

TITULO: “IMPLEMENTACIÓN METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTADO EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS APLICADOS A LA RED VIAL DEPARTAMENTAL DE TARIJA”

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial de un país es importante en el desarrollo económico y social de sus habitantes. Asimismo la red vial departamental de Tarija es uno de los mayores bienes que posee el departamento y un generador del progreso. Particularmente, los caminos no pavimentados juegan un rol social y estratégico clave para el desarrollo de Tarija.

Su importancia social radica en su relación directa con el mejoramiento de la calidad de vida de la población en zonas rurales. El levantamiento de polvo a causa del tránsito y el exceso de barro en invierno son condiciones que existen en los caminos no pavimentados.

En tanto, la importancia estratégica de estos caminos se explica por su doble rol de proveer acceso y movilidad a la población. Si bien presentan un bajo volumen de tránsito, proveen conectividad al departamento.

Es por esta razón que en la última década se ha incrementado la construcción o mejoramiento de caminos no pavimentados, impulsada principalmente por programas estatales que se enmarcan en la línea de gastos de conservación o mantenimiento vial, cuyo objetivo surge a raíz de una necesidad social de contar con caminos que entreguen mejores niveles de servicio al usuario y habitantes aledaños al camino; por otra parte, se busca potenciar la conectividad y desarrollo en zonas rurales que difícilmente serían beneficiadas con la pavimentación de un camino, debido a los bajos niveles de tránsito y falta de rentabilidad económica.

La evolución de los caminos no pavimentados, en cuanto a la cantidad de kilómetros construidos, ha estado disociada con el estudio más acabado de su comportamiento funcional y más aún de su seguimiento en el tiempo, y no se han desarrollado métodos formales que permitan obtener indicadores de gestión, por lo cual surge la importancia de investigar en este tipo de caminos, proponiendo metodologías costo-efectivas para su evaluación.

La red vial departamental está conformada por cerca de 2016,289 Km, de los cuales aproximadamente el 60% corresponde a caminos de grava, el 28% corresponde a concreto asfáltico, el 6% corresponde a caminos de tierra, el 1,4% corresponde a tratamientos superficiales, el 0,09% corresponde a adoquín, el 0,02% corresponde a empedrados y el restante 4,5%, a apertura de caminos. Las carreteras no pavimentadas son aquellas cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado (capa compactada de material granular natural o procesado con gradación específica), suelos estabilizados o terreno natural, corresponden a caminos de bajo volumen de tránsito.

En la presente gestión el SEDECA–Villa Montes en su condición de unidad desconcentrada realizó el inventario vial de las rutas departamentales dentro de la tercera sección de la provincia Gran Chaco se constató que el 70 % de los caminos son de grava y el 30 % de tierra. Asimismo, la Dirección de Tráfico y Transporte del Gobierno Autónomo Municipal de Villa Montes realizó el inventario vial de las rutas municipales dentro de la tercera sección de la provincia Gran Chaco se constató que el 10 % de los caminos son de grava y el 90 % de tierra. El estado actual lamentablemente es de pésima condición por falta de mantenimiento y mejoramiento que arrastra de hace años atrás.

La literatura nacional e internacional da cuenta de diversas metodologías de evaluación y determinación del estado de caminos. En general, los procedimientos difieren según sean éstos pavimentados o no pavimentados.

En Chile, entre los años 2005 y 2007 se desarrollaron las metodologías para la Determinación del Estado de Caminos Pavimentados y No Pavimentados, por la

Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas. Ambos estudios consideraron la aplicación del Método Delphi basado en encuestas a expertos.

En el presente estudio de aplicación se pretende implementar una metodología para la determinación del estado de caminos con soluciones básicas desarrollada en Chile por Claudio Aravena, Ministerio de Obras Públicas de Chile, Robinson Lucero, DDQ Ingenieros Consultores Ltda., Chile y Rodrigo Díaz, DDQ Ingenieros Consultores Ltda., Chile, basada en la evaluación objetiva de deterioros en tramos testigo, y la evaluación subjetiva de expertos que calificaron cada unidad de muestra de acuerdo a su experiencia y apreciación. Las evaluaciones de los caminos auscultados fueron muestrales y representativas de las distintas tipologías de soluciones básicas y deterioros identificados, así como de las distintas zonas geográficas de Chile.

En primer lugar se presenta una síntesis de los aspectos más importantes sobre los cuales se basó la revisión de antecedentes. Luego, se explica la metodología propuesta para el desarrollo de las ecuaciones de estado para caminos con soluciones básicas, describiendo la selección de caminos a auscultar, los métodos de inspección utilizados, y el análisis estadístico de los datos recopilados en terreno. Finalmente, se presenta la validación o desarrollo de ecuaciones de estado para caminos con soluciones básicas y los resultados obtenidos.

La idea principal es que el presente trabajo pueda aportar de manera significativa al área de la ingeniería mediante la evaluación de estado en caminos no pavimentados aplicados a la red vial departamental de Tarija, debido a que hasta el momento no se había realizado dicho estudio.

Cabe destacar que con la evaluación realizada y de acuerdo al valor calculado del indicador de estado del camino y al rango subjetivo que los expertos definen para esa condición particular, se propusieron valores umbrales de intervención para cada nivel de la escala. Este indicador constituye una herramienta de gestión que permitirá relacionar un valor objetivo, con un estado subjetivo que refleja la urgencia y necesidad de intervención del camino estudiado. Esta herramienta es fundamental

para una red vial de caminos no pavimentados bien conservada, aportando grandes beneficios de accesibilidad y movilidad para sectores generalmente aislados.

1.2. JUSTIFICACION

El presente estudio de aplicación se realizó señalando ausencia de un indicador de condición de los caminos no pavimentados de la red vial departamental de Tarija que exprese la necesidad de intervención de los caminos en nuestro departamento.

El propósito de este estudio de aplicación es implementar una metodología para la determinación del estado de caminos con soluciones básicas desarrollada en Chile, basada en la evaluación objetiva de deterioros en tramos testigo, y la evaluación subjetiva de expertos que calificaron cada unidad de muestra de acuerdo a su experiencia y apreciación.

El indicador de estado del camino constituye una herramienta de gestión que permitirá relacionar un valor objetivo, con un estado subjetivo que refleja la urgencia y necesidad de intervención del camino estudiado. Esta herramienta es fundamental para una red vial de caminos no pavimentados bien conservada, la cual trae consigo grandes beneficios de accesibilidad y movilidad para sectores generalmente aislados.

El desarrollo de este estudio de aplicación beneficiará directamente a las instituciones encargadas de la planificación vial puesto que al aplicarlo se podrá obtener un indicador de estado del camino que expresa la necesidad de intervención del camino estudiado.

La idea principal es que el presente trabajo pueda aportar de manera significativa al área de la ingeniería mediante la evaluación de estado en caminos no pavimentados aplicados a la red vial departamental de Tarija, debido a que hasta el momento no se había realizado dicho estudio.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Situación Problémica.-

En la última década, la construcción de caminos no pavimentados ha experimentado un acelerado crecimiento, impulsado principalmente por la necesidad de potenciar la conectividad y desarrollo en zonas rurales que difícilmente serían beneficiadas con la pavimentación de un camino, debido a los bajos niveles de tránsito y falta de rentabilidad económica. Este incremento en la construcción de caminos no pavimentados ha estado disociado con el estudio más acabado de su comportamiento funcional, y más aún su seguimiento en el tiempo, y no se han desarrollado métodos formales que permitan obtener indicadores de gestión.

El estado actual de los caminos no pavimentados de la red vial de Tarija lamentablemente es de pésima condición por falta de mantenimiento y mejoramiento que arrastra de hace años atrás, debido a la falta del indicador de gestión, que se constituye en una herramienta de gestión que permite relacionar un valor objetivo con un estado subjetivo que refleja la urgencia y necesidad de intervención del camino estudiado, al no tener este indicador de gestión generalmente se especula que los caminos están en buen estado y se posterga el mantenimiento y/o mejoramiento de los mismos, lo que da como consecuencia altos costos de conservación, mal estado de la carpeta de rodadura, elevados costos de operación vehicular y lo más lamentable inseguridad vial.

