	MOP (2016)
Carreteras	Método SHRP de Estados Unidos.	SHRP (1993)
	Método del Estado de Washington	Washington state department of transportation [WSDoT] (1992)
	Índice de Condición de caminos no pavimentados de la Dirección de Vialidad (ICNP)	MOP (2014)

Tabla 2.2 Ejemplos donde se emplea la técnica de inspección visual (Continuación)

Elementos de Drenaje	Método de Inspección Visual de Estructuras de Drenaje de Colombia	Instituto nacional de vías [INVIAS] (2006)
	Método de Inspección Visual de Activos de Saneamiento y Drenaje de Carreteras	Arriagada (2015)
Programas de Mantenimiento y Conservación Vial	Programa de Mantenimiento Eficiente de Carreteras del Reino Unido	HMEP (2012)
	Programa de Mantenimiento para Evitar Deterioros de Severidad Alta	AASHTO (2007)

2.4 Conclusiones

La inspección visual en la red vial es un método empleado para controlar el estado de los elementos físicos que componen la infraestructura vial a través del análisis de imágenes con el propósito de adquirir y examinar datos para cuantificar la calidad del estado del material y programar futuras intervenciones. Este método se ha aplicado a una gran cantidad de activos, pero no se evidencian registros particulares sobre inspecciones visuales realizadas para la medición de daños en caminos producto de eventos hidrometeorológicos, tanto en el ámbito nacional como internacional.

En Chile, actualmente la inspección empleada en caminos para la medición de daños post amenaza hidrometeorológica se ejecutan de manera intuitiva basándose en la capacidad y experiencia de los inspectores, ya que no cuentan con un procedimiento sistemático a seguir para la adquisición de información. Contar con un procedimiento basado en la inspección visual no solo ordenará y estandarizará el proceso de atención de emergencias, sino que ayudará a recopilar mayor información en las inspecciones, optimizará los tiempos empleados durante la emergencia, cuantificará con mayor precisión los daños causados, y mejorará la gestión de recursos empleados en la atención de la vía.

CAPÍTULO 3: EFECTOS DE LAS AMENAZAS HIDROMETEOROLÓGICAS EN LA RED VIAL DE CHILE

3.1 Introducción

En este capítulo se analiza la literatura referente a las amenazas naturales de origen hidrometeorológico que afectan principalmente a la infraestructura vial nacional, no solo considerando los daños ocasionados en las plataformas, sino que también los daños ocasionados a los activos viales que componen un camino.

3.2 Activos viales de un camino

Las estadísticas publicadas por la Dirección de Vialidad mencionan que la red vial de Chile consta de 85.983,875 km de longitud donde solo 21.288,507 km (24.7 %) corresponden a caminos pavimentados, 47.442,341 km (55.2 %) corresponden a no pavimentados, y 17.253,027 km (20.1 %) corresponden a soluciones básicas, la Figura 3.1 y Figura 3.2 detallan lo anterior.

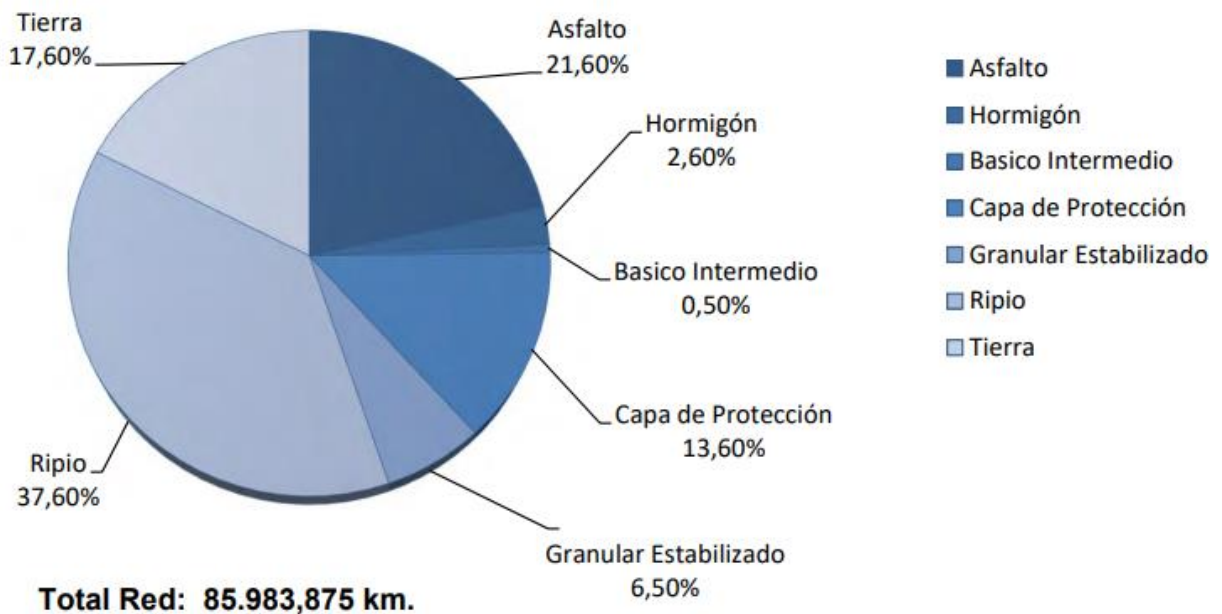


Figura 3.1 Distribución de la red vial nacional según carpeta de rodadura - diciembre 2020

Fuente: Dirección de Vialidad (2021)

Tipo de Camino	Red Vial Pavimentada				Soluciones Básicas		Red Vial No Pavimentada		Total
	Asfalto	Hormigón	Asf./Horm.	Caminos Básicos Intermedios	Capa Protección	Granular Estabilizado	Ripio	Tierra	
Caminos Nacionales	7.835,400	1.261,083	526,975	0,000	276,530	510,886	930,359	104,192	11.445,425
Caminos Regionales Principales	5.336,505	353,104	34,464	81,237	947,951	544,568	1.993,355	906,641	10.197,825
Caminos Regionales Provinciales	1.986,281	99,281	4,651	115,945	962,448	574,649	1.559,062	495,425	5.797,742
Caminos Regionales Comunales	2.881,026	242,294	2,373	198,957	7.181,220	3.261,494	17.905,505	7.052,791	38.725,660
Caminos Regionales de Acceso	235,218	23,937	0,173	69,603	2.287,993	705,288	9.940,489	6.554,522	19.817,223
Total	18.274,430	1.979,699	568,636	465,742	11.656,142	5.596,885	32.328,770	15.113,571	85.983,875

Figura 3.2 Longitud de la red vial nacional, según clasificación de los caminos y capa de rodadura - dic 2020

Fuente: Dirección de Vialidad (2021)

La red vial, al estar desplegados de Norte a Sur, están sometidos a una gran variedad de condiciones climáticas (ver Figura 3.3) lo que determina que la red vial se vea expuesta a diversas amenazas que implican inversiones recurrentes para mantener la transitabilidad en la red. Estas amenazas actúan de manera variable sobre la red vial dependiendo de los componentes de la infraestructura y del tipo de amenaza, motivo por el cual es necesario analizar el comportamiento de la infraestructura y estandarizar un procedimiento para la atención de emergencias por efectos hidrometeorológicos.

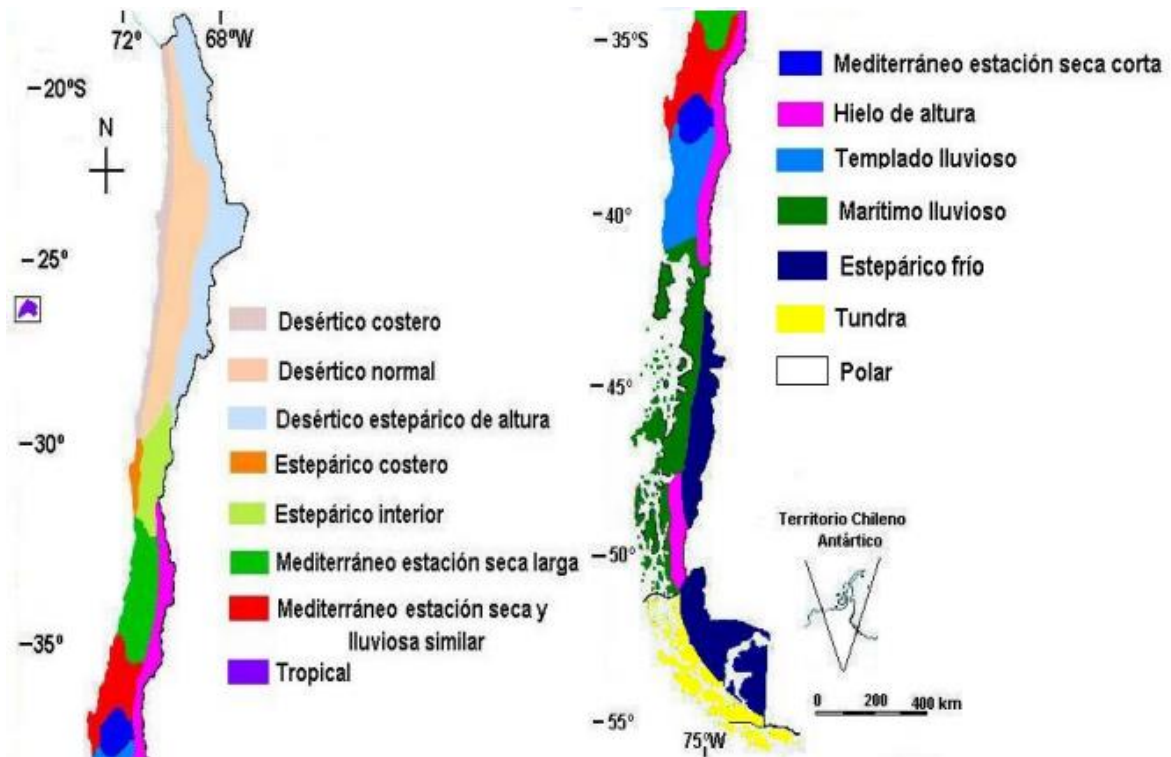


Figura 3.3 Variabilidad climática a lo largo de Chile según clasificación de Köppen

Fuente: Dirección meteorológica de Chile

Un activo de la infraestructura vial es toda obra pública que permite generar la provisión del servicio de conectividad terrestre, ya sea de manera interna en el territorio o con los países de la región, además, señala que la red vial está compuesta por nueve tipos de activos de los cuales el más representativo es el camino propiamente tal, el cual corresponde a las vías de comunicación terrestres destinadas al libre tránsito, cuyo objetivo es el desplazamiento de vehículos dentro del territorio chileno y con los otros países de la región. Además, cada activo está conformado por elementos que se pueden agrupar en lo que se denomina “componentes”, en el caso del camino, este se descompone en tres grupos: calzada, elementos de saneamiento y faja vial, y elementos de seguridad vial (MOP, 2021). La Tabla 3.1 detalla los elementos contenidos en cada componente de un camino.

Tabla 3.1 Clasificación de activos viales para caminos

Componente	Elemento
Calzada	Carpeta de Rodadura
	Berma
	Badén
	Ciclovía
	Guardaganado
Elementos de Saneamiento y Faja Vial	Alcantarilla
	Bajada de Agua
	Contrafoso
	Cuneta Revestida
	Descarga Sub Dren
	Dren
	Embudo de drenaje
	Faja Vial
	Foso
	Solera
	Caseta (Parada de Bus)
	Pasarela
	Gaviones
	Malla Taludes
	Zona de Estacionamiento
	Mirador
Pista de Emergencia	
Plaza de Pesaje	
Plaza de Peaje	

Tabla 3.2 Clasificación de activos viales para caminos (Continuación)

Elementos de Seguridad	Barrera de Contención
	Demarcación Lineal
	Señalización Vertical
	Resalto (Lomo de Toro)
	Iluminación

Fuente: MOP (2021)

De acuerdo con la sección transversal de un camino definida por el MOP (2021) y expuesta en la Figura 3.4, se consideraron el talud de corte y talud de terraplén como activos para el estudio.

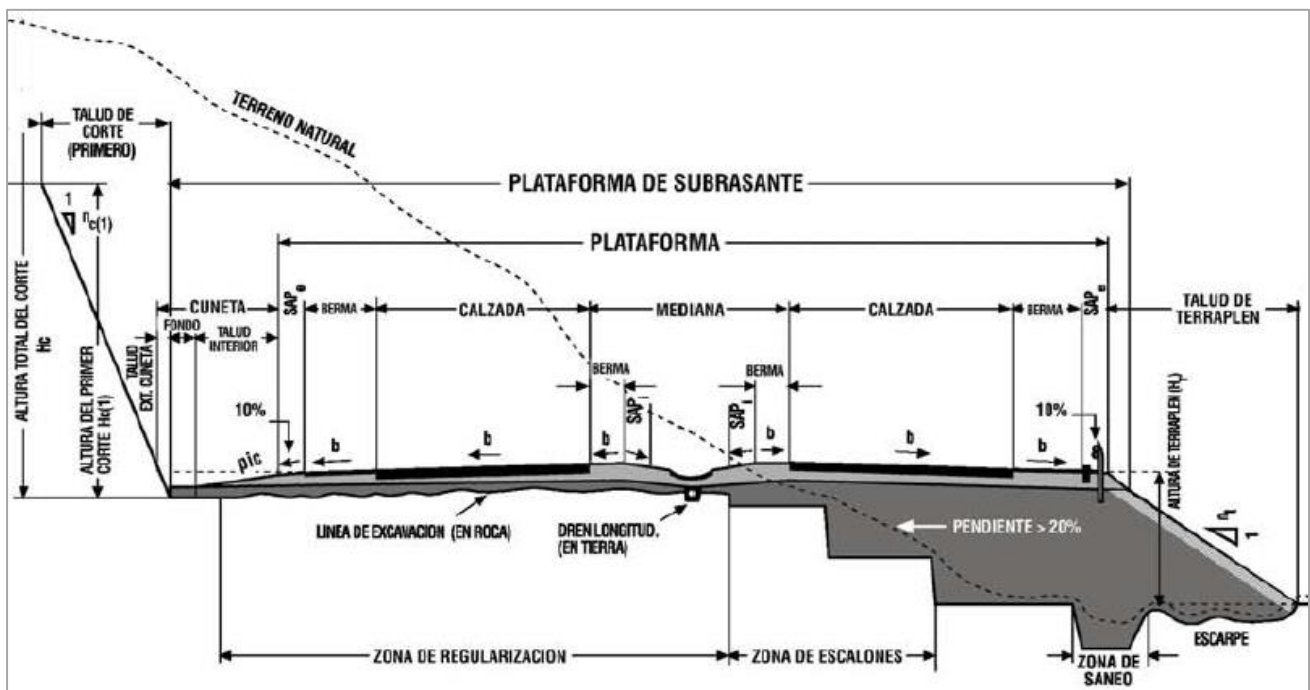


Figura 3.4 Sección transversal de un camino

Fuente: MOP (2021)

- **Talud de Terraplén:** Talud inclinado que abarca desde el borde exterior del acotamiento de un camino hasta la parte inferior del relleno. Esta es la superficie que se forma donde se deposita el material para la construcción del camino.
- **Talud de Corte:** Cara artificial o talud cortado en suelo o roca a lo largo del borde interior de un camino.