1.3.2. Problema.-

La carencia de una metodología de evaluación del estado de los caminos no pavimentados de la red vial departamental de Tarija, la cual proporcione un indicador de estado de estos caminos, que facilite la planificación de acciones de conservación.

1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.4.1. Objetivo General

Implementar una metodología para la evaluación del estado de los caminos no pavimentados de la red vial departamental de Tarija, aplicada a los siguientes tramos:

- Al Sureste de Villa Montes, en la llanura chaqueña y son: Ruta Fundamental F11 (Cr. La Vertiente - Cr. Palo Marcado); Ruta Departamental D685 (Cr. Ruta F11 La Vertiente - Cr. Ruta D685 Taringuity); Camino Municipal Primario M 17 (Cr. Ruta F11 Puesto Las Palmitas - Cr. Ruta D685 Ramal Taringuity).
- Al Noreste de Villa Montes, en la llanura chaqueña y son: Ruta Departamental D661 (Cr. Ruta F9 Caigua - Cr. Tahiguaty) y Camino Municipal Secundario MS19 (Cr. F9 - Cr. M22).

Mediante un conjunto de procedimientos utilizados para valorar el estado en el cual se hallan estos caminos y proponer acciones de conservación para realizar el mantenimiento necesario.

1.4.2. Objetivos Específicos

- ✚ Estudiar la metodología para la determinación del estado de caminos con soluciones básicas. Asimismo la teoría general y específica relacionada con los caminos no pavimentados.
- ✚ Realizar la recopilación de antecedentes que incluye la recopilación de datos históricos e inventario sobre caminos no pavimentados del departamento de Tarija.
- ✚ Aplicar la metodología a la selección de tramos de caminos no pavimentados del departamento de Tarija y realizar la evaluación en terreno.
- ✚ Estimar el Índice de Condición de los Caminos No Pavimentados (ICNP) de una selección de tramos del departamento de Tarija a partir de ecuaciones existentes.

- ✚ Realizar la validación estadística de las ecuaciones que consiste en un test-t de igualdad de medias entre los valores de ICNP observado v/s ICNP calculado.
- ✚ Proponer umbrales de intervención a partir de la magnitud y severidad de los deterioros involucrados en la calificación de estado del ICNP.
- ✚ Evaluar los efectos causados por los deterioros y proponer alternativas de conservación para cada uno de los caminos.
- ✚ Elaborar las conclusiones y recomendaciones sobre el estudio realizado.

1.5. DISEÑO METODOLÓGICO

1.5.1. Componentes

1.5.1.1. Unidad de estudio

La unidad de estudio son los caminos no pavimentados de la red vial.

1.5.1.2. Población de estudio

La población son los caminos no pavimentados de la Red Vial Departamental de Tarija

1.5.1.3. Unidad de muestra

La unidad de muestra son los caminos no pavimentados de rutas ubicadas:

Al Sureste de Villa Montes, en la llanura chaqueña y son: Ruta Fundamental F11 (Cr. La Vertiente - Cr. Palo Marcado); Ruta Departamental D685 (Cr. Ruta F11 La Vertiente - Cr. Ruta D685 Taringuity); Camino Municipal Primario M 17 (Cr. Ruta F11 Puesto Las Palmitas - Cr. Ruta D685 Ramal Taringuity).

Al Noreste de Villa Montes, en la llanura chaqueña y son: Ruta Departamental D661 (Cr. Ruta F9 Caigua - Cr. Tahiguaty) y Camino Municipal Secundario MS19 (Cr. F9 - Cr. M22).

1.5.1.3.1. Muestreo

Considerando el tamaño de la red de caminos no pavimentados del departamento y la metodología planteada para el levantamiento de los parámetros, sería imposible recolectar oportunamente la información requerida en la totalidad de dicha red, dado el considerable tiempo y alto costo que demandaría una campaña de esta envergadura. Por tal razón se considera la subdivisión de los caminos en Zonas de Muestreo de 1 km, y éstas a su vez, en áreas más pequeñas denominadas Unidades de Muestreo (UM), cuya longitud y ubicación está determinado por la zona que permita contar con la suficiente representatividad posible de los datos recolectados.

Unidades y Zonas de Muestreo para Inspección de Caminos no Pavimentados

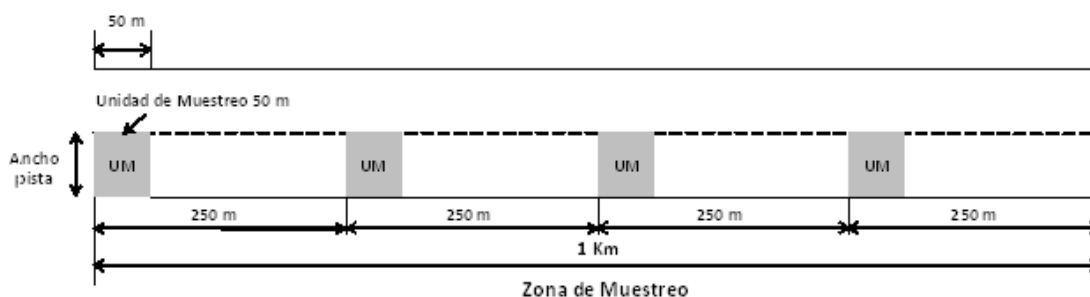
En este caso, la metodología aconseja tomar como unidad de muestreo un área rectangular de ancho igual al ancho de la pista y de largo 50 metros.

La Zona de Muestreo tendrá una longitud igual a 1 km. Ésta deberá quedar ubicada en un área con las siguientes características:

Cada Zona de Muestreo tendrá cuatro UM cada una. La primera UM deberá estar ubicada al inicio de la Zona de Muestreo, la segunda al inicio de los 250 m, la tercera al inicio de los 500 m y la cuarta al inicio de los 750 m.

Cada UM deberá estar libre de cruces, accesos a predios, puentes, obras de arte u otros elementos que alteren el efecto directo de la circulación de los vehículos sobre el deterioro de la calzada no pavimentada. El esquema de la Zona de Muestreo y Unidades de Muestreo se muestra en la Figura N°6.1 siguiente:

Figura 1 Esquema de la Zona de Muestreo y Unidad de Muestreo a utilizar



1.5.2. Evaluación Preliminar

Una vez identificados los diferentes tipos de caminos no pavimentados en función de las bases de datos entregadas por SEDECA Villa Montes y la Dirección de Tráfico y Transporte del Gobierno Autónomo Municipal de Villa Montes, y contemplando parámetros tales como longitud, material que compone la carpeta de rodadura, ubicación geográfica, clasificación de carreteras de acuerdo a su importancia y nivel de servicio, se procederá a efectuar visitas a terreno y con el fin de observar el estado actual de los caminos y sus posibles deterioros considerando la zona geográfica donde están ubicados.

Como resultado de la visita preliminar a terreno, se caracterizarán los principales deterioros que se manifiestan en los caminos básicos, sus posibles causas, y efectos sobre el tipo de superficie analizada. En la Tabla 1.

Tabla 1. Deterioros a ser considerados en la metodología

Caminos de tierra	Caminos de Ripio
Calamina	Calamina
Baches	Baches
Erosión	Erosión
Camino Pedregoso	Ahuellamiento
Perfil Transversal	Perfil Transversal
IRI	IRI

1.5.2.1. Selección de caminos a auscultar

En base al análisis de los antecedentes recopilados, en función a la zona que permita contar con la suficiente representatividad posible de los datos recolectados y en conjunto con SEDECA Villa Montes y la Dirección de Tráfico y Transporte del Gobierno Autónomo Municipal de Villa Montes, se definió el listado final de caminos no pavimentados a auscultar con los cuales se realizará el desarrollo y validación de las ecuaciones de estado. Las evaluaciones de los caminos auscultados serán muestrales y representativas de las distintas superficies de rodadura de caminos no pavimentados y deterioros identificados.

La medición de parámetros se realizó mediante Unidades Muéstrales (UM) de 50 m con un mínimo de 100 UM, por lo que se procedió a inspeccionar al menos 25 km. El levantamiento de información se debe agrupar por tipo de superficie de rodadura de camino no pavimentado inspeccionado, siendo éstos caminos de tierra y caminos de ripio.

1.5.2.2. Método de inspección

➤ Inspección Objetiva de Deterioros

Considerando que la factibilidad de contar con equipos de auscultación automática en todo el territorio nacional es reducida, se plantea una metodología de auscultación manual además de una metodología de auscultación automática.

- IRI, por medio de un equipo topográfico denominado nivel de ingeniero y el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional con el método de la mira y el nivel.
- Deformaciones, baches y deterioros superficiales, para esta evaluación se consideró la realización de evaluaciones manuales.

➤ Inspección Subjetiva Mediante Expertos

El Método Delphi se basa en la evaluación de expertos. La evaluación subjetiva consistió en que cada experto calificara cada tramo en una escala de 5 niveles (“Muy Malo” a “Muy Bueno”), al mismo tiempo que lo calificaba con una nota entre 1 y 10 de acuerdo a su experiencia y apreciación.

1.5.3. Técnicas

❖ Extracto del Instructivo de Inspección Visual de Caminos No Pavimentados (MOP, 2008), utilizado en el presente proyecto

- **Procedimiento General.**-El objetivo de la inspección en caminos no pavimentados es recoger en terreno el valor de ciertos parámetros de estado representativo, observables y/o medibles de la calzada.

- **Variables a Registrar.**-Para el caso de los caminos no pavimentados, se ha considerado contemplar los siguientes aspectos como variables principales:

- Perfil Transversal y Drenaje (bombeo)
- Calaminas
- Erosión
- Baches
- Ahuellamiento
- Afloramiento de Material o Incrustaciones de áridos (camino pedregoso)

- **Datos específicos de cada tramo**

Ubicación de la Inspección: Corresponde a la identificación de los kilómetros (inicial y final) en que se encuentra ubicada el área examinada. Al respecto, es necesario mencionar que se debe tener claramente establecido el kilometraje real del camino, con respecto a su kilómetro “0”.

Tipo de Material: Se deberá registrar en la ficha el tipo de material que se observe en cada zona de muestreo. Los tipos de material considerados corresponden a:

- Material natural (N): material que pertenece al terreno natural y que no ha sido modificado ni mejorado.
- Material Seleccionado (S): material que ha sido seleccionado y colocado sobre el suelo natural. Ejemplo: ripio, maicillo, etc.
- Superficie Estabilizada (E): capas granulares estabilizadas con algún material como los son: cal, cenizas, cemento u otros productos químicos.

- **Información de deterioros a registrar en la ficha de inspección**

A continuación, se presentan los diferentes aspectos a registrar en el presente instructivo de inspección visual. Es importante destacar que todos los deterioros deben ser medidos únicamente en la unidad de muestreo, salvo el caso de la erosión,

que debe reportarse en la ficha, aunque toda su extensión se encuentre fuera de la misma.

- **Bombeo (perfil transversal):** Un buen perfil corresponde a una calzada en forma cóncava con su parte más alta en el eje central longitudinal de la calzada, de modo que el agua escurra a los costados de la misma para ser drenada, sin afectar la estructura del camino. Por otro lado se considerará un mal perfil transversal aquel de forma convexa o con excesivas irregularidades que afecten el normal drenaje del camino. En terreno el registro de la información de perfil transversal de la unidad de muestreo debe tomarse a la mitad de ésta, siempre y cuando el perfil en ese sitio sea realmente representativo del tramo. Se deberá registrar: B: buen bombeo ó M: mal bombeo.
- **Drenaje:** realizar una inspección general que permita saber si los elementos de drenaje que existen cumplen con su función. Si el drenaje cumple su función, se califica como bueno, en caso contrario si el drenaje no cumple su función o es insuficiente se califica como malo. En cuanto a la evaluación a incluir en la planilla debe hacerse respecto a la valoración total del drenaje en toda la unidad de muestreo. Al igual que en el caso del bombeo, se deberá registrar: B: buen drenaje o M: mal drenaje.
- **Ahuellamiento:** Respecto a la medición en terreno se debe utilizar una regla con la cual se pueda medir el ahuellamiento representativo de la unidad de muestreo correspondiente. Se debe reportar en la ficha el valor promedio de ahuellamiento de al menos tres lecturas localizadas de manera aleatoria a lo largo de la unidad de muestreo y que puedan considerarse como representativas de la condición de ahuellamiento existente dentro de ella. Se aconseja que los puntos de lectura estén alejados entre si al menos 5 metros longitudinalmente.
- **Baches:** Se debe reportar en la ficha el número de baches que afectan la circulación de los vehículos dentro de la unidad de muestreo valor promedio del diámetro (en centímetros) y la profundidad (en centímetros) de al menos

tres baches localizados de manera aleatoria en la unidad de muestreo y que puedan considerarse como representativos de la condición que es posible observar.

- Calaminas: se debe considerar la profundidad media de la misma, para lo cual se puede utilizar una regla (de 1.5 metros aproximadamente) similar a la empleada para medir ahuellamiento pero colocándola en el sentido de circulación de los vehículos. Se debe reportar en la ficha el valor promedio de la profundidad (medida en centímetros) de al menos tres lecturas localizadas de manera aleatoria en la unidad de muestreo y que puedan considerarse como representativas de la condición de las calaminas existentes dentro de ella si se trata con el criterio a nivel de red.
- Diámetro del material grueso (Afloramiento e Incrustación de partículas gruesas en la superficie de la calzada): en la inspección de este tipo de deterioro se debe determinar primero su naturaleza, es decir si se trata de material grueso que aflora, se incrusta o se deposita, y segundo en caso de ser considerable su efecto y cantidad, se debe llevar registro del tamaño máximo promedio de las partículas gruesas sueltas que obedezcan a la descripción de este problema y que típicamente se observan en la unidad de muestreo. Se debe reportar en la ficha la descripción que más se ajuste a lo observado en terreno dentro de la unidad de muestreo y se registrará el diámetro máximo que en promedio tengan las partículas gruesas que en forma representativa pueden encontrarse dentro de ella, en este sentido es claro que el criterio del encargado de la inspección es importante para la correcta elección del diámetro del material a registrar en la planilla.
- Erosión: Este es el único deterioro que debe registrarse aunque exista fuera de la unidad de muestreo. Se debe reportar en la ficha el valor promedio de la profundidad y ancho de al menos tres lecturas localizadas de manera aleatoria en la zona de muestreo (que corresponde a todo el kilómetro que se está inspeccionando) y que puedan considerarse como representativas de la

condición de zanjas formadas por los procesos de erosión existentes dentro de ella.

- IRI, por medio de un equipo topográfico denominado nivel de ingeniero y el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional con el método de la mira y el nivel.¹

Evaluación de la Condición de Estado por un Panel de Expertos

La evaluación del panel de expertos consiste en una calificación cuantitativa de una serie de escenarios producto de una combinatoria de los diversos tipos de deterioro con distintos niveles de magnitud, descritos en una encuesta. A partir de dicha evaluación se desarrollaron las ecuaciones matemáticas que relacionan el Índice de Condición de Caminos No Pavimentados (ICNP) con los deterioros considerados.

Se consideran tres zonas climáticas representativas para las condiciones de Chile, seca, mediterránea y húmeda.

La figura siguiente muestra el formato tipo de la encuesta:

Figura 2 Formato utilizado en la Encuesta (Ej.: Caminos de Ripio, Auscultación Sin Equipos)

CAMINOS DE RIPIO, AUSCULTACIÓN SIN EQUIPOS ESPECIALIZADOS										
Esc.	Deterioros e Indicadores					Calificación Cuantitativa	Calificación Cualitativa del Estado por Zona Climática			
	Calamina (Alta/ Media/ Baja)	Baches (Si/ No)	Erosión (Si/ No)	Ahuellamiento y Material Suelto (Si/ No)	Perfil transversal y drenaje (Bueno/Malo)		Nota Escenario (1 a 10)	(Muy Bueno/ Bueno/ Regular/ Malo/ Muy Malo)	Seca	Mediterránea
	1	Alta	Si	Si	No	Malo				
2	Media	Si	Si	No	Malo					
3	Baja	Si	Si	No	Malo					
4	Alta	Si	Si	Si	Malo					
5	Media	Si	No	No	Bueno					
6	Media	Si	Si	Si	Malo					
7	Media	No	No	Si	Bueno					
8	Alta	Si	No	No	Malo					
9	Baja	No	No	No	Bueno					
10	Media	Si	No	Si	Bueno					
11	Media	Si	No	No	Malo					
12	Baja	No	No	Si	Bueno					
13	Alta	Si	No	Si	Bueno					
14	Media	No	No	No	Bueno					
15	Media	Si	No	Si	Malo					
16	Alta	Si	No	Si	Malo					

Fuente: Estudio Básico: Modelos de Deterioro de Caminos No Pavimentados. MOP. (2008). Chile.