3.3 Amenazas hidrometeorológicas que afecta a la red vial

Una amenaza es cualquier fenómeno con efectos potencialmente destructivos para la infraestructura y la población de una región. Las amenazas naturales son el conjunto de fenómenos producidos por la actividad geodinámica y la hidrometeorológica o atmosférica del planeta, afectando su superficie de diversas maneras con eventos destructivos de corta duración. La actividad hidrometeorológica genera inundaciones, deslizamientos de tierra, flujos de lodo, erosión y sedimentación cuyos efectos directos e indirectos son los causantes de destrucción, daños y pérdidas. (Vargas-Monge, 2001).

Un camino afectado por fenómenos naturales genera dos tipos de consecuencias: por un lado, se pueden generar efectos directos sobre los usuarios y activos involucrados y, por otro lado, la interrupción del tráfico y disminución de la capacidad de las vías puede tener efectos: económicos, sociales o efectos relacionados con la seguridad de manera negativa (Tacnet *et al.*, 2012).

La evidencia científica sobre el cambio climático global es inequívoca. Los centros de investigación y universidades se han dado la tarea de estimar las condiciones futuras del clima con base en las nuevas concentraciones de gases de efecto invernadero. Algunas tendencias estimadas para este siglo son: aumento de la temperatura promedio del planeta; incremento del vapor de agua en la atmósfera, lo que conlleva a precipitaciones más severas e impredecibles; y derretimiento de zonas polares (Rodríguez y Puga, 2017).

Los principales eventos meteorológicos asociados al cambio climático global son: huracanes más fuertes, sequías y ondas de calor más prologadas, tornados más intensos, frentes fríos y lluvias constantes, y tormentas de nieve más frecuentes. Los riesgos de estos eventos asociados a la infraestructura vial son descritos en el cuadro de la Tabla 3.2.

Tabla 3.3 Riesgo e impactos climáticos en la infraestructura de transporte

	Tipo	Presión Climática	Riesgos/peligros	Marco de tiempo impacto esperado
Infraestructura de carretera	Carreteras (incluyendo puentes, túneles, etc.)	Calor del verano	Hundimiento y deterioro de pavimento; Derretimiento de asfalto Vida reducida de superficie de carreteras de asfalto (ej: superficie agrietada); Aumento de incendios puede dañar infraestructura; Expansión / torcedura de puentes.	Negativo medio (2025; 2080) a negativo alto (2080)
		Precipitaciones / inundaciones extremas	Daño en la infraestructura (ej: pavimentos, carretera inundada); Inmersión de carreteras; Socavación de las estructuras; Inundación de pasos bajo nivel; Presión en los sistemas de drenaje; Riesgo de derrumbamientos; Inestabilidad de terraplén	Negativo medio (2025) a negativo alto (2080)
	Carreteras (incluyendo puentes, túneles, etc.)	Eventos de tormentas extremas	Daño en infraestructura; Árboles / vegetación al borde del camino puede bloquear caminos	Sin información
		En general:	Reducción de velocidad; Cierre de carretera o riesgos de seguridad en el camino; Alteración de “entrega a tiempo” de bienes; Pérdidas de bienestar; Mayor costo de reparaciones y mantención	
	Carreteras costeras	Aumento del nivel del mar	Daño de infraestructura debido a inundaciones;	Negativo medio (2080)
		Eventos de tormentas extremas	Erosión costera; Cierre de camino	Sin información
		Eventos de fuertes precipitaciones		Negativo medio (2025) a negativo alto (2080)

Tabla 3.4 Riesgo e impactos climáticos en la infraestructura de transporte (Continuación)

Infraestructura de carretera	Carreteras en montañas	Degradación del congelamiento permanente	Disminuye estabilidad; Desprendimientos; Derrumbamientos; Cierre de camino	Sin información
	Sistema de alcantarillado	Eventos de precipitaciones fuertes	Sistema de alcantarillado sobrecargado puede provocar inundación de caminos y contaminación del agua	Negativo medio (2025) a negativo alto (2080)

Fuente: European Commission (2013)

Utilizando la clasificación de EPOCH (1993) a partir de la taxonomía de Varnes (1978) y Hutchinson (1988) para remociones en masa, y en conjunto con la tipología empleada por Echaveguren y Contreras (2016) para las amenazas hidrometeorológicas más recurrentes en Chile, se desarrolló la clasificación de amenazas de la Tabla 3.2.

Tabla 3.5 Clasificación de Amenazas Hidrometeorológicas

Grupo	Subgrupo	Tipos
Remociones en Masa	Deslizamiento de Talud	- De Rocas - De Derrubios - De Suelos - Coladas de Barro
	Deslizamiento de Ladera	- De Rocas - De Derrubios - De Suelos - Coladas de Barro
	Caídas (Desprendimientos o Desplomes)	- De Rocas - De Derrubios - De Suelos
	Volcamientos	- De Rocas - De Derrubios - De Suelos
	Flujos (o Aluviones)	- De Rocas - De Derrubios - De Tierra, Arena o Suelo
	Movimientos Lentos	- Reptación - Soliflucción - Hundimientos o Subsistencia - Propagación o Expansión Lateral
	Movimientos Complejos	- Combinación de 2 o más tipos de movimientos. Ejemplos: Alud de Rocas, Flujo Deslizante, Rotación con Flujo de Rocas

Tabla 3.6 Clasificación de Amenazas Hidrometeorológicas (Continuación)

Inundaciones	- Costeras - Ribereñas
Marejadas	- Costeras
Crecidas Pluviales	- Costeras - Ribereñas
Crecidas Nivopluviales	- Ribereñas
Avalanchas	
Otros	- Caída de Ramas y/o Árboles

Fuente: Clasificación EPOCH (1993), Varnes (1978), Hutchinson (1988), y Echaveguren y Contreras (2016)

3.4 Gestión de emergencias en la Dirección de Vialidad

Una emergencia vial es una situación imprevisible o poco frecuente, de una magnitud tal, que impide o restringe severamente la transitabilidad y/o conectividad de la red vial, cuyas situaciones se originan por fenómenos o riesgos naturales, que corresponden a condiciones meteorológicas extraordinariamente adversas, sismos de gran intensidad, tsunamis, erupciones volcánicas o geomorfológicos, como también a riesgos antrópicos, o cualquier tipo de acción humana que pueda alcanzar niveles de emergencia o desastres, tales como incendios, violencia social o contaminación (MOP, 2021).

En el marco del plan de mejoramiento para la gestión de emergencias, la Dirección de Vialidad implementó en julio del 2015 un método de registro de emergencias denominado como Sistema Informático de Emergencias MOP (SIEMOP). En este instrumento se puede ingresar la información de una emergencia vial a una plataforma digital llenando una serie de campos como la descripción de la emergencia, segmento del camino a atender, operatividad, datos generales, entre otros. Sin embargo, este sistema no considera la medición de los daños causados por el evento (ya sea hidrometeorológico o no) y solicita registrar los niveles de severidad basándose en si se puede transitar o no en el tramo afectado.

El Volumen N°7 del Manual de Carreteras, en la sección 7.206 “Atención de Emergencias”, destaca que la eficiencia del actuar de las organizaciones que afrontan situaciones de emergencia radica en la coordinación propia, el conocimiento de las condiciones y características de la red a atender, y en las condiciones para la recopilación y procesamiento de información, además, establece los criterios básicos comunes para todas las organizaciones como por ejemplo el cuidado y protección de las

personas. En el numeral 7.206.103 se establecen las fases o grados de acción de una emergencia las cuales corresponden a: Período de Alerta, Período de Acción, y Período de Análisis, donde se describe el inicio y final de cada etapa, así como también las acciones a llevar a cabo en cada fase. En su anexo, se describe un catálogo para medición de magnitud y severidad de deterioros superficiales en pavimentos flexibles y rígidos.

3.5 Conclusiones

Los activos de un camino permiten la transitabilidad expedita y segura por la red vial a lo largo del territorio nacional, volviéndose la prioridad ante cualquier afectación de carácter natural o antrópica. En Chile, esta exposición resulta variable en las diferentes zonas del país debido a los diversos climas que posee, por lo que es necesario estandarizar los procedimientos de atención de emergencias de forma particular ante cada amenaza de acuerdo a su origen.

Las amenazas de origen hidrometeorológico adquieren mayor fuerza con los años debido a los impactos del cambio climático, lo que se traduce en mayores daños económicos en infraestructura vial, obligando a las autoridades a realizar mejores gestiones en los recursos destinados para la atención de emergencias en la ruta.

La Dirección de Vialidad cuenta con un sistema de atención para toda clase de emergencias y un instructivo como guía para su llenado. El problema con este sistema es que no consideran la medición de los daños causados por lo que dicha información puede ser entregada o no y su medición se lleva a cabo de manera intuitiva, además, los registros de severidad se definen de acuerdo a la factibilidad de transitar por la vía afectada y no en relación a la magnitud de los daños causados. El Manual de Carreteras, por su parte, ninguno de sus siete capítulos proporciona métodos de cuantificación de daños por eventos hidrometeorológicos, solo cuenta con un catálogo para deterioros superficiales en pavimentos flexibles y rígidos para facilitar los procesos de mantenimiento y conservación de carreteras.

CAPÍTULO 4: MEDICIÓN DE DAÑOS PRODUCIDOS POR LAS AMENAZAS HIDROMETEOROLÓGICAS

4.1 Introducción

Este capítulo está enfocado en desarrollar el contenido del protocolo mediante la definición de los elementos conceptuales como los activos de estudio, las amenazas hidrometeorológicas de interés, los daños definidos. Se definen los procedimientos para la medición de los daños en terreno y gabinete, y los niveles de severidad de acuerdo a los resultados de la medición. Finalmente se concluye sobre las propuestas desarrolladas y la utilidad en la práctica de los procedimientos planteados.

4.2 Elementos Conceptuales

Se trabajó con información disponible de investigaciones académicas, catastros, conferencias, manuales y catálogos, y que guardan relación con los intereses de esta memoria, además, el procesamiento de datos incluyó los registros de emergencias almacenados por el SIEMOP entre los años 2010 al 2020.

La medición de los daños en la red vial resulta importante ya que busca mejorar la gestión de los recursos en la atención de emergencias a través de estimaciones más precisas de los daños que se deben atender. A continuación, se presenta una síntesis de la información que recopila los datos referentes a los activos de interés para el estudio, las amenazas hidrometeorológicas más frecuentes en Chile, los respectivos daños causados, y una matriz que relaciona estos dos últimos aspectos.

4.2.1 Activos

Para agilizar y simplificar el análisis del estudio, se tomaron en cuenta los grupos de activos de la Tabla 4.1, los cuales se consideraron como aquellos con mayor grado de exposición frente a las amenazas hidrometeorológicas y, por ende, los que requieren de un tratamiento de daños con mayor frecuencia debido a su vulnerabilidad frente a los fenómenos hidrometeorológicos.

Tabla 4.1 Grupos de activos seleccionados

Grupo de Activos	Activos
Seguridad	Barrera de Contención
	Demarcaciones (Lineal o Elevadas)
	Señalización Vertical
	Iluminación
Saneamiento y Drenaje	Alcantarilla
	Cuneta Revestida
	Solera
Plataforma	Calzada
	Berma
	Sobreebanco plataforma (SAP)
Taludes	Talud de Corte
	Talud de Terraplén

4.2.2 Amenazas Hidrometeorológicas

Las amenazas hidrometeorológicas de la Tabla 4.2 fueron extraídas de la clasificación de la Tabla 3.2 del capítulo anterior, las cuales fueron escogidas debido a su alta frecuencia de acuerdo a los registros históricos de emergencias naturales del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN) (2015) y SIEMOP.

Tabla 4.2 Grupo de amenazas hidrometeorológicas seleccionadas

Grupo de Amenaza	Amenaza	Descripción
Remociones en Masa	Deslizamiento de Talud	Es un desplazamiento ladera abajo de una masa de suelo o roca, que tiene lugar predominantemente sobre una o más superficies de rotura, o zonas relativamente delgadas con intensa deformación de cizalla. Elementos característicos de este tipo de movimiento son la presencia de superficies de rotura definidas y la preservación a grandes rasgos de la forma de la masa desplazada.
	Deslizamiento de Ladera	
	Caída (Desprendimiento o Desplome)	El desprendimiento se origina por el despegue de una masa de suelo o roca de una pared empinada o acantilado. El movimiento tiene lugar mediante caída libre y posterior rebote o rodadura. Es frecuente que, al impactar contra la superficie del terreno, la masa caída se rompa en multitud de fragmentos. El movimiento es muy rápido.

Tabla 4.3 Grupo de amenazas hidrometeorológicas seleccionadas (Continuación)

Remociones en masa	Volcamientos	Es la rotación hacia delante y hacia el exterior de la ladera, de una masa de suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad.
	Flujos (o Aluviones)	Son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla tienen corta vida, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso. Por este motivo, la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo, formas lobuladas cuando interesan a materiales cohesivos y desparramándose por la ladera o formando conos de deyección cuando afectan a materiales granulares.
Masas de agua	Inundaciones Pluviales	Es el encharcamiento a causa de altas precipitaciones y un mal drenaje por suelos poco permeables. Estas áreas se caracterizan por no tener canales naturales de desagüe, dependiendo solo de la evapotranspiración y/o infiltración para su secado.
	Crecidas Pluviales	Es la elevación del flujo medio de agua y posterior desbordamiento producto de precipitaciones copiosas en ríos, canales, arroyos, etc. debido a que la capacidad de conducción o almacenamiento es inferior a la cantidad de agua que discurre o almacena.
Otros	Caída de Ramas/Árboles	Desprendimiento desde el suelo o corte por naturaleza (y posterior desplome sobre la plataforma) de árboles o de sus ramas sobre caminos y que obstaculizan la circulación de vehículos por la vía.