¹ MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (CHILE). (2008). Instructivo de Inspección Visual de Caminos No Pavimentados. Santiago, Chile: Autor.

1.5.4. Medios

Los siguientes instrumentos y equipos constituyen los medios utilizados para la medición de deterioros y cotas del ahuellamiento para el cálculo del IRI:

Flexómetro



**Reglas de madera de
1.3 m y 1.5 m**



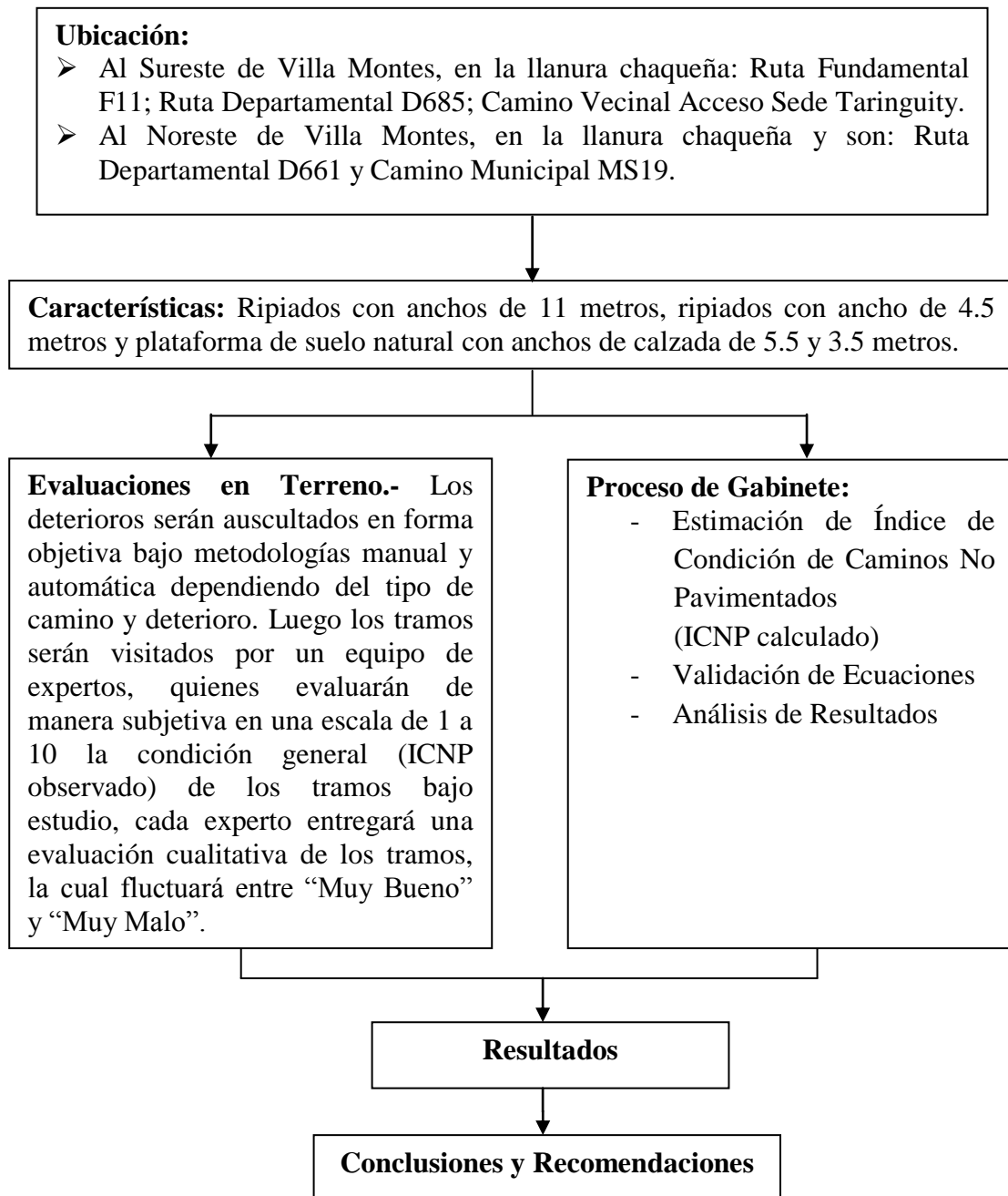
GPS GARMIN



Nivel Ingeniero - Mira - Cinta Métrica (50 m)



1.5.5. PROCESO METODOLÓGICO



1.6. ALCANCE

El presente estudio de aplicación se realizó notando la falta de un indicador de condición de los caminos no pavimentados de la red vial departamental de Tarija que exprese la necesidad de intervención de los caminos en nuestro departamento. Basándonos en una metodología desarrollada en Chile que presenta una secuencia de pasos a realizar para conocer el indicador de estado de los caminos básicos, lo que se pretende con este estudio es aplicar esta metodología a una selección de caminos no pavimentados de la red vial del departamento de Tarija, para conocer el indicador de estado de nuestros caminos que refleje la urgencia y necesidad de intervención de los caminos estudiados.

Este estudio de aplicación surge por la necesidad de conocer el estado de los caminos no pavimentados de la red vial del departamento de Tarija, por ello se realizó la implementación de una metodología desarrollada en Chile, la cual permite conocer el índice de condición de los caminos, que se constituye en una herramienta de gestión que posibilita relacionar un valor objetivo, con un estado subjetivo que refleja la urgencia y necesidad de intervención del camino estudiado. Se aplicó este procedimiento a una selección de caminos no pavimentados de la red vial de Tarija efectuándolo con las técnicas y medios correspondientes y mediante un proceso metodológico.

Mediante es estudio de las carreteras, su clasificación y características de los caminos no pavimentados, repasamos los conceptos básicos para aplicarlos en la realización del presente estudio de aplicación, ya que es de utilidad para clasificar los caminos en los cuales se aplicó la metodología y saber cuáles son sus características de diseño, funcionalidad, importancia y nivel de servicio. También es imprescindible conocer la metodología para la determinación del estado, la cual es la base del presente estudio de aplicación.

La metodología para la determinación del estado de caminos con soluciones básicas en primer lugar presenta una síntesis de los aspectos más importantes sobre los cuales

se basó la revisión de antecedentes. Luego, se explica la metodología propuesta para el desarrollo de las ecuaciones de estado para caminos con soluciones básicas, describiendo la selección de caminos a auscultar, los métodos de inspección utilizados, y el análisis estadístico de los datos recopilados en terreno. Finalmente, se presenta la validación o desarrollo de ecuaciones de estado para caminos con soluciones básicas y los resultados obtenidos.

La aplicación práctica de la evaluación de estado se realizó en una selección de tramos de la red vial del departamento de Tarija, en primer lugar se realizó la recopilación de antecedentes de los datos históricos e inventario vial de los caminos, luego se elaboró el diseño preliminar, considerando una evaluación preliminar y la selección de caminos a auscultar, posteriormente se efectuó la evaluación en terreno donde se aplican los métodos de inspección antes descritos. El trabajo en gabinete consistió en: Estimación de Índice de Condición de Caminos No Pavimentados (ICNP), Validación de Ecuaciones Existentes, Análisis de Regresión, Análisis de Resultados, Ajustes a Ecuaciones Y Validación Final. También se plantean los límites de asignación de Estado.

Finalmente se elaboran las conclusiones y recomendaciones de presente estudio de aplicación, donde notamos el verdadero alcance de este trabajo, el mismo que es en beneficio de las instituciones encargadas de la planificación vial y de manera indirecta, también beneficiara a los habitantes del departamento de Tarija.

CAPÍTULO II ASPECTOS GENERALES DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS Y EVALUACIÓN DE ESTADO EN CARRETERAS NO PAVIMENTADAS

2.1. DEFINICIÓN DE CARRETERA

La carretera se puede definir como la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada.²

La palabra carretera se puede definir de diversas formas. Así, podemos entender que es un: “*camino público, ancho y pavimentado dispuesto para el paso de vehículos*”, o que es una “*vía de comunicación entre poblados, debidamente acondicionada y asfaltada, destinada a la circulación de vehículos*”, o tal vez una “*vía de comunicación que por lo general mantiene la autoridad gubernamental para el paso de vehículos, personas o animales*”, pero sin duda una carretera es una obra de infraestructura que contribuye al desarrollo y progreso de la nación o pueblo que la proyecta y construye.

Por necesidad, los primeros caminos fueron vías de tipo peatonal (veredas) que las tribus nómadas formaban al deambular por las regiones en busca de alimento; cuando esos grupos se volvieron sedentarios, los caminos peatonales tuvieron finalidades religiosas, comerciales y de conquista (en América, y en México en particular, hubo este tipo de caminos durante el florecimiento de las civilizaciones prehispánicas).

Con la invención de la rueda, apareció la carreta jalada por personas o por bestias y fue necesario acondicionar los caminos para que el tránsito se desarrollara lo más “rápido” y “cómodo posible”.

“La construcción de carreteras ha sido uno de los primeros signos de civilización avanzada. Cuando las ciudades de las primeras civilizaciones empezaron a aumentar de tamaño y densidad de población, la comunicación con otras regiones se tornó

²CRESPO VILLALAZ C. 2004. Vías de Comunicación. México. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores, 3a Edición. 715 p.

necesaria para hacer llegar suministros alimenticios o transportarlos a otros consumidores.³

La principal diferencia que presenta una carretera respecto de un camino es que la misma es generalmente ancha, permitiendo la circulación de importante caudal vehicular y se encuentra especialmente preparada para la circulación de vehículos, es decir, dispone de señalizaciones que indican velocidades máximas y mínimas, cruces de otras carreteras, salidas, delimitaciones de carriles en función de la velocidad permitida, entre las cuestiones más importantes.⁴

- **Función de la carretera o camino**

Las vías de transporte están destinadas fundamentalmente a servir al tránsito de paso, a dar acceso a la propiedad colindante o bien a dar un servicio que sea combinación de ambas posibilidades.⁵

2.2. GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURA VIAL

“Se llama Infraestructura Vial a todo el conjunto de elementos que permite el desplazamiento de vehículos en forma confortable y segura desde un punto a otro, minimizando las externalidades al medioambiente y a su entorno”. Por lo tanto, dentro de estos elementos se ubican las carreteras, puentes, túneles, pasarelas, enlaces, barreras de contención, etc. Uno de los principales elementos de la infraestructura vial corresponde a los caminos, ya que son éstos los que permiten el desplazamiento. Además, es en los caminos precisamente donde se genera la mayor necesidad de recursos debido a su alto costo de mantenimiento, además de constituir el principal factor influyente en el costo de los usuarios del camino.

La Gestión de Infraestructura Vial, por lo tanto, se encarga de administrar los distintos elementos antes mencionados a través de la realización de actividades tales como conservación, rehabilitación o reconstrucción, con el objetivo de que la

³Alonso S., L.A.; G.J. Rodríguez R. 2005. Carreteras; Elementos de Ingeniería de Tránsito. Mérida, Yucatán, México. Departamento editorial, Universidad autónoma de Yucatán. Vol. 8, 294 p.

⁴<http://www.definicionabc.com/general/carretera.php>

⁵Administradora Boliviana de Carreteras (Bolivia). Manuales Técnicos para el Diseño de Carreteras; Controles Básicos de Diseño; Sistemas de Clasificación Funcional para Diseño. Bolivia. Vol. 1, 438 p.

infraestructura siga prestando un servicio adecuado a través del tiempo, optimizando los recursos disponibles.⁶

Existen diversas formas de clasificar las carreteras:

2.3. CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE LAS CARRETERAS

Las carreteras se clasifican en función de los carriles que la componen, las distintas calzadas, si tienen o no cruces al mismo nivel o el tipo de tráfico que soportan. Los gobiernos suelen tener un departamento que se encarga de numerar y catalogar las carreteras de su territorio.⁷

La carretera es una vía de características de diseño altas, adecuada para acomodar importantes volúmenes de tránsito de paso circulando a velocidades elevadas. Consecuentemente, deberá siempre contar con pavimento de tipo superior. Se clasifica en:

- **Autopistas, Autorrutas y Primarias.**

Los caminos son vías de características geométricas medias a mínimas, adecuadas para dar servicio a volúmenes moderados y bajos de tránsito, cuya función principal consiste en dar acceso a la propiedad adyacente. Se clasifican en:

- **Colectores, Locales y Desarrollo.**⁸

2.3.1. Sistema de Clasificación Funcional

La clasificación de carreteras y caminos motivo de la presente sección está orientada específicamente al diseño. De acuerdo a lo extraído del Manual Técnico para el Diseño de Carreteras de la ABC. Bolivia. Vol. 1.

Categorías de las vías.- La clasificación para diseño consulta seis categorías divididas en dos grupos, ellas son:

⁶Namur Yunis Emil Jorge. 2008. Metodología Simplificada para la Detección de Necesidades de Mantenimiento en Caminos no Pavimentados. Santiago de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile Escuela de Ingeniería. 170 p.

⁷<https://es.wikipedia.org/wiki/Carretera>

⁸Administradora Boliviana de Carreteras (Bolivia). Manuales Técnicos para el Diseño de Carreteras; Controles Básicos de Diseño; Sistemas de Clasificación Funcional para Diseño. Bolivia. Vol. 1, 438 p.

- Carreteras: Autopistas, Autorrutas y Primarias
- Caminos: Colectores, Locales y de Desarrollo

Cada categoría se subdivide según las velocidades de proyecto consideradas al interior de la categoría. Las Vp más altas corresponden a trazados en terrenos Llanos, las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas a terrenos montañosos o cuyo entorno presenta limitaciones severas para el trazado.

Se presenta a continuación el resumen de las características principales según categorías.

Tabla 2 Clasificación Funcional de Carreteras y Caminos

CATEGORÍA		SECCIÓN TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)	CÓDIGO TIPO
		N° CARRILES	N° CALZADAS		
AUTOPISTA	(O)	4 ó + UD	2	120 – 100 – 80	A (n) - xx
AUTORRUTA	(I.A)	4 ó + UD	2	100 – 90 – 80	AR (n) - xx
PRIMARIO	(I.B)	4 ó + UD	2 (1)	100 – 90 – 80	P (n) - xx
		2 BD	1	100 – 90 – 80	P (2) - xx
COLECTOR	(II)	4 ó + UD	2 (1)	80 – 70 – 60	C (n) - xx
		2 BD	1	80 – 70 – 60	C (2) - xx
LOCAL	(III)	2 BD	1	70 – 60 – 50 – 40	L (2) - xx
DESARROLLO		2 BD	1	50 – 40 – 30*	D– xx

Fuente: Manuales Técnicos para el Diseño de Carreteras ABC (BOLIVIA)

- UD: Unidireccionales (n) Número total de carriles

- BD: Bidireccionales - xx Velocidad de proyecto (km/h)

* Menor que 30 km/h en sectores puntuales conflictivos

2.4. CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS DE ACUERDO A SU IMPORTANCIA Y NIVEL DE SERVICIO

El sistema de carreteras en Bolivia se clasifica en tres grupos de vías de acuerdo a su importancia y nivel de servicio:

- Carreteras de la Red Vial Fundamental.

- Carreteras de la Red Departamental.
- Carreteras de la Red Municipal.

Según el tipo de superficie de rodadura se tienen carreteras con pavimento, grava y de tierra.⁹

2.4.1. Carreteras de la Red Fundamental

Quedan bajo competencia del Estado aquellas carreteras que:

- a) Vinculen las capitales políticas de los departamentos
- b) Permitan la vinculación de carácter internacional, conectándose con las carreteras principales existentes de los países limítrofes.
- c) Conecten en los puntos adecuados dos o más carreteras de la red fundamental
- d) Cumplan con las condiciones de protección ambiental.

Las carreteras de la Red Fundamental, se identificarán con la letra "F" dentro de un escudo. La letra estará seguida por un numeral que identifica en orden correlativo las carreteras que conforman la red.