Fuente: Corominas Y García (1997), y Lage y Bejarano (1997)

4.2.3 Daños

Se han definido y codificado los daños propuestos en la Tabla 3.3 del capítulo anterior. La codificación realizada tiene por objetivo simplificar y facilitar el registro de la información en la inspección en terreno.

Tabla 4.4 Daños de amenazas hidrometeorológicas en los activos considerados en el estudio

Grupo de Activos	Daño	Concepto	Código
Seguridad	Pérdida de elementos de seguridad	Corresponde a la destrucción o caída de las señalizaciones verticales, elementos de iluminación y barreras de contención, además de la remoción de la demarcación en la plataforma.	PSEG
Saneamiento y Drenaje	Colmatación en elementos de saneamiento y drenaje	Corresponde al relleno por sedimentación de materiales transportados por flujos de agua en alcantarillas y cunetas revestidas.	COLM
	Remoción de solera	Corresponde al desprendimiento y/o ruptura de las soleras de la plataforma.	REMO
Plataforma	Agrietamiento en la plataforma	Corresponde a una serie de fisuras y grietas interconectadas entre sí en una o más áreas de la plataforma (berma, SAP y/o calzada) debido a impactos por caídas sobre la misma.	AGRIE
	Destrucción de la plataforma	Corresponde a la pérdida de un tramo de la plataforma (berma, SAP y/o calzada) en sus distintas capas estructurales, que puede ir desde solo la capa superficial pavimentada, hasta una combinación de una o más de sus capas granulares.	DESTR
	Obstrucción por material caído sobre la plataforma	Corresponde a la acumulación de material caído sobre la plataforma e impide la circulación de los vehículos	OBSTR
	Pérdida de uniformidad de la plataforma	Corresponde a la disminución de la homogeneidad de la plataforma debido a la acumulación de capas de material viscoso o flujos de agua sobre esta y que obliga a los conductores circular sobre la vía a una velocidad reducida.	PUNIF
	Abrasión de la plataforma	Corresponde al desgaste por fricción en una o más áreas de la plataforma debido al arrastre de partículas sólidas sobre esta.	ABRA
Talud	Erosión paralela en terraplén	Corresponde a la remoción de material del talud de terraplén debido al roce de partículas sólidas arrastradas por flujos de agua que escurren de forma paralela al borde del camino.	EROS
	Socavación en terraplén	Corresponde a la excavación de material en el talud de terraplén producto de la acción erosiva de flujos de agua alrededor del talud.	SOCAV
	Pérdida de porción de talud	Corresponde a una masa de material de talud que se despega y desciende ladera abajo.	PTAL

4.2.4 Cruce de información

Para exponer de forma clara la relación de las amenazas hidrometeorológicas con los daños causados a los activos de la red vial, se ha elaborado la matriz de la Tabla 4.4 para ilustrar de forma práctica la relación entre ambos aspectos.

Tabla 4.5 Cruce de información: Amenaza vs Daño

		Amenazas								
		Deslizamiento de Talud	Deslizamiento de Ladera	Caída (Desprendimiento o Desplome)	Volcamientos	Flujos (o Aluviones)	Inundaciones	Crecidas Pluviales	Caída de Ramas/Árboles	
Daños	Estructurales	Agrietamiento plataforma	x	x	x	x				x
		Destrucción plataforma		x			x	x	x	
		Pérdida elementos de seguridad	x	x	x	x	x	x	x	
		Socavación terraplén					x	x	x	
		Pérdida porción talud	x			x	x			
	Remoción solera	x	x	x	x					
	Funcionales	Obstrucción plataforma	x	x	x	x	x			x
		Colmatación saneamiento y drenaje	x	x			x	x	x	
		Pérdida de uniformidad plataforma					x	x	x	
		Erosión terraplén					x	x	x	
Abrasión plataforma		x	x	x						

4.3 Medición de daños

La Tabla 4.5 describe las unidades de medida establecidas para cada daño según el activo.

Tabla 4.6 Métrica establecida para los daños según el activo

Grupo de Activos	Daños	Unidad de Medida
Seguridad	<i>Pérdida de elementos de seguridad</i>	
	- Señalización vertical	[N°] de señalizaciones caídas
	- Barreras de contención	[ml] de barrera de contención dañados
	- Elementos de iluminación	[N°] de elementos de iluminación caídos
	- Demarcación Lineal	[ml] de demarcaciones removidas
	- Demarcación Elevada	[N°] de demarcaciones removidas
Saneamiento y Drenaje	<i>Colmatación en elementos de saneamiento y drenaje</i>	
	- Alcantarilla	[N°] de alcantarillas colmatadas
	- Cuneta	[ml] de cuneta colmatada
	Remoción de solera	[ml] de solera removida
Plataforma	Agrietamiento de la plataforma	[m2] de plataforma con grietas
	Destrucción de la plataforma	[m3] de plataforma destruida
	Obstrucción por material caído en la plataforma	[m3] de material caído sobre la plataforma
	Pérdida de uniformidad de la plataforma	[m2] de material sobre la plataforma que reduce la velocidad de circulación
	Abrasión de la plataforma	[m2] de plataforma erosionado
Taludes	Erosión paralela en terraplén	[m2] de terraplén erosionado
	Socavación en terraplén	[m2] de terraplén socavado
	Pérdida de porción de talud	[m3] de talud caído

4.4 Procedimientos de medición de daños

La medición de daños se estableció considerando dos procedimientos que pueden usarse en conjunto o individualmente, esto lo define el inspector a cargo considerando lo que le resulte más fácil y de menor riesgo en el momento. El primer procedimiento se basa en una cuantificación de daños en terreno empleando un *software* de celular que permita realizar mediciones a través de la cámara. El segundo procedimiento se basa en una cuantificación estimada mediante la recopilación de imágenes georreferenciadas en terreno y procesadas en gabinete con un *software* con mapa satelital y otro *software* con herramientas para la medición de imágenes.

4.4.1 Magnitud estimada en terreno

Para cuantificar la magnitud de los daños en terreno, se utiliza una aplicación de smartphone o Tablet con la capacidad de, a través de la cámara, estimar la longitud, superficie o volumen de un cuerpo o área determinada, entregando los resultados en el mismo programa. Algunas de las aplicaciones que cumplen estos requisitos se muestran en la Tabla 4.6.

Tabla 4.7 Aplicaciones de medición para smartphone o Tablet

Nombre Aplicación	Sistema Operativo Compatible	Versión Gratuita / De Pago
AR Ruler app	Android	Si (pero como período de prueba) / Si
Telémetro – Smart Measure	Android	Si (pero con menos herramientas) / Si
Medir y Alinear – 3D Plomada	Android	Si (pero con menos herramientas) / Si
ARPlan 3D	Android	Si (pero como período de prueba) / Si
CamToPlan	Android, iOS	Si (pero solo en Android con menos herramientas) / Si
Medición	iOS	Si (incorporada en algunos dispositivos iOS) / No
Medir 3D Pro	iOS	No / Si
AirMeasure	iOS	No / Si

El procedimiento en terreno inicia con la identificación de los daños, reconociendo visualmente aquellos activos dañados por la amenaza hidrometeorológica y almacenando fotografías georreferenciadas con un dispositivo con cámara (smartphone, Tablet, cámara fotográfica, dron, entre otros). Estas imágenes deben cumplir con los requisitos técnicos establecidos en la sección 4.1 del protocolo. Los datos obtenidos son apuntados en el bloque 4 de la ficha de registro de información del Anexo 1.2.

La medición de daños se realiza con una de las aplicaciones de la Tabla 4.6 de la siguiente manera:

- Seleccionar el tipo de medición: longitud, superficie o volumen.
- Seleccionar la unidad de medida: cm, m², mm³, etc.
- Seleccionar la forma del trazado: libre, polígono regular o irregular.
- Enfocar el punto de la pantalla en el punto inicial de donde se quiere medir y hacer clic en el capturador para iniciar.

- Mover la cámara hasta otro punto para que se dibuje una línea virtual y hacer clic nuevamente, repetir este paso hasta obtener la figura deseada.
- Para finalizar, hacer clic en “Terminar” o “Listo” según sea el caso para generar los resultados.

No todas las aplicaciones operan de la misma manera y en el orden descrito así que es importante considerar un aprendizaje de forma autónoma por parte del personal. Todos los cálculos obtenidos por la aplicación se copian en el bloque 4 de la ficha de registro de información del Anexo 1.2.

4.4.2 Magnitud estimada en gabinete

Para cuantificar la magnitud de los daños en gabinete, se necesita de un software de computadora con la capacidad de instalar, en la pantalla del ordenador, una regla superpuesta sobre las imágenes para medir longitud en una escala definida. Algunos softwares que cumplen estos requisitos se muestran en la Tabla 4.7.

Tabla 4.8 Softwares de medición para computadores

Nombre Software	Sistema Operativo Compatible
ImagenJ	Windows, OS, Linux
Pixel Ruler	Windows
Meazure	Windows
Screen Ruler	Windows
Medida IC	Windows
CMEIAS ImageTool	Windows
JMicroVision	Windows, OS, Linux
Visor ER	Windows

El procedimiento en terreno inicia con la identificación de los daños, reconociendo visualmente aquellos activos dañados por la amenaza hidrometeorológica y almacenando fotografías georreferenciadas con un dispositivo con cámara (smartphone, Tablet, cámara fotográfica, dron, entre otros). Estas imágenes deben cumplir con los requisitos técnicos establecidos en la sección 4.2 del protocolo. Los datos obtenidos son apuntados en el bloque 4 de la ficha de registro de información del Anexo 1.2.

La medición de los daños se realiza de la siguiente manera:

En terreno:

- Para medir superficies, se toman cuatro fotografías georreferenciadas (como mínimo) del daño posicionándose en distintos puntos para enfocar distintas perspectivas en cada imagen, de manera de rodear el daño con las fotografías (ver ejemplo en la Figura 4.1).
- Para medir volúmenes, adicional a lo anterior, si la altura del daño es inferior a dos metros apróx., esta se mide con una huincha, si es superior, se toma una fotografía del activo, enfocando en una sola imagen toda la altura del daño y el ancho de la plataforma.



Figura 4.1 Ejemplo de un deslizamiento de tierra en la Carretera Nacional 319 en Chongqing, China, el 28 de noviembre del 2019

Los puntos rojos indican la posición del personal que está tomando la fotografía y las líneas rojas que brotan de cada punto indican hacia donde se está enfocando la cámara (ángulo menor entre cada par de líneas).

En gabinete:

- De las cuatro o más fotografías georreferenciadas tomadas, se extraen las coordenadas de cada una y se copian a un software de mapas para encontrar la ubicación geográfica de cada punto.
- En el mismo software, se puede trazar una línea que conecte y mida cada distancia entre puntos, obteniendo largo y ancho del daño en el activo y, por ende, la superficie del mismo.

- Para calcular el volumen, para alturas menores a los dos metros se hacen los cálculos geométricos correspondientes, para alturas superiores, se procede con el siguiente paso.
- Para conocer la altura del daño, se debe conocer el ancho real de la plataforma, esto se puede hacer midiendo directamente en terreno o revisando los planos o un mapa satelital del camino correspondiente en gabinete.
- Con la imagen de la altura del daño y el ancho de la plataforma, usando uno de los programas de la Tabla 4.7 se miden ambas longitudes usando la escala y unidad de medida definida por el programa.
- Conociendo estos datos, se puede calcular la altura real del daño usando la Ecuación 4.1:

$$\text{Altura real [m]} = \frac{\text{Altura programa [unidad de longitud A]} \times \text{Ancho real [m]}}{\text{Ancho programa [unidad de longitud A]}} \quad (4.1)$$

- Si existe más de una altura sobre dos metros que se desea medir, se repiten los dos últimos pasos mencionados.
- Conociendo esta(s) altura(s), se procede con los cálculos geométricos correspondientes a la forma del daño.

Es importante considerar un aprendizaje de forma autónoma por parte del personal en relación al uso del software. Todos los cálculos obtenidos se copian en el bloque 4 de la ficha de registro de información del Anexo 1.2.

4.4.3 Niveles de Severidad

Los niveles de severidad determinados aplican para ambos tipos de procedimientos de medición desarrollados, y el criterio usado para definir los valores de margen de cada nivel se estableció según el daño y activo involucrado. A continuación, se presentan los niveles de severidad en la Tabla 4.8.

Tabla 4.9 Niveles de severidad establecidos para cada daño y activo involucrado

Daños	Severidad		
	Baja	Moderada	Extensa
<i>Pérdida de elementos de seguridad</i>			
- Señalización vertical	A lo más 2	De 3 a 5	Más de 5
- Barreras de contención	Menos de 50 [m]	De 50 a 100 [m]	Más de 100 [m]
- Elementos de iluminación	A lo más 2	De 3 a 5	Más de 5
- Demarcación Lineal	Menos de 50 [m]	De 50 a 100 [m]	Más de 100 [m]
- Demarcación Elevada	A lo más 10	De 11 a 20	Más de 20
<i>Colmatación en elementos de saneamiento y drenaje</i>			
- Alcantarilla	A lo más 1	De 2 a 4	Más de 4
- Cuneta	Menos de 50 [m]	De 50 a 100 [m]	Más de 100 [m]
Remoción de solera	Menos de 50 [m]	De 50 a 100 [m]	Más de 100 [m]
Agrietamiento de la plataforma	Cubre hasta 25 % de la plataforma	Cubre hasta 50 % de la plataforma	Cubre más de 50 % de la plataforma
Destrucción de la plataforma	Cubre hasta 25 % de la plataforma	Cubre hasta 50 % de la plataforma	Cubre más de 50 % de la plataforma
Obstrucción por material caído en la plataforma	Cubre hasta 25 % de la plataforma	Cubre hasta 50 % de la plataforma	Cubre más de 50 % de la plataforma
Pérdida de uniformidad de la plataforma	Si el vehículo puede circular a 30 [km/h] o más	Si el vehículo puede circular a menos de 30 [km/h]	Si el vehículo no puede circular
Abrasión de la plataforma	Cubre hasta 25 % de la plataforma	Cubre hasta 50 % de la plataforma	Cubre más de 50 % de la plataforma
Erosión paralela en terraplén	Cubre hasta 25 % de la plataforma	Cubre hasta 50 % de la plataforma	Cubre más de 50 % de la plataforma
Socavación en terraplén	Cubre hasta 25 % de la plataforma	Cubre hasta 50 % de la plataforma	Cubre más de 50 % de la plataforma
Pérdida de porción de talud	Menos de 20 [m3]	De 20 a 40 [m3]	Más de 40 [m3]

Los criterios usados para establecer los valores de cada nivel según el daño y activo involucrado fueron los siguientes:

- Para aquellos que se miden por unidad como la señalización vertical, iluminación, alcantarillas y demarcación elevada, como valor referencial se consideró el número (no combinado entre activos) a encontrar de estos elementos en un tramo de 100 m de un camino. Por tanto, para una severidad baja, se consideró la afectación de elementos en la mitad del tramo (hasta 50 m); para una severidad moderada se consideró la afectación de

elementos en todo el tramo (hasta 100 m); y para una severidad extensa se consideró la afectación de elementos en un tramo más largo (más de 100 m).