2.4.2. Carreteras de la Red Departamental

Quedan bajo competencia de los gobiernos autónomos departamentales aquellas carreteras y/o caminos que:

- a) Integren las distintas regiones de un departamento.
- b) Se conecten directamente con la Red Vial Fundamental.
- c) Permitan la conexión corta a través de caminos municipales.
- d) Vinculen las capitales de provincia con la capital de departamento.
- e) Conecten con sistemas de transporte multimodal.
- f) Den acceso a polos de desarrollo departamentales.

⁹http://www.e-asfalto.com/redvialbolivia/red_vial_de_bolivia.htm

Las carreteras de las Redes Departamentales, se identificarán con la letra "D" dentro de un círculo. La letra estará seguida por un numeral que identifica en orden correlativo las carreteras que conforman cada red.

2.4.3. Carreteras de la Red Municipal

Quedan bajo competencia de los gobiernos municipales aquellas carreteras y/o caminos que:

- a) Son caminos alimentadores de la red departamental y/o fundamental.
- b) Vinculen las poblaciones rurales, comunidades o centros de producción, entre capitales de provincia o de capitales de provincia con capital de departamento.

Las carreteras de las Redes Municipales, se identificarán con la letra "M" dentro de un rombo. La letra estará seguida por un numeral que identifica en orden correlativo las carreteras que conforman cada red.¹⁰

2.5. CLASIFICACIÓN SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

2.5.1. Caminos Pavimentados

Las carreteras pavimentadas son aquellas cuyas superficies están cubiertas por piedra triturada (macadán) y carpeta de hidrocarburo o agentes bituminosos, con concreto o con adoquines.¹¹

En general los pavimentos se dividen en dos tipos: los pavimentos rígidos y de concreto hidráulico y los pavimentos flexibles o de asfalto. La diferencia estructural entre ellos estriba en que los pavimentos flexibles presentan muy poca resistencia a la flexión.

En un pavimento rígido la losa de concreto suele constituir al mismo tiempo, la capa de rodamiento y el medio para soportar y distribuir la carga. Cuando el suelo que

¹⁰Bolivia: Decreto Supremo N° 25134, 21 de agosto de 1998(Disponible en: <http://www.lexivox.org>. Consultado el: 15 de junio de 2015).

¹¹ <http://datos.bancomundial.org/indicador/IS.ROD.PAVE.ZS>

forma las terracerías es de mala calidad, es necesario colocar bajo las losa un material de sub-base de grava bien graduada y compactada o de suelo estabilizado para conseguir una mejor distribución de las cargas. En el caso de los pavimentos flexibles, sus partes constitutivas son: nivel de rasante, carpeta asfáltica, base, sub-base, y terracería o sub-rasante.

2.5.2. Caminos no Pavimentados

Los caminos no pavimentados son caminos con carpeta de rodadura de ripio o tierra y donde normalmente existe un bajo nivel de tránsito. Los caminos de tierra son aquellos en que la superficie de rodadura es el terreno natural, nivelado y compactado mediante el uso de herramientas o maquinarias simples.¹²

La principal clasificación utilizada en este estudio de aplicación será la que se realiza según el material que compone la carpeta de rodadura, estudiando los caminos no pavimentados. La mayor parte de los kilómetros de la red vial departamental corresponde a caminos sin pavimentar, podría pensarse que a los caminos no pavimentados no se les da real importancia para el país, es por eso que también repasaremos la importancia que reviste este tipo de caminos.

La importancia de los caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito¹³ puede subdividirse principalmente en dos:

- i) Importancia social: asegurar un mínimo nivel de acceso a recursos y oportunidades a localidades más aisladas.
- ii) Importancia estratégica: dar conectividad al país de manera de poder contar con accesos de movilización, evacuación y ayuda a la mayor parte del territorio en caso de desastres y conflictos.

¹²Ministerio de Transporte y Comunicaciones (Perú).2005. Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito. Lima, República del Perú. 202 p.

¹³ Los caminos no pavimentados son, en la mayoría de los casos, caminos de bajo volumen de tránsito, pues un camino será económica y socialmente conveniente de ser pavimentado, toda vez que exceda cierto volumen diario de tránsito.

Debido entonces a su gran aporte en la composición de la red vial nacional y a su especial importancia para el país, se hace necesario realizar una adecuada administración de este tipo de caminos. Vale la pena aclarar que, no obstante el realce que se busca dar a los caminos no pavimentados en la presente implementación metodológica, la mayor cantidad de viajes se realiza en caminos de la red fundamental, mayormente pavimentados. Esto ocurre debido a las características de “alta movilidad” que presentan, pese a que su extensión es menor.

Existen casos, en que presiones de todo tipo terminan por otorgar estándares inadecuados a los caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito, aumentando con ellos los costos totales de administración y/o de los usuarios¹⁴. Por lo tanto, debe existir un criterio que establezca de manera clara el estándar mínimo que debe cumplir un Camino No Pavimentado.

Tipos de superficie de rodadura

- Caminos de tierra
- Caminos de ripio

No obstante el presupuesto para la conservación de caminos ha aumentado en el último tiempo, éste sigue siendo insuficiente para proveer a los caminos no pavimentados de un nivel de servicio adecuado a las necesidades actuales de los usuarios. Sin embargo, pese a esta realidad, la Dirección de Vialidad ha venido realizando sistemáticamente esfuerzos por utilizar eficientemente los recursos disponibles, a través de la mejora continua de su quehacer, por ejemplo, en el ámbito de la gestión de la conservación ha venido desarrollando e implementado una política de conservación para sus diversas redes viales. En este caso, para la red vial no pavimentada, se elaboró una política de conservación, que comprende el conjunto de estándares de conservación para proveer a las calzadas no pavimentadas, de tierra y ripio, de un nivel de servicio acorde con los presupuestos asignados.

¹⁴ Caminos que no merecen grandes inversiones en mantenimiento son mantenidos con altos estándares, o caminos con grandes necesidades son mantenidos con bajos estándares.

De acuerdo a lo anterior, es necesario establecer una metodología que permita catastrar el estado de la superficie no pavimentada, ya sea cualitativa o cuantitativamente, a través de la medición de parámetros de deterioro funcional y estructural para luego evaluar el estado de las calzadas de ripio y tierra y definir criterios de intervención basados en los resultados de la evaluación.

Debido a que las políticas de mantenimiento de Chile difieren con las de Bolivia, se presenta a continuación una tabla comparativa entre la normativa chilena y las normas del SEDECA:

Tabla 3 Normativa Chilena - Normas del SEDECA

DIRECCION DE VIALIDAD	SEDECA
<p>➤ Política de Conservación Vial Etapa 3 – Caminos No Pavimentados</p> <p>La política de conservación para caminos no pavimentados, constituye una propuesta que permite orientar y apoyar la labor del mantenimiento que administra la Dirección de Vialidad, sobre un sustento teórico, técnico y práctico que considera, por una parte, el análisis del comportamiento de las carpetas granulares sometidas a las condiciones climáticas y de cargas de tránsito, y por otra, a través del diagnóstico de la situación actual en las Direcciones Regionales de Vialidad (DRVs), da cuenta de aquellos aspectos que pueden ser mejorados para hacer más eficaz y eficiente las gestión de los departamentos regionales de conservación.</p>	<p>➤ Manual de diseño geométrico vigente de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras)</p> <p>En este manual se entregan recomendaciones de diseño, incluyendo los antecedentes técnicos necesarios para su aplicación y se especifican normas y criterios de proyecto.</p> <p>➤ SAM (Sistema de Administración de Mantenimiento)</p> <p>El Manual de Administración de Mantenimiento permitirá el mejoramiento en la elaboración de los Informes de Mantenimiento y contribuir de manera eficiente y oportuna la presentación de la documentación a la Oficina Central.</p>

Fuente: MOP (Chile). Política de Conservación - Caminos No Pavimentados y SEDECA. Manual ABC – Manual del SAM

Mediante la comparación de normativas notamos que ambos países cuentan con políticas mediante las cuales realizan los mantenimientos a los caminos no pavimentados, no obstante la política chilena da cuenta de una propuesta de parámetros de deterioro de caminos no pavimentados factibles de cuantificar, sobre la base de los resultados de un estudio de investigación realizado por la Dirección de Vialidad, el año 2008, el cual establece además, una metodología de inspección de

deterioros, define un indicador que cuantifica el estado de la superficie, se categorizan diferentes condiciones de estado en base a este indicador y finalmente se proponen umbrales de intervención.