- Para aquellos que se miden por metro lineal como la barrera de contención, la demarcación línea, la cuneta y la solera, como valor referencial se consideró la longitud de un tramo de 100 m de un camino. Por tanto, para una severidad baja, se consideró la afectación de la mitad de la longitud del tramo (hasta 50 m); para una severidad moderada se consideró la afectación de toda la longitud del tramo (hasta 100 m); y para una severidad extensa se consideró la afectación de una longitud mayor a la del tramo (más de 100 m).
- Para la pérdida de uniformidad en la plataforma, se consideró definir una velocidad de tránsito como referencia de tal forma que, si a pesar de las circunstancias el vehículo es capaz de superar dicha velocidad, la severidad del daño se considera como baja, si el vehículo presenta problema para alcanzar dicha velocidad, pero aún puede circular por la plataforma, se considera de severidad moderada, y si el vehículo no es capaz de moverse por sus propios medios, se considera de severidad extensa.
- Para la pérdida de una porción del talud, se consideró el número de camiones tolva de 10 m³ de capacidad para la remoción del material caído. Por tanto, si son necesarios dos camiones para remover el material, se considera de severidad baja, si son necesarios hasta cuatro camiones, se considera de severidad moderada, y si son necesarios más de cuatro camiones, se considera de severidad extensa.
- En cuanto al resto de daños que se relacionan directamente con la plataforma, se consideró la longitud transversal del daño que afecta a esta, por lo que, si el daño abarca hasta un 25 % de la plataforma (es decir, la mitad de una de las pistas) se considera de severidad baja, si el daño cubre un 50 % de la plataforma (es decir, una pista completa) se considera de severidad moderada, y si el daño llega a superar el 50 % de la plataforma (es decir, que afecta a más de una pista) se considera de severidad extensa.

4.5 Conclusiones

De este capítulo, se puede mencionar que la importancia de la medición de los daños radica en que se busca mejorar la gestión de los recursos destinados a la atención de emergencias a través de estimaciones más precisas de la magnitud de los daños que se deben atender.

Del proceso de medición de daños propuesto, se puede deducir que ambos procedimientos comparten agrupaciones en común en sus tareas, las cuales son: reconocimiento de los daños, medición a través de una App o *Software*, registro e interpretación de los niveles de severidad de cada daño.

La medición de daños resulta útil a la hora de elaborar indicadores relacionados ya que el uso de datos estimados es más preciso y permite hacer interpretaciones más confiables de dichos indicadores. Un problema que afecta en la medición de daños en la red vial puede ser el factor humano, ya que depende de la manipulación de las herramientas por parte de los inspectores así como su conocimiento para realizar una correcta interpretación y estimación de la magnitud lo cual puede afectar en la variabilidad de los resultados, no obstante, con los rápidos avances tecnológicos es posible que a mediano o largo plazo este factor disminuya considerablemente a través del uso de Aeronaves no Tripuladas capaces de medir en tiempo real o con solo una imagen los daños en un camino.

CAPÍTULO 5: PROTOCOLO DE INSPECCIÓN VISUAL PARA CAMINOS

5.1 Introducción

Este capítulo explica de forma clara y resumida las características que componen el protocolo de inspección visual propuesto para la medición de daños post amenaza hidrometeorológicas en caminos, así como también los preparativos considerados y la metodología de aplicación para llevar a cabo en terreno, además, se describen los elementos principales que conforman el informe final y una breve conclusión de los resultados obtenidos.

5.2 Descripción general

El documento denominado “Protocolo para medición de daños en caminos producto de amenazas hidrometeorológicas” (ver Anexo 1.3) es un instrumento que tiene por objetivo establecer los procedimientos necesarios para la cuantificación de los daños en caminos producto de amenazas hidrometeorológicas bajo un enfoque que permita disminuir el riesgo de accidentes con el resguardo de la seguridad de los empleadores que asistan a inspeccionar el terreno, y que permita además optimizar los tiempos de captura y entrega de información a las autoridades correspondientes para agilizar la gestión vial referente a la conservación de la red.

El protocolo está estructurado en seis capítulos:

1. Antecedentes Generales: Define los objetivos, alcances, glosario, difusión, y medidas de control de seguridad y prevención de riesgos.
2. Detección de la Emergencia: Establece las instrucciones para la identificación y localización de la amenaza hidrometeorológica, un catálogo con los posibles daños, y los preparativos y equipamiento requerido para la inspección.
3. Inspección Preliminar en Terreno: Establece las instrucciones para analizar el estado general de la situación y el cierre del área afectada.
4. Proceso de Medición de Daños: Define los procedimientos de medición de daños en terreno y gabinete.

5. Elaboración de Informe Resumen: Define la forma en que se procesa y entrega la información obtenida al SIEMOP.
6. Ejemplo de Aplicación: Se ilustra un caso como ejemplo para comprender claramente la forma en que se utiliza la ficha de registro y el protocolo.

5.3 Disposiciones previas

El protocolo contempla instrucciones específicas a ejecutar de forma previa a la inspección, con el propósito de guiar de forma metódica los procedimientos a seguir y dar seguridad en lo que se realiza durante el caos generado por el llamado de una emergencia. Estas instrucciones se desarrollan en tres aspectos:

- Localización e identificación de la amenaza
- Catálogo de daños potenciales
- Preparativos y Equipamientos

El primer aspecto es el activador de este protocolo y describe las instrucciones a seguir con la información entregada de la emergencia, además, contiene un cuadro informativo de las características de las amenazas de origen hidrometeorológico a tratar.

El catálogo corresponde a una serie de cuadros sintetizados con información referente a los daños producidos por las amenazas, estos contienen descripciones de los daños, codificaciones empleadas, métricas establecidas, niveles de severidad, y una matriz que esquematiza los posibles daños que puede generar cada amenaza.

Por otra parte, los preparativos y equipamientos necesarios son considerados para la asistencia a terreno con la finalidad de evitar improvisaciones en el actuar de los trabajadores durante la inspección, y así, poder desarrollar las instrucciones establecidas sin dificultades inesperadas.

5.4 Aplicación del instrumento

La aplicación de este protocolo se ejecuta mediante el registro de información presentes en la Ficha de registro de daños (ver Anexo 1.2) elaborada como archivo Excel para la inspección. Dependiendo del procedimiento escogido, estos son completamente registrados en terreno o en gabinete. Los campos de ingreso de información son los siguientes:

- Nombre del inspector
- Nombre del camino
- Rol del camino
- Región, Provincia y Comuna
- Fecha de inspección
- Coordenadas georreferenciales
- Kilómetro medio
- Evento Hidrometeorológico
- Pistas inspeccionadas
- N° total de pistas
- Orientación de la vía
- Tipo de carpeta de la vía
- Breve descripción del evento
- Daños
- Activos
- Severidad
- Cantidad
- Fotos
- Observaciones

Esta ficha agrupa los campos de información en bloques con la finalidad de establecer un orden según el tipo de información a ingresar, de esta forma, se referencia de mejor forma en la explicación del protocolo.

La ficha contiene varios campos de información que se completan mediante la selección de una lista desplegable en cada una de las casillas. Esta información de selección está contenida en una hoja como base de datos del mismo archivo y permite complementar la información ingresada para futuras investigaciones, por otro lado, agiliza el ingreso de información de aspectos menores pero que son necesarios para el registro y caracterización de la amenaza ocurrida.

Esta ficha se guarda como Libro de Excel Habilitado para macros (extensión .xlsm) con el siguiente formato de nombre: Rol del camino-fecha formato “AAMMDD”-número correlativo de 3 dígitos.

5.5 Informe resumen

La elaboración de este informe tiene por objetivo entregar de forma resumida al departamento encargado de emergencias del SIEMOP toda la información referente a los daños medidos en la inspección. Esta información debe ser extraída de los campos de información ingresados en la ficha de registro de daños.

Su contenido se estructura de la siguiente manera:

- Resumen de la amenaza
- Información de campo
- Información numérica
- Observaciones
- Firma del Inspector a cargo de la inspección
- Anexo con la ficha(s) de registro de daños usada(s) en la inspección
- Anexo con todas las fotografías de registro tomadas en la inspección

El informe se emite en formato PDF y almacenado bajo un formato de nombre descrito en el protocolo para, posteriormente, ser enviado al departamento correspondiente del SIEMOP.

El formato del nombre a seguir es: Rol del camino-fecha formato “AAMMDD”-número correlativo de 3 dígitos.

5.6 Conclusiones

El protocolo permitirá intervenir de forma eficiente en el activo dañado mediante instrucciones precisas considerando las condiciones físicas y ambientales generadas por el llamado de la amenaza hidrometeorológica, a su vez, se evidencia la importancia de la versatilidad en el procedimiento de medición desarrollado debido a los métodos de estimación propuestos, y la funcionalidad en la ficha de registro para la inspección producto de las técnicas elaboradas para agilizar el ingreso de la información en los campos preparados. Por otro lado, el informe, al ser un documento sintetizado, permitirá notificar adecuadamente las características de la emergencia y ayudar a percibir rápidamente la magnitud de lo sucedido para gestionar las acciones y recursos correspondientes.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

El propósito de esta memoria fue elaborar un procedimiento de inspección visual para medir los daños en caminos producto de amenazas hidrometeorológicas, permitiendo obtener estimaciones fidedignas y caracterizadas de los daños producidos en la red vial debido a la ocurrencia de esta clase de eventos, y así, notificar a los departamentos de emergencias correspondientes del SIEMOP con el objetivo de optimizar la gestión de recursos empleados en la reparación de las vías. Para esto, se ha confeccionado el Protocolo de Medición de Daños en Caminos producto de Eventos Hidrometeorológicos que contiene una descripción de las amenazas y los daños producidos para una selección de activos fundamentales en la infraestructura vial administrada por la Dirección de Vialidad.

La Ficha de Registro (ver Anexo 1.2) elaborada para la inspección de daños en los activos cumple un rol eficiente en el levantamiento de información, que combina la agilidad en el método de ingreso de los datos con la gran cantidad de información que es posible registrar, permitiendo caracterizar de forma muy completa el reporte emitido por la amenaza hidrometeorológica.

Los procedimientos de inspección visual post evento desarrollados permiten entregar un proceso de medición adaptable a los escenarios presentes en la zona y capacitado para identificar en terreno la condición física y funcional de los activos a través de los niveles de severidad definidos, información que ayuda a determinar las posibles intervenciones a realizar en el camino posterior a la actuar de la amenaza.

La ejecución de la inspección en terreno para las metodologías propuestas no requiere de una compleja capacitación de los inspectores ni de elevados costos de aplicación en terreno, pudiendo ser utilizada como herramienta en otros planes de evaluación del estado de activos en la vía.

Esta investigación contribuye positivamente en la atención de emergencias naturales a nivel nacional, ya que, fue desarrollada considerando los avances más recientes de la tecnología con el fin de facilitar la capacitación de los inspectores responsables de la ejecución en terreno, además, permitirá estimar de forma eficiente las magnitudes y severidades de los daños con el resguardo de

la seguridad de los trabajadores, minimizando la exposición y los tiempos durante los cuales está en terreno, y optimizando los métodos de identificación y registro en el campo.

Algunas limitaciones y simplificaciones para el desarrollo de esta memoria fueron no considerar todas las amenazas hidrometeorológicas, no considerar todos los activos de un camino y, por ende, no definir todos los posibles daños causados en la red vial. Se espera que futuras líneas de investigación puedan resolver estas limitaciones y simplificaciones usando como base lo desarrollado en esta memoria, para así elaborar un protocolo con más contenido y que sirva de base para protocolos de otros tipos de eventos naturales.

REFERENCIAS

- Alcantara Ayala, I. (2000). Investigaciones geográficas, Boletín 41. In *Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología*.
- American Association of State Highway and Transportation [AASHTO]. (2007). *Highway Drainage Guidelines*. American Association of State Highway and Transportation Officials. United States.
- Arriagada, H. E. (2015). *Método de Inspección Visual de Activos de Saneamiento y Drenaje de Carreteras*. Concepción, Chile.
- Chamorro, A., de Solminihaç, H., Echaveguren, T., Baratta, F., y Dagá, J. (2015). Investigación y Desarrollo de Modelos para cuantificar y Mitigar el Riesgo de Eventos Naturales en la Red Vial Nacional. In *Documento Técnico TM-02-2015, Caracterización de la red vial nacional, usuarios y eventos naturales más recurrentes*. Santiago de Chile.
- Chávez, C. (2013). *Criterios para la evaluación de vulnerabilidad de terraplenes de carreteras ante amenazas hidrometeorológicas en planicies aluviales*. Costa Rica.
- Corominas, J., y De Caminos, I. (2004). Tipos de Roturas en Laderas y Taludes. In *Ingeniería del Terreno Ingeoter4*. Ed: López Jimeno (pp. 191-213). Universidad Politécnica de Madrid.
- Corominas, J., y García Yagüe, A. (1997). *Terminología de los movimientos de ladera*. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3: 1051-1072.
- de Solminihaç, H. (2018). *Gestión de Infraestructura Vial*.
- Echaveguren, T. (2015). Investigación y Desarrollo de Modelos para Cuantificar y Mitigar el Riesgo de Eventos Naturales en la Red Vial Nacional. In *Documento Técnico TM-05-2015, Cronología de amenazas naturales ocurridas en Chile: sismos, tsunami, vulcanismo y remociones en masa*. Santiago de Chile.

- Echaveguren, T., y Contreras, M. (2016). Investigación y Desarrollo de Modelos para Cuantificar y Mitigar el Riesgo de Eventos Naturales en la Red Vial Nacional. In *Documento Técnico TM-09-2016, Revisión del Estado del Arte y de la Práctica: Amenaza Hidro-meteorológica*. Santiago de Chile.
- Echaveguren, T., Vargas, S., Concha, E., y Soto, A. (2002). 6° Congreso Internacional ProVial. *Metodología de Inspección Visual para Sistemas de Gestión de Pavimentos Urbanos SIGMAP*. Chile.
- EPOCH (European Community Programme). (1993). *Temporal occurrence and forecasting of landslides In the European Community, Flageollet, J. C. (ed.), 3 volumes, Contract no 90 0025*.
- European Comission. (2013). *Green paper: adapting to climate change in Europe-options for EU action*.
- Federal Highway Administration [FFWA] . (2000). *Variability of Pavement Distress Data From Manual Surveys*. Estados Unidos.
- Hartle, R. A. (2002). *Bridge Inspector's Reference Manual: Volume 1 and Volume 2 (No. DTFH61-97-D-00025)*. Estados Unidos.
- Highways Maintenance Efficiency Programme [HMEP]. (2012). *Guidance on the Management of Highway Drainage Assets. Highways Maintenance Efficiency Programme. Departament for Transport*. Reino Unido.
- Hutchinson, J. (1988). *Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology*". In Ch. Bonnard (Ed.): *Landslides. Proceedings 5th International Conference on Landslides. Lausanne. Vol. 1: 3-35*.
- Instituto Nacional de Vías [INVIAS]. (2006). *Manual para la Inspección Visual de Estructuras de Drenaje*. Instituto Nacional de Vías. Colombia.

- Khanzada, K. M. (2013). *State of bridge management in Canada*.
- Lage, A. F., y Bejarano, M. S. (1997). *Génesis y manifestaciones de las inundaciones en Colombia. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 6(1), 60-110.
- Ministerio de Obras Públicas [MOP]. (2014). *Política de Conservación Vial Etapa 3 - Caminos No Pavimentados*. Chile.
- Ministerio de Obras Públicas [MOP]. (2016). *Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados a Nivel de Red. Dirección de Vialidad*. Chile.
- Ministerio de Obras Públicas [MOP]. (2021). Manual de Carreteras. In *Volumen N°3, Instrucciones y Criterios de Diseño* (p. 258). Chile.
- Ministerio de Obras Públicas [MOP]. (2021). Manual de Carreteras. In *Volumen N°6, Seguridad Vial*. Chile.
- Ministerio de Obras Públicas [MOP]. (2021). Manual de Carreteras. In *Volumen N°7, Mantenimiento Vial* (pp. 54-55). Chile.
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2018, Septiembre 21). Leyes, Reglamentos, Decretos y Resoluciones de Orden General. *Normas Generales*, p. 2 a 9.
- Morán, E. C. (2021). *Inspección y rehabilitación de puentes atirantados en la red de carreteras del Estado*. Hormigón y Acero, 72(294/295), 163-175.
- Nieto Billik, N. A. (2020). *Desarrollo de Modelos de Fragilidad para Terraplenes de Caminos Expuestos a Flujos de Detritos*. Santiago de Chile.
- Rodríguez, M., y Puga, A. (2017). *Comunicación de riesgo, cambio climático y crisis ambientales*. *Chasqui: Revista Latinoamericana de Comunicación*, (136), 179-194.

- Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile [SERNAGEOMIN]. (2015). *Primer Catastro Nacional de Desastres Naturales. Servicio Nacional de Geología y Minería. Chile.*
- SÖDERQVIST, M. K. (1999). *Analysis of BMS reference bridges in Finland. In 8th International Bridge Management Conference, Denver, Estados Unidos da América (pp. 1-9).*
- Strategic Highway Research Program [SHRP]. (1993). *Distress Identification Manual for the Long Term Pavement Performance Project. SHRP – P – 338. Strategic Highway Research Program. Estados Unidos.*
- Tacnet, J.-M., Mermet, E., y Maneerat, S. (2012). *Analysis of importance of road networks exposed to natural hazards. Proceedings of the AGILE 2012 International Conference on Geographic Information Science, (February 2017), 24–27.*
- Thompson, P. S. (1998). *The Pontis Bridge Management System. United States: Structural Engineering International. 4/98, 303 - 308.*
- Vargas Cuervo, G. (2000). *Criterios para la clasificación y descripción de movimientos en masa. In Boletín de Geología (p. Vol. 22 No 37).*
- Vargas-Monge, W. (2001). *Perfiles de vulnerabilidad de la infraestructura vial ante amenazas naturales.*
- Varnes, D. (1978). *Landslide types and processes. In E.B. Eckel (Ed.) Landslides in Engineering Practice. Highway Research Board. Special Report, 29: 20-47.*
- Washington State Department of Transportation [WSDoT]. (1992). *Pavement Surface Condition Rating Manual. Washington State Department of Transportation. Estados Unidos. Estados Unidos.*

Washington State Department of Transportation [WSDoT]. (1994). *A Guide for Local Agency Pavement Managers. The Pavement Management System Guidebook Review Team. Washington State Department of Transportation.* Estados Unidos.

ANEXO 1.1 Contribución a los objetivos de desarrollo sostenible

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. Seleccione a cuál o cuáles de los 17 ODS contribuye su trabajo de Memoria de Título:

- ODS-1 : Fin de la pobreza.
- ODS-2 : Hambre cero.
- ODS-3 : Salud y bienestar.
- ODS-4 : Educación de calidad.
- ODS-5 : Igualdad de género.
- ODS-6 : Agua limpia y saneamiento.
- ODS-7 : Energía asequible y no contaminante.
- ODS-8 : Trabajo decente y crecimiento económico.
- ODS-9 : Industria, innovación e infraestructura.
- ODS-10 : Reducción de las desigualdades.
- ODS-11 : Ciudades y comunidades sostenibles.
- ODS-12 : Producción y consumo responsables.
- ODS-13 : Acción por el clima.
- ODS-14 : Vida Submarina.
- ODS-15 : Vida de ecosistemas terrestres.
- ODS-16 : Paz, justicia e instituciones sólidas.
- ODS-17 : Alianzas para lograr los objetivos.

El protocolo para la medición de daños en caminos producidos por amenazas hidrometeorológicas presentado en este trabajo contribuye a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), en particular, a ODS-8 y ODS-9.

Para el ODS-8, trabajo decente y crecimiento económico. Una de las motivaciones para el desarrollo del protocolo fue implementar una herramienta capaz de establecer un método de medición estandarizado y seguro para que los inspectores eviten improvisar instrucciones a la hora de medir. Por lo cual, la implementación de este protocolo aporta al ODS-8 evitando la exposición de los inspectores a riesgos de accidentes en su trabajo, a la vez que permitirá agilizar la ejecución de inspecciones en situaciones hidrometeorológicas complejas.

Respecto al ODS-9, industria, innovación e infraestructura. Este protocolo propone la utilización de nuevas tecnologías para la medición de los daños en caminos mediante el uso de aplicaciones de *smartphone* y *software* de computadoras.

ANEXO 1.2 Ficha de registro de daños por amenazas hidrometeorológicas**Ficha de Registro de Daños por AHM**

Bloque 1						
Nombre del Inspector: _____			Hoja: _____		de _____	
Nombre del Camino: _____			Rol del camino: _____			
Bloque 2						
Región: _____			Provincia: _____			
Comuna: _____			Fecha de Inspección: ____ / ____ / ____			
Latitud, Longitud: _____			km(m): _____			
Pista(s) inspeccionada(s): _____		N° de Pistas: _____	Orientación: _____		Tipo de Carpeta: _____	
Bloque 3						
Evento Natural que provocó el daño: _____						
Breve Descripción del Evento: _____		<div style="border: 1px solid black; height: 30px; width: 100%;"></div>				
Bloque 4						
N°	Daños:	Activos:	Severidad:	Cantidad:	Fotos:	Observaciones:
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

ANEXO 1.3 Protocolo de medición de daños en caminos producto de amenazas hidrometeorológicas

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	ANTECEDENTES GENERALES.....	44
1.1.	Objetivo.....	44
1.2.	Alcances.....	44
1.3.	Glosario de términos.....	45
1.4.	Difusión.....	47
1.5.	Medidas de control de seguridad y prevención de riesgos.....	47
2.	DETECCIÓN DE LA EMERGENCIA.....	49
2.1.	Localización de la emergencia.....	49
2.2.	Identificación de la amenaza.....	50
2.3.	Catálogo de daños potenciales.....	52
2.4.	Preparativos para la inspección.....	56
2.5.	Equipamiento.....	57
3.	INSPECCIÓN EN TERRENO.....	59
3.1.	Labores de entrada.....	59
3.2.	Cierre del área afectada.....	59
4.	PROCESO DE MEDICIÓN DE DAÑOS.....	62
4.1.	Medición de daños en terreno.....	62
4.2.	Medición de daños en gabinete.....	66
5.	ELABORACIÓN DE INFORME RESUMEN.....	72
5.1.	Aspectos del informe resumen.....	72
5.2.	Resumen de la amenaza.....	73
5.3.	Ingreso de información de campo.....	73
5.4.	Ingreso de información numérica.....	73
5.5.	Observaciones.....	74
5.6.	Aspectos de la ficha de registro daños.....	74

1. ANTECEDENTES GENERALES

El siguiente protocolo es un documento diseñado para estimar la magnitud de los daños causados por amenazas hidrometeorológicas en los activos de un camino utilizando la inspección visual como herramienta principal. Se establecen diversos procedimientos para que la organización responsable de la atención de emergencias (SIEMOP) pueda estandarizar los métodos de estimación de daño y complementar la información obtenida para esta clase de eventos utilizando este protocolo como herramienta de apoyo para los trabajadores del SIEMOP.

Las instrucciones fueron establecidas con un enfoque preventivo para disminuir los riesgos y deben ser cumplidas por todos los inspectores y trabajadores del SIEMOP que participen en la atención de la emergencia hidrometeorológica.

1.1. Objetivo

Establecer los procedimientos necesarios para la cuantificación de los daños causados por amenazas hidrometeorológicas en los activos de un camino, de manera de poder estandarizar las gestiones llevadas a cabo por el SIEMOP en la atención de emergencias hidrometeorológicas.

1.2. Alcances

El protocolo tiene un enfoque que permitirá disminuir los riesgos de accidentes a los trabajadores del SIEMOP que asistan a terreno, y optimizar los tiempos de levantamiento de información. Este protocolo aplicará a todos los trabajadores del SIEMOP que participen en la atención de la emergencia hidrometeorológica.

1.3. Glosario de términos

A continuación, se presenta el glosario de términos utilizados en este protocolo. En caso de que exista otras definiciones para un término señalado en este glosario, primará la definición presentada en este instrumento, salvo que la definición sea de un término contenido en textos legales.

Activo de Infraestructura Vial: Corresponde a toda aquella obra pública que permite generar la provisión del servicio de conectividad terrestre, ya sea de manera interna en el territorio o con los países de la región.

Amenaza Hidrometeorológica, AHM: Evento o fenómeno cuyo origen se debe principalmente a la ocurrencia de lluvias de alta intensidad y de larga duración, acompañada normalmente de fuertes vientos. Estos sucesos pueden ocurrir separadamente, secuencial o de forma simultánea.

Barrera de Contención: Elementos diseñados para resistir el impacto de vehículos y redireccionar su movimiento cuando estos abandonan la calzada producto de pérdida de control.

Berma: Faja lateral, pavimentada o no, adyacente a la calzada de un camino.

Calzada: Parte de la vía destinada al uso de vehículos y animales.

Camino: Vía rural destinada al uso de peatones, vehículos y animales.

Daño en la Vía: Corresponde a un deterioro instantáneo presente en el camino el cual muestra pérdida del nivel de servicio al mismo tiempo en que ocurrió un evento específico.

Demarcación: Elementos de seguridad sobre la calzada para guiar el tránsito de vehículos y peatones. Pueden ser planas como símbolos, palabras o marcas, longitudinales o transversales, pintadas sobre la calzada; o elevadas como tachas o tachones.

Elementos de Canalización: Elementos que permiten definir las superficies disponibles para el tránsito y aislar áreas intervenidas por trabajos. Permiten, también, definir las variaciones de perfil transversal.

Elementos de Drenaje: Dispositivos dispuestos para obtener el saneamiento de la carretera.

Gestión Vial: Conjunto de acciones aplicadas sobre la infraestructura vial que permiten optimizar su uso.

Kilómetro Medio, $km(m)$: Es un kilómetro de la vía que sirve como referencia de la ubicación del suceso y se puede calcular como el promedio entre el kilómetro inicial y final de la ruta en donde ocurrió el evento, por ejemplo, si un deslizamiento ocurrió entre el kilómetro 122 y 126 de la ruta X, entonces el kilómetro medio correspondería a $km(m)=124$. No debe ser necesariamente el valor exacto, pero si representar el lugar de la vía donde ocurrió el evento.

Plataforma: Superficie visible de una vía formada por su(s) calzada(s), berma y mediana, si corresponde. Su ancho está comprendido entre los bordes del “SAP”. En el caso de caminos de ripio, el ancho de la Plataforma será la de la superficie de la capa granular.

Señalización Vertical: Dispositivos instalados a los lados o sobre un camino, presentando letreros que alertan al usuario. Pueden ser informativas, preventivas o reglamentarias.

Tachas: Dispositivos reflectantes o luminosos destinados a complementar la demarcación.

Tachones: Dispositivos de dimensiones superiores a las tachas, destinados a la segregación de pistas y demarcación de islas. Cuentan con elementos retrorreflectantes instalados de modo tal, que pueden ser vistos por conductores de ambas direcciones, para facilitar la conducción nocturna.

Vía: Calle, camino u otro lugar destinado al tránsito (Ley de tránsito).

Zona de Advertencia: Zona en la que se avisa al usuario de cambios que se presentarán en la vía por faenas en desarrollo, u otra acción en ella.

Zona de Seguridad: Zona de protección que separa el tránsito en el sector de las obras, del área en que se trabaja.

Zona de Transición: Zona en la cual los vehículos son desviados hacia pistas alternativas de operación para aislar las zonas en que se efectúan trabajos de construcción y/o mantenimiento.

Zona Principal Afectada: Zona donde se concentró el daño principal del evento ocurrido, por ejemplo, en un deslizamiento de talud correspondería a toda la plataforma cubierta por la mezcla de tierra y rocas.

1.4. Difusión

Se entregará una copia de este protocolo a los trabajadores de la Dirección de Vialidad y se les capacitará utilizando los mecanismos internos existentes para ello. Así mismo, se informará con la debida anticipación los cambios efectuados en el protocolo producto de modificaciones decretadas por la autoridad a cargo de este instrumento.

1.5. Medidas de control de seguridad y prevención de riesgos

La organización deberá aplicar las siguientes medidas preventivas para controlar de forma eficiente la seguridad de los trabajadores en el proceso de inspección:

1. Todo el personal debe contar con entrenamiento básico donde se le instruya sobre las condiciones y tipos de trabajos que le corresponderá realizar.
2. Para la asistencia a terreno, los trabajadores deberán disponer de indumentaria que le proporcione una protección personal adecuada (ver Título 2.5 de este documento).
3. Los choferes deben tener al día toda su documentación para conducir y estar conscientes que no tienen derechos o privilegios especiales en la conducción de los vehículos a su cargo, además, durante los trabajos deberá circular por la o las vías designadas o señalizadas para su objetivo.