2.5.2.1. Deterioros en Caminos no Pavimentados

A partir de la información recolectada de las distintas fuentes consultadas, principalmente del estudio denominado “Modelos de Deterioro de Caminos No Pavimentados”, se reconocen los siguientes deterioros más frecuentes en calzadas no pavimentadas:

➤ **Calaminas**

Daño que se manifiesta por la pérdida de regularidad superficial debida a la aparición de ondulaciones que ocurren a intervalos regulares a lo largo del camino, debido al movimiento de la suspensión de los vehículos que transitan, causando cargas dinámicas a intervalos regulares, y como consecuencia un ondeo repetitivo de la superficie que refleja el modo de vibrar de la suspensión.

La posible causa estructural de la generación de calaminas se puede deber a la mezcla de aspectos tales como una superficie inestable, bases pobres y la excesiva humedad en la subrasante. La compactación impropia y baja estabilidad y densidad del agregado también juegan un papel como posible causa.

➤ **Baches**

Son espacios vacíos y depresiones que se forman puntualmente en la superficie que determinan fallas localizadas de la superficie de la calzada. Normalmente se explica su existencia por causas tales como: pobre drenaje, baja capacidad de soporte, baja densidad, graduación pobre, susceptibilidad térmica y fallas de la superficie por acción del tránsito.

➤ **Ahuellamiento**

Depresiones a lo largo del camino sobre las huellas que dejan las ruedas de los vehículos. El ahuellamiento es causado por baja capacidad de soporte o baja densidad

de la base y/o subbase, debido a una baja e inadecuada compactación del material. Los camiones pesados pueden generar ahuellamiento cuando el material de base y subbase se encuentra saturado. El agua en exceso puede causar superficies inestables y puede llevar a generar ahuellamientos.

➤ **Levantamiento de Polvo**

Este tipo de problema se presenta cuando al paso de los vehículos se levantan y quedan en el aire partículas finas principalmente.

➤ **Depresiones**

Las depresiones son un tipo de daño que se caracteriza por manifestarse como una depresión localizada de la superficie, y puede llegar a considerarse un daño cuando afecta notoriamente la calidad de la rodadura, o en el caso de que existan pozos de agua en la superficie, puede ocasionar serios inconvenientes a la conducción de los vehículos.

La posible causa de las depresiones puede deberse a deficiencias de la fundación, contenido excesivo de humedad, drenaje inadecuado, a problemas durante la construcción o la existencia de una superficie inestable. También, puede ser el resultado de fallas de la superficie bajo la acción del tránsito, y particularmente, debido al paso de camiones pesados cuando la base de la estructura se encuentra saturada.

➤ **Material Suelto**

La rodadura con el tiempo perderá material que va soltando arena gruesa de la superficie debido a la acción del tránsito. Esto particularmente sucede debido a una muy baja plasticidad por falta de finos, por una pobre distribución de tamaños del material de la carpeta de rodadura o simplemente por una pobre compactación. La pérdida de la arena gruesa es más severa en caminos que tienen volúmenes de tránsito más altos con camiones pesados, en zonas con fuertes pendientes y trazados con muchas curvas.

➤ **Erosión**

Es la pérdida de material de la superficie producida fundamentalmente por la acción agresiva del agua.

➤ **Deterioro Superficial**

Es la pérdida de material y de integridad de la superficie del camino debido al medioambiente, a problemas durante la construcción o a la acción del tránsito. Este tipo de deterioro puede causar incomodidades en la conducción y problemas mayores en el futuro. Las causas principales que generan este tipo de daño se deben a una inapropiada compactación, baja capacidad de soporte y a una baja densidad de las capas de superficie y de base.

➤ **Resbalamiento**

Causado cuando la superficie de rodado contiene excesiva cantidad de agregados finos en proporción a la fracción gruesa. Adicionalmente, por acción del tránsito, se puede producir un trituramiento de los materiales más gruesos, convirtiéndolos en partículas más finas lo que ocasiona que se cambie la conformación del material de la superficie y se haga más resbaladiza.

2.6. EVALUACIÓN DE ESTADO EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS

En el presente estudio se aplica una metodología para la determinación del estado de caminos con soluciones básicas, basada en la evaluación objetiva de deterioros en tramos testigo, y la evaluación subjetiva de expertos que calificaron cada unidad de muestra de acuerdo a su experiencia y apreciación. Las evaluaciones de los caminos auscultados fueron muestrales y representativas de las distintas tipologías de soluciones básicas y deterioros identificados, así como de las distintas zonas geográficas del país. Esta metodología fue desarrollada por el Ministerio de Obras Públicas de Chile en colaboración con DDQ Ingenieros Consultores Ltda., y

presentada en el 11er Congreso Internacional PROVIAL realizado del 20 al 24 de Octubre de 2014 en la ciudad de Valdivia, comuna chilena.¹⁵

En primer lugar, se presenta una síntesis de los aspectos más importantes sobre los cuales se basó la revisión de antecedentes. Luego, se explica la metodología propuesta para el desarrollo de las ecuaciones de estado para caminos con soluciones básicas, describiendo la selección de caminos a auscultar, los métodos de inspección utilizados, y el análisis estadístico de los datos recopilados en terreno. Finalmente, se presenta la validación o desarrollo de ecuaciones de estado para caminos con soluciones básicas y los resultados obtenidos.

2.6.1. Metodologías para la Determinación del Estado

La literatura nacional e internacional da cuenta de diversas metodologías de evaluación y determinación del estado de caminos. En general, los procedimientos difieren según sean éstos pavimentados o no pavimentados. De la literatura revisada, sin embargo, se identificó que no existen metodologías específicas desarrolladas para la determinación del estado de caminos tratados con soluciones básicas.

En Chile, entre los años 2005 y 2007 se desarrollaron las metodologías para la Determinación del Estado de Caminos Pavimentados y No Pavimentados, por la Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas. Ambos estudios consideraron la aplicación del Método Delphi basado en encuestas a expertos. En dichas encuestas se plantearon una serie de escenarios que consideraron la combinatoria de diversos tipos de deterioro con distintos niveles de magnitud. Los expertos debieron evaluar cada uno de los escenarios otorgando una calificación cuantitativa. A partir de un análisis de regresión múltiple entre los deterioros considerados y la calificación cuantitativa definida por el panel, fue posible obtener las ecuaciones de estado para cada tipo de pavimento.

¹⁵ ARAVENA R., C.; R. LUCERO; R.DIAZ. 2014. Metodología para la Determinación del Estado de Caminos con Soluciones Básicas. Valdivia, Chile. 16 p.

En particular, la Metodología para Determinación de Estado de Caminos Pavimentados incluyó tratamiento superficial, pavimentos asfálticos y hormigón. En tanto, la Metodología para Determinación de Estado de Caminos No Pavimentados incluyó ripio y tierra. Ambas metodologías fueron validadas en terreno con datos de mediciones y evaluaciones subjetivas de un panel de expertos. Adicionalmente, la Metodología para Determinación de Estado de Caminos No Pavimentados fue validada en una red de 180 km a la cual se realizó seguimiento durante 3 años.

La metodología basada en encuestas a expertos resulta muy conveniente cuando se tienen tendencias claras sobre la importancia de ciertos deterioros sobre la condición general de un pavimento. Asimismo, es viable en la medida que todos los expertos encuestados tengan un alto conocimiento de los escenarios definidos para todos los pavimentos bajo análisis. Sin embargo, la aplicación del Método Delphi basado en encuestas puede conllevar a sesgos en el caso que un panel de expertos cuente con experiencia asimétrica respecto a distintos tipos de soluciones básicas. Asimismo, se puede incurrir a una variabilidad importante en las respuestas de los expertos causadas por la interpretación de las encuestas.