4. Se debe contar con un botiquín de primeros auxilios y una capacitación a los trabajadores para atención de urgencias médicas.
5. Todo(a) trabajador(a) deberá efectuar sus labores con el cabello tomado, uñas cortadas, sin consumir alimentos o bebidas ni estar bajo los efectos del alcohol o cualquier otra droga durante la inspección.
6. Se debe aislar con precaución la zona principal afectada usando elementos de canalización vertical, como conos, hitos y/o cinta de seguridad.
7. Se debe mantener en estado de alerta y a una distancia prudente de entre 0,5 a 10 m de los activos viales dañados y de la zona principal afectada.
8. En caso de accidente de algún operario, proceder según los protocolos para este tipo de situaciones de la Dirección de Vialidad.

2. DETECCIÓN DE LA EMERGENCIA

2.1. Localización de la emergencia

Cuando se da aviso de la existencia de una emergencia hidrometeorológica, se debe registrar en la ficha de registro de daños (Anexo 1.2) la siguiente información:

- Nombre y rol del camino en donde ocurrió la emergencia (Bloque 1).
- Nombre completo del inspector que realizará la auscultación (Bloque 1).
- Fecha de cuando se realizará la inspección en terreno (Bloque 2).
- Región, Provincia y Comuna a la que pertenece la ruta (Bloque 2).
- Coordenadas geográficas (Latitud, Longitud) de la ubicación de la emergencia (Bloque 2).
- Kilómetro medio que corresponden a las coordenadas (Bloque 2).

Ficha de Registro de Daños por AHM			
Bloque 1			
Nombre del Inspector:	Leandro Antonio Contardo Concha	Hoja:	1 de
Nombre del Camino:	Bahía Mansa - Maicolpué - Tril Tril	Rol del camino:	U-410
Bloque 2			
Región:	10 Región de Los Lagos	Provincia:	103 Osorno
Comuna:	10306 San Juan de la Costa	Fecha de Inspección:	12 / 7 / 2022
Latitud, Longitud:	-40.589700, -73.738559	km(m):	1,2
Pista(s) inspeccionada(s):	N° de Pistas:	Orientación:	Tipo de Carpeta:
Bloque 3			
Evento Natural que provocó el daño:			

Figura 6.1 Ejemplo de registro de información en los bloques 1 y 2 de la Ficha de registro de daños

Cada ficha representa la información obtenida de un tramo de la ruta, por lo que, si una emergencia tiene lugar en varios puntos de la misma ruta o en distintas rutas, se debe elaborar una ficha por cada tramo de cada ruta.

Posteriormente, se hace un análisis del terreno para así planificar y escoger la mejor ruta de movilización considerando los posibles cortes de tráfico y rutas opcionales de acceso disponibles.

2.2. Identificación de la amenaza

Se deben identificar las particularidades que posee el evento para determinar a qué tipo de amenaza nos estamos enfrentando. Para ello, en la Tabla 2.1 se muestra la información de las posibles amenazas a encontrar junto con una breve descripción de sus características.

Tabla 6.1 Descripción de las Amenazas Hidrometeorológicas de interés

Grupo de Amenaza	Amenaza	Descripción
Remociones en Masa	Deslizamiento de Talud	Masa de suelo que se mueve como resultado de una falla originada por una disminución de la resistencia al corte.
	Deslizamiento de Ladera	La masa se desliza a partir de una superficie de falla cuya traza superior normalmente queda marcada en la parte alta del corte y, dependiendo de la magnitud de la zona afectada, también se manifiesta en la plataforma del camino o, incluso, a cierta distancia por el lado opuesto del corte dañado. Los deslizamientos de ladera suelen ser los más destructivos ya que la falla desplaza mayores cantidades de masa.
	Caída (Desprendimiento o Desplome)	Se refiere a la caída, prácticamente libre, tanto de masas rocosas como de suelos, las que usualmente no son precedidas por ningún movimiento lento. La velocidad de movimiento dependerá principalmente de la inclinación de la pendiente y la altura de caída.
	Volcamientos	Es la rotación hacia delante y hacia el exterior de la ladera, de una masa de suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad.
	Flujos (o Aluviones)	Son movimientos espacialmente continuos en los que las superficies de cizalla tienen corta vida, se encuentran muy próximas y generalmente no se conservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada se parece a la que se presenta en un fluido viscoso. Por este motivo, la masa movida no conserva la forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo, formas lobuladas cuando interesan a materiales cohesivos y desparramándose por la ladera o formando conos de deyección cuando afectan a materiales granulares.

Tabla 6.2 Descripción de las Amenazas Hidrometeorológicas de interés (Continuación)

Masas de agua	Inundaciones Pluviales	Es la ocupación por parte del agua en zona que habitualmente están libres de esta, producto de precipitaciones copiosas y que sobrepasan la capacidad de absorción y almacenaje de la superficie y de volumen del suelo.
	Crecidas Pluviales	Es la elevación del curso del agua significativamente mayor que el flujo medio de este producto de precipitaciones copiosas en ríos, canales, arroyos, etc.
Otros	Caída de Ramas/Árboles	Desprendimiento desde el suelo o corte por naturaleza, y posterior desplome sobre la plataforma de árboles o de sus ramas cerca de caminos y que obstaculizan la circulación de vehículos por la vía.

Una vez identificada la amenaza, en el bloque 3 de la ficha de registro de daños, en la casilla “Evento Natural que provocó el daño”, se selecciona de la lista desplegable el tipo de amenaza encontrada. Ya en terreno, en el cuadro ubicado en el mismo bloque 3, se debe ingresar una breve descripción del evento. Este cuadro puede ser rellenado con la siguiente información:

- Composición del material caído: tierra, roca, suelo, vegetación, etc.
- Si dañó o no a residentes cercanos en la zona.
- Si dañó o no a vehículos que transitaban por el lugar.
- Si generó un corte de tránsito en la vía.
- Si la amenaza detectada se combinó con otra amenaza hidrometeorológica.
- Activos viales dañados no considerados en la lista de activos.
- Si la amenaza abarca varios kilómetros de la vía, se puede registrar en este apartado el kilómetro inicial y final que cubre.
- Otros aspectos relevantes.

Comuna: _10306_San_Juan_de_la_Costa		Fecha de Inspección: 12 / 7 / 2022	
Latitud, Longitud: -40.589700, -73.738559		km(m): 1,2	
Pista(s) inspeccionada(s):	2	N° de Pistas:	2
Orientación:	Bidireccional	Tipo de Carpeta:	Asfalto
Bloque 3			
Evento Natural que provocó el daño: Deslizamiento de Ladera			
Breve Descripción del Evento: Masa de suelo compuesta mayormente de tierra y vegetación. No hubo daño a terceros. Kmi=1,0 Km=2,0. Cortes de tráfico en la zona.			
Bloque 4			
N° Daños:	Activos:	Severidad:	Cantidad:
1			
2			
3			
4			
-			

Figura 6.2 Ejemplo de registro de información en el bloque 2 y 3 de la Ficha de registro de daños

Si la amenaza detectada no se encuentra dentro de la lista desplegable, se debe seleccionar la alternativa “Otros” en las opciones y dejar especificado en el cuadro de la descripción cual fue la amenaza detectada y una breve información de las características según lo establecido anteriormente.

2.3. Catálogo de daños potenciales

Se deben identificar los daños a encontrar en cada uno de los activos de la manera más rápida y correcta posible, para ello, se hizo una caracterización de los daños potenciales para que el inspector pueda tener una idea general de como identificarlos, medirlos y registrarlos en la ficha. El inspector debe memorizar claramente cada definición de este catálogo referente a cada uno de los daños.

2.3.1 Daños y codificación

La Tabla 2.2 muestra una selección de los daños potenciales en los activos de un camino, a que grupo pertenecen, una breve descripción y un código único que servirá para ingresarlos en el bloque 4 de la ficha de registro de daños.

Tabla 6.3 Descripción y codificación de los daños

Grupo de Activos	Daño	Concepto	Código
Seguridad	Pérdida de elementos de seguridad	Es la destrucción o caída de las señalizaciones verticales, elementos de iluminación y barreras de contención, además de la remoción de la demarcación en la plataforma.	PSEG
Saneamiento y Drenaje	Colmatación en elementos de saneamiento y drenaje	Relleno por sedimentación de materiales transportados por flujos de agua en alcantarillas y cunetas revestidas.	COLM
	Remoción de solera	Desprendimiento y/o ruptura de las soleras de la plataforma.	REMO
Plataforma	Agrietamiento de la plataforma	Serie de fisuras y grietas interconectadas entre sí en una o más áreas de la plataforma (berma, SAP y/o calzada) debido a impactos por caídas sobre la misma.	AGRIE
	Destrucción de la plataforma	Pérdida de un tramo de la plataforma (berma, SAP y/o calzada) en sus distintas capas estructurales, que puede ir desde solo la capa superficial pavimentada, hasta una combinación de una o más de sus capas granulares.	DESTR
	Obstrucción por material caído sobre la plataforma	Acumulación de material caído sobre la plataforma e impide la circulación de los vehículos	OBSTR
	Pérdida de uniformidad de la plataforma	Disminución de la homogeneidad de la plataforma debido a la acumulación de capas de material viscoso o flujos de agua sobre esta y que obliga a los conductores circular sobre la vía a una velocidad reducida.	PUNIF
	Abrasión de la plataforma	Desgaste por fricción en una o más áreas de la plataforma debido al arrastre de partículas sólidas sobre esta.	ABRA

Tabla 6.4 Descripción y codificación de los daños (Continuación)

Taludes	Erosión paralela en terraplén	Remoción de material del talud de terraplén debido al roce de partículas sólidas arrastradas por flujos de agua que escurren de forma paralela al borde del camino.	EROS
	Socavación en terraplén	Excavación de material en el talud de terraplén producto de la acción erosiva de flujos de agua alrededor del talud.	SOCAV
	Pérdida de porción de talud	Porción de talud que se separa y desciende ladera abajo.	PTAL

2.3.2 Métrica establecida para los daños

La Tabla 2.3 muestra las formas de medición establecidas para cada uno de los daños mencionados en la Tabla 2.2. Notar que “Pérdidas de elementos de seguridad” y “Colmatación en elementos de saneamiento y drenaje” fueron desglosados en más de un activo para realizar una medición más específica de estos daños.

Tabla 6.5 Métrica establecida para los daños según el activo

Grupo de Activos	Daños	Unidad de Medida
Seguridad	Pérdida de elementos de seguridad	
	- Señalización vertical	[N°] de señalizaciones caídas
	- Barreras de contención	[ml] de barrera de contención dañados
	- Elementos de iluminación	[N°] de elementos de iluminación caídos
	- Demarcaciones	[ml] de demarcaciones removidas
Saneamiento y Drenaje	Colmatación en elementos de saneamiento y drenaje	
	- Alcantarilla	[N°] de alcantarillas colmatadas
	- Cuneta	[ml] de cuneta colmatada
	Remoción de solera	[ml] de solera removida
Plataforma	Agrietamiento de la plataforma	[m2] de plataforma con grietas
	Destrucción de la plataforma	[m3] de plataforma destruida
	Obstrucción por material caído en la plataforma	[m3] de material caído sobre la plataforma
	Pérdida de uniformidad de la plataforma	[m2] de material sobre la plataforma que reduce la velocidad de circulación
	Abrasión de la plataforma	[m2] de plataforma abrasionado

Tabla 6.6 Métrica establecida para los daños según el activo (Continuación)

Taludes	Erosión paralela en terraplén	[m2] de terraplén erosionado
	Socavación en terraplén	[m2] de terraplén socavado
	Pérdida de porción de talud	[m3] de talud caído

2.3.3 Niveles de severidad de daños

La Tabla 2.4 muestra los distintos niveles de severidad establecidos para la medición de cada uno de los daños.

Tabla 6.7 Niveles de severidad establecido para cada daño

Daños	Severidad de daños		
	Baja	Moderada	Extensa
Pérdida de elementos de seguridad			
- Señalización vertical	A lo más 2	De 3 a 5	Más de 5
- Barreras de contención	Menos de 50 [m]	De 50 a 100 [m]	Más de 100 [m]
- Elementos de iluminación	A lo más 2	De 3 a 5	Más de 5
- Demarcación Lineal	Menos de 50 [m]	De 50 a 100 [m]	Más de 100 [m]
- Demarcación Elevada	A lo más 10	De 11 a 20	Más de 20
Colmatación en elementos de saneamiento y drenaje			
- Alcantarilla	A lo más 1	De 2 a 4	Más de 4
- Cuneta	Menos de 50 [m]	De 50 a 100 [m]	Más de 100 [m]
Remoción de solera	Menos de 50 [m]	De 50 a 100 [m]	Más de 100 [m]
Agrietamiento de la plataforma	Cubre hasta 25 % de la plataforma	Cubre hasta 50 % de la plataforma	Cubre más de 50 % de la plataforma
Destrucción de la plataforma	Cubre hasta 25 % de la plataforma	Cubre hasta 50 % de la plataforma	Cubre más de 50 % de la plataforma
Obstrucción por material caído en la plataforma	Cubre hasta 25 % de la plataforma	Cubre hasta 50 % de la plataforma	Cubre más de 50 % de la plataforma
Pérdida de uniformidad de la plataforma	Si el vehículo puede circular a 30 [km/h] o más	Si el vehículo puede circular a menos de 30 [km/h]	Si el vehículo no puede circular
Abrasión de la plataforma	Cubre hasta 25 % de la plataforma	Cubre hasta 50 % de la plataforma	Cubre más de 50 % de la plataforma
Erosión paralela en terraplén	Cubre hasta 25 % de la plataforma	Cubre hasta 50 % de la plataforma	Cubre más de 50 % de la plataforma
Socavación en terraplén	Cubre hasta 25 % de la plataforma	Cubre hasta 50 % de la plataforma	Cubre más de 50 % de la plataforma
Pérdida de porción de talud	Menos de 20 [m3]	De 20 a 40 [m3]	Más de 40 [m3]

2.3.4 Relación de los daños con cada amenaza

De forma esquemática, la Tabla 2.5 muestra la relación entre los daños con cada una de las amenazas, donde la “x” denota que dicho daño es producido por dicha amenaza.

Tabla 6.8 Relación entre amenazas y daños

		Amenazas								
		Deslizamiento de Talud	Deslizamiento de Ladera	Caída (Desprendimiento o Desplome)	Volcamientos	Flujos (o Aluviones)	Inundaciones	Crecidas Pluviales	Caída de Ramas/Árboles	
Daños	Estructurales	Agrietamiento plataforma	x	x	x	x				x
		Destrucción plataforma		x			x	x	x	
		Pérdida elementos de seguridad	x	x	x	x	x	x	x	
		Socavación terraplén					x	x	x	
		Pérdida porción talud	x			x	x			
	Remoción solera	x	x	x	x					
	Funcionales	Obstrucción plataforma	x	x	x	x	x			x
		Colmatación saneamiento y drenaje	x	x			x	x	x	
		Pérdida de uniformidad plataforma					x	x	x	
		Erosión terraplén					x	x	x	
Abrasión plataforma		x	x	x						

2.4. Preparativos para la inspección

En gabinete, previo a la salida de inspección, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Deberá tener definida la ruta más rápida a seguir e identificados todos los puntos alternativos de acceso a la ubicación ante posibles problemas de tráfico.

2. Deberá tener considerado todos los costos asociados a peajes, alimentación y combustible, así como también un monto adicional para emergencias.
3. Deberá contar con un celular y radio con baterías completamente cargadas para permanecer en contacto.
4. Deberá verificar que cuenta con todo el equipamiento disponible, cargado y acondicionado para la inspección, además de firmar una carta de retiro de los equipos de la bodega.
5. Para solicitar el retiro de los equipos, el encargado deberá gestionar la disposición inmediata de aquellos que cuenten con al menos 2 días de haber sido revisados y autorizados para su uso.
6. El vehículo a utilizar deberá estar acondicionado con al menos 2 días previos en cuanto a niveles de agua, aceite, combustible, batería y neumáticos si corresponde para gestionar su disponibilidad inmediata y deberá ser entregado en las mismas condiciones.
7. El encargado deberá dar aviso al personal correspondiente cuando salga y regrese de la inspección en terreno.
8. Posterior a la inspección, el encargado deberá verificar que cuenta con todo el equipamiento solicitado y en buenas condiciones.
9. Deberá elaborar un informe con todos los gastos incurridos durante la salida a terreno respaldados por las boletas correspondientes, para luego entregárselo al encargado de finanzas de la organización.

2.5. Equipamiento

Se deberá contar con el equipamiento de terreno que se indica en este documento. Cada equipamiento debe ser revisado y acondicionado de forma diaria para contar con su disponibilidad inmediata ante el llamado de cualquier emergencia.

- **Elementos de Protección Personal (EPP)**
 - Casco de seguridad
 - Botas de seguridad
 - Parca Térmica
 - Chaleco reflectante (de Ley de Tránsito)
 - Chaleco reflectante (de Vialidad)

- Guantes
- Antiparras.

- **Elementos de Comunicación**
- Radio Transmisor
- Celular cargado al 100 %.

- **Elementos de Medición**
- Huincha de medir de 100 m
- Odómetro
- Aparato para registrar imágenes estáticas georreferenciadas (Cámara fotográfica, Smartphone, Tablet o Dron)
- Smartphone o Tablet con aplicaciones de medición instaladas.

- **Elementos Utilidad Personal**
- Documentos personales (Carnet, Licencia de Conducir, etc.)
- Ficha de registro de daños
- Lápiz pasta
- Conos o hitos de seguridad vial
- Cinta de seguridad
- Tacos (o cuñas)
- Baliza de color amarillo.

3. INSPECCIÓN EN TERRENO

3.1. Labores de entrada

Se deben identificar los daños causados en la plataforma y evaluar si los vehículos puedan circular por alguna de las vías. Registrar en el bloque 2 de la ficha el número de pistas que serán inspeccionadas, el número total de pistas que tiene la vía, la orientación de la vía y la carpeta de rodadura.

Se deben definir las zonas de movilidad para el tránsito seguro por el área con tal de minimizar la ocurrencia de accidentes. Ante cualquier evento, alertar a los equipos de trabajo con la rapidez y dinámica que la situación exija.

Para estacionar vehículos en la plataforma de la vía, estos deben estar ubicados mínimo a 30 m de la zona principal afectada y por fuera de la berma o, en caso de no ser posible, al menos a 1 m fuera de la calzada con la baliza y señales luminosas del vehículo activadas de acuerdo a lo estipulado en el numeral 6.401.405(1) del Manual de Carreteras.

3.2. Cierre del área afectada

En el caso en que se pueda transitar con circulación restringida por una de las pistas, se debe delimitar la zona principal afectada mediante la colocación de elementos de canalización verticales (conos o hitos, ver ejemplo en Figura 3.1), además de advertir a los usuarios sobre la restricción de una de las pistas a través de la instalación, como mínimo, de la señalización informativa ITO-6 (ver Figura 3.2 (a)) según lo estipulado en el numeral 6.403.503(10) del Manual de Carreteras. Cualquier otra señalización vertical que se deba instalar, se debe hacer bajo los criterios especificados en los numerales 6.403.404 y 6.403.503 del Manual de Carreteras.

Las longitudes de la zona de advertencia (L_d), zona de transición (L_t), zona de seguridad (L_s), ancho de seguridad (A_s), zona de trabajo, zona de tránsito y fin de zona de trabajos se delimitarán en base al numeral 6.402.202 del Manual de Carreteras.

En caso en que la zona principal afectada comprometa toda la plataforma impidiendo el paso de cualquier vehículo, será necesario informar al público acerca de los desvíos, para lo cual se deberá colocar como mínimo la señalización informativa ITO-8 (ver Figura 3.2 (b)) en las intersecciones más próximas según lo estipulado en el numeral 6.403.503(12) del Manual de Carreteras. Cualquier otra señalización vertical que se considere oportuna instalar, se debe hacer de acuerdo a la sección 6.403 del Manual de Carreteras.

Cualquier información que se deba entregar a los usuarios acerca del uso de alternativas, variantes, restricciones, grados de precaución y probable fecha de normalización del servicio, se debe hacer por medio del Coordinador de Emergencias de la Secretaría Regional del M.O.P., a nivel regional, y por medio de los jefes Provinciales, a nivel provincial, según el numeral 7.206.203 del Manual de Carreteras.



Figura 6.3 Ejemplo de colocación de elementos de canalización vertical. Situación requerida por la caída de rodados en la ruta D51 en la comuna de Andacollo, región de Coquimbo

Fuente: MOP Coquimbo



Figura 6.4 (a) Señal Una Pista de Circulación (ITO-6), esta señal indica al usuario que se aproxima un sector restrictivo, donde se inicia la circulación del tránsito por una pista; (b) Señal Camino Cerrado (ITO-8), esta señal advierte al usuario que se terminará el camino por el cual transita, por lo tanto, deberá tomar todas las precauciones del caso

4. PROCESO DE MEDICIÓN DE DAÑOS

Este capítulo conforma los pasos a seguir para la aplicación de dos métodos de medición de daños. De acuerdo a las condiciones presentes en el daño, se medirán directamente en terreno, o bien, se aplicarán los procedimientos para medirlos en gabinete según lo especificado en este capítulo.

4.1. Medición de daños en terreno

Paso 1: Identificación y registro fotográfico de los daños

Se deben identificar todos los daños producidos por la amenaza. Los daños deben pertenecer al catálogo de daños (ver Título 2.3 de este documento), cualquier otro activo dañado por la amenaza hidrometeorológica y que no se encuentre en el catálogo se debe considerar como “Otros”.

Con una cámara de fotos, smartphone, Tablet o Dron, se deben fotografiar todos los activos dañados reconocidos. La imagen debe contener las siguientes características:

- Debe estar bien enfocada con configuraciones adecuadas de color y calidad.
- La resolución de la imagen debe ser de 1920x1080 pixeles.
- Debe estar georreferenciada.
- Debe capturar en su centro todo el activo dañado.
- Cada imagen debe ser única para activo, aunque sea el mismo tipo de activo. Por ejemplo, para dos señalizaciones verticales dañadas debe haber una foto para cada una.
- El formato debe ser JPG, PNG o TIFF. Cualquier otro formato podría generar problemas de compatibilidad con otros programas o reducir la calidad del archivo al trabajarlo.
- El nombre de cada imagen debe ser de la siguiente forma: rol del camino-número correlativo, por ejemplo: RUTA146-001. Esta nomenclatura contiene el rol del camino que sirve para saber a qué ruta pertenece la imagen, y el número correlativo que sirve para poder distinguir a qué activo corresponde la imagen.

Si el nombre del archivo no se puede cambiar a través del dispositivo, esto se debe hacer en gabinete de forma manual o a través de un *software* gratuito de computadora que pueda renombrar archivos masivamente como *Advanced Renamer* o *Bulk Renamer Utility*.

Paso 2: Registro de los daños en la ficha

Los daños identificados se deben registrar en el bloque 4 de la ficha de registro de daños con la codificación correspondiente.

Deberá seleccionar en la columna “Daños” el código correspondiente al tipo de daño.

En la columna “Activos” se selecciona el activo dañado a registrar. Las opciones de la lista dependerán del tipo de daño seleccionado en el paso anterior, si un mismo daño afecta a más de un activo de la lista, se debe ingresar el código del daño nuevamente y las veces que sean necesarias, si no se registra el código del daño, no se podrá registrar el activo. Si un activo no se encuentra en la lista, se deberá seleccionar la opción “Otros” y registrar en la columna “Observaciones” una breve descripción del activo encontrado.

En la columna “Fotos” se debe registrar el número correlativo de la imagen que pertenece al activo. Si un activo contempla más de una imagen, se ingresan ambos números correlativos separados por un “_”. Por ejemplo, las imágenes “RUTA146-001” y “RUTA146-002” se registran como “001_002” en la casilla.

En la columna “Observaciones” se registra cualquiera cantidad o particularidad encontrada en la inspección que tenga relación con el tipo de activo dañado y que no contempla algún campo de ingreso en la ficha. Cualquier daño encontrado no registrado en el catálogo, se deberá registrar en esta columna con una breve descripción.

Evento Natural que provocó el daño: Deslizamiento de Ladera

Breve Descripción del Evento: Masa de suelo compuesta mayormente de tierra y vegetación. No hubo daño a terceros. Kmi=1,0 Kmf=2,0. Cortes de tráfico en la zona.

Bloque 4

N°	Daños:	Activos:	Severidad:	Cantidad:	Fotos:	Observaciones:
1	PSEG	Barrera de Contención			005	
2	PSEG	Demarcación Lineal			008_009	
3	PSEG	Demarcación Elevada			010_011	Tachas
4	PSEG	Otros			012	Demarcación Velocidad Máx [unidad]
5	PSEG	Iluminación			006	Poste de luz
6	PSEG	Señalización Vertical			004	
7	COLM	Cuneta Revestida			007	
8	OBSTR	Plataforma			001_002_003	Árboles de gran tamaño en la masa
9						
10						
11						
12						
13						

Figura 6.5 Ejemplo de registro de información en el bloque 4 de la Ficha de registro de daños

Paso 3: Medición de los daños en terreno usando una aplicación

Se deben calcular los daños causados por la amenaza hidrometeorológica de forma manual o con la ayuda de una aplicación que permita medir longitud, área y volumen a través de la cámara. La Tabla 4.1 contiene algunas aplicaciones de ejemplo disponibles.

Tabla 6.9 Aplicaciones de medición a través de la cámara

Aplicación	Sistema Operativo	Gratuita / De Pago
AR Ruler app	Android	Si (pero con período de prueba) / Si
Telémetro – Smart Measure	Android	Si (pero con menos herramientas) / Si
Medir y Alinear – 3D Plomada	Android	Si (pero con menos herramientas) / Si
ARPlan 3D	Android	Si (pero con período de prueba) / Si
CamToPlan	Android, iOS	Si (pero solo en Android, menos herramientas) / Si
Medición	iOS	Si (incorporada en algunos dispositivos iOS) / No
Medir 3D Pro	iOS	No / Si
AirMeasure	iOS	No / Si

La medición con la aplicación consiste en enfocar la cámara a un punto extremo de algún elemento, marcar, y desplazar la marca formando una figura en 2D o 3D, finalizar la medición y generar los resultados correspondientes. La medición manual consiste en medir con una huincha u odómetro, o bien, contabilizar a ojo desnudo las unidades del elemento en cuestión.

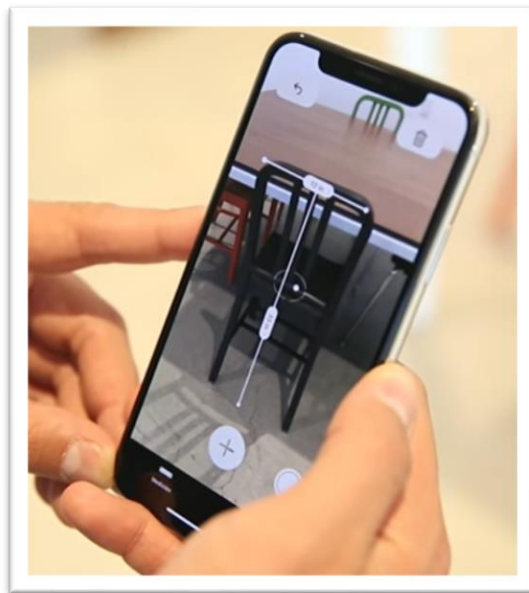


Figura 6.6. Ejemplo de uso de la aplicación "Medición" en un iPhone

En la columna “Cantidad” de la ficha de registro de daños, se deben registrar todos los daños medidos de forma manual o con la aplicación en la fila correspondiente. Los daños y/o activos identificados que no están en el catálogo de daños deberán elegir una unidad de medida, registrar en la columna “Cantidad” la magnitud y en la columna “Observaciones” la unidad de medida escogida para la medición entre paréntesis.

En la columna “Severidad” se debe elegir entre las opciones Baja, Moderada o Extensa para cada activo registrado y según los niveles de severidad definidos en el catálogo de daños (ver Título 2.3 de este documento). Los daños y/o activos identificados que no están en el catálogo deberán dejar esta casilla sin registrar.

Evento Natural que provocó el daño: Deslizamiento de Ladera					
Breve Descripción del Evento: Masa de suelo compuesta mayormente de tierra y vegetación. No hubo daño a terceros. Kmi=1,0 Km=2,0. Cortes de tráfico en la zona.					
Bloque 4					
N° Daños:	Activos:	Severidad:	Cantidad:	Fotos:	Observaciones:
1	PSEG Barrera de Contención	Extensa	140	005	
2	PSEG Demarcación Lineal	Moderada	50	008_009	
3	PSEG Demarcación Elevada	Baja	5	010_011	Tachas
4	PSEG Otros		1	012	Demarcación Velocidad Máx [unidad]
5	PSEG Iluminación	Baja	1	006	Poste de luz
6	PSEG Señalización Vertical	Baja	1	004	
7	COLM Cuneta Revestida	Extensa	150	007	
8	OBSTR Plataforma	Extensa	50	001_002_003	Árboles de gran tamaño en la masa
9					
10					
11					
12					

Figura 6.7 Ejemplo de registro de cantidad y severidad de los daños en el bloque 4

4.2. Medición de daños en gabinete

Paso 1: Identificación y registro fotográfico de daños

Se deben identificar todos los daños producidos por la amenaza. Los daños deben pertenecer al catálogo de daños (ver Título 2.3 de este documento), cualquier otro activo dañado por la amenaza hidrometeorológica y que no se encuentre en el catálogo se debe considerar como “Otros”.

Con una cámara de fotos, smartphone, Tablet o Dron, se deben fotografiar todos los activos dañados reconocidos. La imagen debe contener las siguientes características:

- Debe estar bien enfocada con las configuraciones adecuadas de color y calidad.
- La resolución de la imagen debe ser Full HD (1920x1080 pixeles).
- Debe estar georreferenciada.
- Debe capturar en su centro todo el activo dañado.
- En lo posible, cada imagen debe ser única para activo, aunque sea el mismo tipo de activo. Por ejemplo, para dos señalizaciones verticales dañadas debe haber una foto para cada una.
- El formato debe ser .JPG

- El nombre de cada imagen debe estar configurado para que sea de la siguiente forma: rol del camino + guion + número correlativo. Por ejemplo: RUTA146-001.

Si el nombre del archivo no se puede cambiar a través del dispositivo, esto se debe hacer en gabinete de forma manual o a través de un *software* gratuito de computadora que pueda renombrar archivos masivamente como *Advanced Renamer* o *Bulk Renamer Utility*.

Paso 2: Captura de imágenes para medición

Para la captura de imágenes que tienen por objetivo medir los daños en los activos, se considerarán los siguientes aspectos:

- Se definirá el ancho como aquella dimensión que se mida de forma transversal a la plataforma.
- Se definirá el largo como aquella dimensión que se mida de forma longitudinal a la plataforma.
- Se definirá el alto como aquella dimensión que se mida de forma perpendicular a la superficie de la plataforma.
- Las características de estas imágenes deben cumplir los mismos requisitos que las imágenes de registro (resolución, formato, nombre archivo, etc.).
- Debe capturar en su centro toda la dimensión del daño. Para facilitar la capturar de la dimensión se puede apoyar de la opción “Malla” del dispositivo, si está disponible, para centralizar mejor el activo en la imagen.

Para capturar el alto de un daño en la imagen, el inspector se debe ubicar al centro de la plataforma y fotografiar el daño del activo en cuestión, manteniendo siempre la plataforma al centro de la imagen, tal como se muestra en la Figura 4.2.

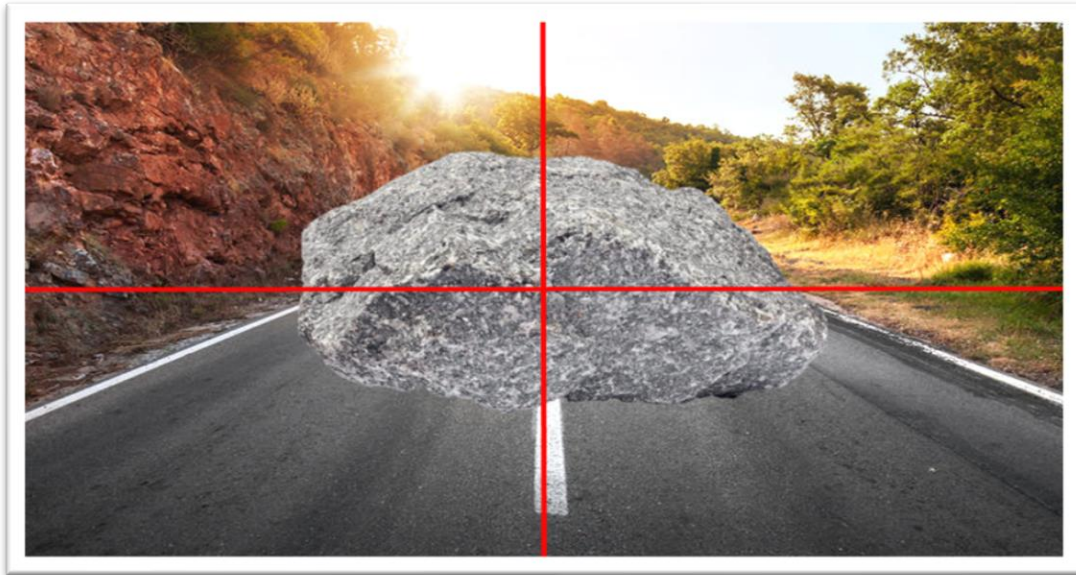


Figura 6.8 Ejemplo de captura para medición del alto del daño

Para capturar el ancho y largo del daño se utilizará la georreferencia de cada imagen, para ello, el inspector se debe ubicar en mínimo 4 puntos de los bordes del daño, tal como se muestra en la Figura 4.2, y capturar una imagen enfocando sin condiciones al daño en cuestión.



Figura 6.9 Ejemplo de captura para medición del ancho y largo del daño

Estas imágenes georreferenciadas servirán para que, en gabinete, se copien las coordenadas a un mapa y se trace una línea que entregue las magnitudes del ancho y largo.

Las imágenes usadas para la medición de los daños son independientes de las imágenes de registro, por lo que su uso se limita solo para calcular los daños en gabinete y no para ingresarlos en la ficha, por lo que es posible encontrar más de una imagen tomada a un activo, sin embargo, se debe poder diferenciar las características de cada imagen según las condiciones establecidas para su captura.

Paso 3: Registro de daños en la ficha

Se identifican todos los tipos de daños ocurridos a los activos viales según el catálogo definido en el capítulo 2.3 de este protocolo, y se registran en el bloque 4 de la ficha de registro de daños según la codificación correspondiente a cada daño.

Tras elegir en la columna “Daños” una de las opciones de la lista, se selecciona de la columna “Activos” la opción del activo afectado ofrecido por la lista. Para el caso de los niveles de severidad correspondientes, estos se registrarán en gabinete en la columna “Severidad” según los márgenes de magnitud definidos en el capítulo 2.3 de este protocolo. Si un mismo daño afecta a más de un activo, se debe seleccionar el código del daño nuevamente en otra fila para que la ficha vuelva a proponer la lista de activos correspondiente, de lo contrario la casilla no arrojará información para seleccionar.

Posteriormente, se debe asociar cada imagen de registro tomada al activo relacionado ingresando en la columna “Fotos” el número correlativo perteneciente a la fotografía. Si un activo contempla más de una imagen, se deben registrar todas en la misma casilla separadas por un guion bajo (es decir, las imágenes “RUTA146-001” y “RUTA146-002” se registran como “001_002” en la casilla).

En la casilla “Observaciones” se registra cualquiera particularidad encontrada en la inspección que tenga relación con el tipo de activo dañado y que no contempla algún campo de ingreso en la ficha.

Paso 4: Medición de los daños en gabinete usando un *software*.

Para medir el alto de los daños específico se debe utilizar un *software* de medición, y conocer el ancho de la plataforma (puede ser a través de los planos de la ruta, un mapa online de la ruta o hacerlo con un odómetro en terreno durante la inspección). Estos *softwares* son programas de fácil uso, ya que básicamente consisten en incorporar una regla dentro del PC, por lo que existen múltiples videos tutoriales en la red para aprender a usarlos de la mejor forma. Con todo esto, se utilizará el programa para medir el alto del daño y el ancho de la plataforma en la imagen, para así, interpolar el alto a su valor real de la siguiente forma:

$$\text{Altura real [m]} = \frac{\text{Altura programa [unidad de longitud A]} \times \text{Ancho real [m]}}{\text{Ancho programa [unidad de longitud A]}}$$

Para medir el ancho y largo de los daños, se utilizarán las coordenadas tomadas de las imágenes georreferenciadas correspondientes, y un *software* de mapas donde ubicar dichas coordenadas, de manera tal de poder trazar líneas rectas en el mapa para obtener los valores del ancho y largo real de los daños.

Se ingresa la longitud, área o volumen de los daños según corresponda a la unidad de medición establecida en el capítulo 2.3 de este protocolo en la columna “Cantidad” según la fila del activo. Para el caso de daños que se cuantifican por unidad (por ejemplo, el de señalizaciones verticales caídas) basta con contabilizarlas a ojo desnudo y registrarlas en la ficha.

La Tabla 4.2 presenta una lista de *software* gratuitos disponibles con la capacidad de medir longitudes y áreas en una imagen.

Tabla 6.10 Software de medición para computadores

Software	Sistema Operativo
ImagenJ	Windows, OS, Linux
Pixel Ruler	Windows
Meazure	Windows
Screen Ruler	Windows
Medida IC	Windows
CMEIAS ImageTool	Windows
JMicroVision	Windows, OS, Linux
Visor ER	Windows

Cuando no aparece en la lista de activos algún activo involucrado en el daño, se selecciona la opción “Otros”, se ingresa la cantidad y las fotos correspondientes, y en la casilla “Observaciones” se ingresa el nombre del activo y la unidad de medida entre paréntesis [-] con la que se midió, por ejemplo, [m]. No se ingresa la severidad.

5. ELABORACIÓN DE INFORME RESUMEN

5.1. Aspectos del informe resumen

El objetivo de la elaboración de este informe es para entregar de forma precisa y resumida al departamento encargado de emergencias del SIEMOP toda la información referente a los daños ocasionados por el evento hidrometeorológico recién ocurrido.

Su contenido debe estar estructurado de la siguiente manera:

- Resumen de la amenaza.
- Información de campo.
- Información numérica.
- Observaciones
- Firma del Inspector a cargo de la inspección
- Anexo con la ficha(s) de registro de daños usada(s) en la inspección.
- Anexo con todas las fotografías de registro y su nombre de imagen JPG tomadas en la inspección.

Si es requerido, el formato del documento debe ser según lo solicitado por el departamento receptor del informe.

El documento debe ser entregado como archivo PDF con la siguiente estructura en el nombre:

- Rol del camino-fecha formato “AAMMDD”-número correlativo de 3 dígitos.

Por ejemplo: RUTA146-220112-001

El informe redacta lo sucedido por la amenaza hidrometeorológica, por ende, si la amenaza tiene lugar en más de una vía, se debe generar solo un informe para todas las rutas afectadas, adjuntando todas las fichas de registro de daños y fotografías correspondientes en el anexo.

5.2. Resumen de la amenaza

En este punto se ingresa la amenaza detectada y una breve descripción de lo sucedido. Esta información puede ser obtenida directamente del bloque 3 de la ficha de registro de daños y debe ingresarse con el título de “Resumen de la amenaza”.

5.3. Ingreso de información de campo

La información no numérica a registrar en el informe debe ser extraída de los bloques 1 y 2 de la ficha(s) de registro de daños. En concreto, esta información debe ser la siguiente:

- Nombre completo del inspector a cargo
- Nombre de la ruta
- Rol de la ruta
- Región, Provincia, Comuna
- Coordenadas georreferenciales
- Km(m)
- Pistas inspeccionadas
- Número total de pistas de la vía, Orientación, Tipo de Carpeta

Esta información puede ser ingresada en una tabla de dos columnas con el título de “Información No Numérica (Hoja X de Y)”. Donde X es el número de la hoja de un total de Y.

5.4. Ingreso de información numérica

La información numérica a registrar en el informe debe ser extraída del bloque 4 de la ficha(s) de registro de daños. En concreto, esta información debe ser la siguiente:

- Daños y su codificación correspondiente.
- Activos involucrados por tipo de daño.
- Severidad del daño en cada activo.
- Cantidad del daño en el activo.

- Número correlativo de fotos que ilustran el daño del activo.
- Observaciones encontradas.

Esta información puede ser copiada directamente desde la ficha de registro de daños con el título de “Información Numérica (Hoja X de Y)”. Donde X es el número de la hoja de un total de Y.

5.5. Observaciones

En este apartado se registra cualquier información que se considere relevante y que no contempla un campo de ingreso en las fichas de registro del sistema o que no esté cubierto por este protocolo, como, por ejemplo, daños causados a obras de arte transversales en la vía.

5.6. Aspectos de la ficha de registro daños

Las fichas deben ser guardadas en la base de datos de la organización como Libro de Excel Habilitado para Macros (extensión .xlsm) con el siguiente formato en el nombre:

- Rol del camino-fecha formato “AAMMDD”-número correlativo de 3 dígitos.
Por ejemplo: RUTA146-220112-001

Así mismo, las fichas usadas en la inspección deben ser adjuntadas en el anexo del informe resumen con el nombre correspondiente del archivo.

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA
RESUMEN DE MEMORIA DE TÍTULO

Departamento : Departamento de Ingeniería Civil
Carrera : Ingeniería Civil
Nombre del memorista : Leandro Antonio Contardo Concha
Título de la memoria : Protocolo de medición de daños en caminos ocasionados por eventos hidrometeorológicos.
Fecha de la presentación oral :
Profesor(es) Guía : Tomás Echaveguren
Profesor(es) Revisor(es) : Luis Merino
Concepto :
Calificación :

Resumen (máximo 200 palabras)

Los eventos naturales conllevan importantes pérdidas humanas y económicas, afectando con fuerza a países en desarrollo. A futuro se esperan numerosos daños causados en los activos de la red vial debido al cambio climático, obligando a intervenir de forma rápida y eficiente en cada emergencia. En Chile, según el SIEMOP las amenazas de origen hidrometeorológico (AHM) generan grandes daños y pérdidas económicas a la red. Los registros indican que entre 2010 y 2015, 371 rutas fueron afectadas por estos eventos, de donde se obtuvieron 729 daños totales en infraestructura. Sin embargo, el problema es la medición de estos daños, ya que actualmente no se cuenta con procedimientos definidos, lo que se traduce en una mala gestión de las emergencias debió al mal uso de los recursos destinados a la red vial.

El propósito de esta memoria de título es elaborar un método de cuantificación de daños post amenaza hidrometeorológica, para medir la magnitud y severidad de los daños ocasionados en caminos por alguno de estos eventos. Para ello, se plantea desarrollar un protocolo de medición de daños en caminos a través de la inspección visual, de manera de poder estandarizar los métodos de medición de daños producto de las AHM.