Debido a lo anterior, en el presente estudio se propuso considerar una metodología de análisis basada en el Método Delphi, pero considerando evaluaciones de deterioros en tramos testigo y la visita de expertos a terreno en reemplazo a la aplicación de encuestas, con lo cual se captó la apreciación real que tendrá un experto observando los deterioros que existen en terreno. Los datos fueron analizados mediante regresión lineal múltiple, de manera similar a lo aplicado en las metodologías para caminos pavimentados y no pavimentados.¹⁶

2.6.2. Metodología Empleada

La metodología propuesta para el desarrollo de las Ecuaciones de Estado de Caminos No Pavimentados contempló 6 etapas para la definición del experimento, recolección

¹⁶ ARAVENA R., C.; R. LUCERO; R. DIAZ. 2014. Metodología para la Determinación del Estado de Caminos con Soluciones Básicas. Valdivia, Chile. 16 p.

de datos y análisis de estos. La descripción de cada una de las etapas realizadas se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4 Descripción de la Metodología Propuesta

Etapas 1 y 2: Recopilación de Antecedentes	Etapas 3 y 4: Diseño Experimental
<p>Incluye la recopilación de datos históricos e inventario sobre caminos y tramos existentes con tierra, grava y afirmados con material granular y/o estabilizado.</p>	<p>Para el diseño del experimento se requiere contar con una fase de evaluación preliminar en terreno de tramos identificados en la etapa anterior. En dicha visita se deberá evaluar el estado general de los tramos identificados además de complementar información de referenciado e inventario de los tramos. Luego de dicha visita se definirán los tramos factibles a ser considerados en el estudio, incluyendo las distintas combinatorias de deterioros observadas en terreno. De ser necesario, se complementarán los escenarios de evaluación luego de una segunda visita a terreno para la selección de tramos adicionales.</p>
Etapas 3 y 4: Evaluaciones en Terreno	Etapas 5: Estimación de Índice de Condición de Caminos no pavimentados (ICNP)
<p>Los tramos seleccionados serán evaluados en terreno siguiendo la metodología de auscultación de deterioros propuesta por el presente estudio. Los deterioros serán auscultados en forma objetiva bajo metodologías manual y automática dependiendo del tipo de superficie de rodadura y deterioro. Luego de la evaluación de deterioros, los tramos serán visitados por un equipo de expertos, quienes evaluarán de manera subjetiva en una escala de 1 a 10 la condición general (ICNP observado) de los tramos bajo estudio. Asimismo, cada experto entregará una evaluación cualitativa de los tramos, la cual fluctuará entre “Muy Bueno” y “Muy Malo”.</p>	<p>Calculado a partir de ecuaciones existentes. Para la validación de las ecuaciones existentes para Ripio en el caso de caminos estabilizados, se calculará el valor ICNP de cada tramo, considerando los niveles de deterioro medidos en terreno (ICNP calculado).</p>

Etapa 6: Validación de Ecuaciones Existentes

A partir del análisis estadístico de los valores ICNP calculados y observados, mediante un test-t de igualdad de medias, será posible identificar si las ecuaciones existentes reflejan la correlación existente entre deterioros y estado de caminos no pavimentados. En el caso que la validación sea satisfactoria con un aceptable nivel de confianza, se podrá recomendar el uso de las ecuaciones existentes, de caso contrario se procederá a calibrar las nuevas ecuaciones a partir de las evaluaciones de deterioros realizadas en terreno.

Fuente: Metodología para la Determinación del Estado de Caminos con Soluciones Básicas. Chile.

Como resultado de la visita preliminar a terreno, se caracterizan los principales deterioros que se manifiestan en los caminos básicos, sus posibles causas, y efectos sobre el tipo de superficie analizada. En la Tabla 5.

Tabla 5 Deterioros a ser considerados en la metodología

Caminos de tierra	Caminos de Ripio
Calamina	Calamina
Baches	Baches
Erosión	Erosión
Camino Pedregoso	Ahuellamiento
Perfil Transversal	Perfil Transversal
IRI	IRI

- Resumen de Deterioros Considerados en las Calzadas de Ripio y Tierra

La tabla 6 resume los deterioros y su consideración para efectos de la calificación del estado:

Tabla 6 Resumen Deterioros ICNP

DETERIORO	CARACTERÍSTICAS	
	RIPIO	TIERRA
Perfil Transversal y Drenaje	Bueno: calzada en forma cóncava, con su parte más alta en el eje central longitudinal de la calzada, de modo que el agua escurra a los costados de la misma para ser drenada sin afectar la estructura del camino. Malo: calzada con forma convexa o con excesivas irregularidades que afecten el normal drenaje del camino	

Calamina	<p>Baja: poco efecto en la calidad de la rodadura y una profundidad menor a 2.5 cm.</p> <p>Media: efecto medio en la calidad de la rodadura y una profundidad entre 2.5 cm. y 5 cm.</p> <p>Alta : alto efecto en la calidad de la rodadura y una profundidad mayor a 5 cm.</p>	
Erosión	<p>No: La calzada no presenta evidencia de erosión.</p> <p>Sí: La calzada presenta evidencia de erosión, como por ejemplo surcos longitudinales y transversales en la calzada.</p>	<p>No: La calzada no presenta evidencia de erosión ni presencia de ahuellamiento, o se observa leve y esporádicamente ahuellamiento con una profundidad menor o igual a 3 cm.</p> <p>Sí: La calzada presenta evidencia de erosión y/o ahuellamiento. La erosión se presenta, por ejemplo, en forma de surcos longitudinales y transversales en la calzada. El ahuellamiento es significativo con una profundidad superior a 3 cm.</p>
Baches	<p>No afectan: La calzada no presenta baches o tiene baches aislados de poca profundidad (menor a 2.5 cm).</p> <p>Sí afectan : La calzada presenta baches con diámetros entre 25 y 150 cm y con profundidades mayores a 2.5 cm.</p>	<p>No afectan: La calzada no presenta baches o tiene baches aislados de poca profundidad (menor a 2.5 cm).</p> <p>Sí afectan: La calzada presenta baches con diámetros y profundidades con diámetros entre 25 y 150 cm de diámetro y con profundidades entre 5 y 8 cm o mayores.</p>
Ahuellamiento y Material Suelto	<p>No hay efecto del ahuellamiento y/o material suelto: En la calzada no se observa la existencia de ahuellamiento y/o material suelto acumulado, o se observa leve y esporádicamente con una profundidad menor o igual a 3 cm.</p> <p>Sí existe ahuellamiento y/o material suelto acumulado: Es significativa su existencia si el ahuellamiento y/o material suelto forma depresiones y/o diques con un espesor superior a 3 cm.</p>	<p>No aplica (el ahuellamiento se incluye en la erosión)</p>
IRI	<p>Bajo: menor o igual a 8 m/km.</p> <p>Medio: entre 8 y 11 m/km.</p> <p>Alto : superior o igual a 11 m/km.</p>	

Camino Pedregoso	No aplica	No: La calzada no presenta afloramiento de árido grueso incrustado o suelto. Sí: La calzada presenta afloramiento de árido grueso incrustado o suelto.
------------------	-----------	---

Fuente: MOP (Chile). 2005. Política de Conservación Vial Etapa 3 – Caminos No Pavimentados.

2.6.2.1. Método de inspección

- Inspección Objetiva de Deterioros

Considerando que la factibilidad de contar con equipos de auscultación automática en todo el territorio nacional es reducida, se plantea una Metodología de Auscultación Manual además de una Metodología de Auscultación Automática.

- IRI, por medio de un equipo topográfico denominado nivel de ingeniero y el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional con el método de la mira y el nivel.
- Deformaciones, baches y deterioros superficiales, para esta evaluación se consideró la realización de evaluaciones manuales descritas en el documento denominado: “Instructivo de Inspección Visual de Caminos no Pavimentados”.

- Inspección Subjetiva Mediante Expertos

El Método Delphi se basa en la evaluación de expertos. La evaluación subjetiva consistió en que cada experto calificara cada tramo en una escala de 5 niveles (“Muy Malo” a “Muy Bueno”), al mismo tiempo que lo calificaba con una nota entre 1 y 10 de acuerdo a su experiencia y apreciación.

- Índice de Condición de Estado de Caminos no Pavimentados

Las ecuaciones para determinar el ICNP y los límites de calificación para cada uno de los estados del camino, tierra y ripio, se elaboraron a partir del análisis de resultados a encuestas realizadas al panel de expertos. Dichas ecuaciones están calibradas ó ajustadas con mediciones de terreno y visita de los expertos a los tramos experimentales de manera de validar especialmente las condiciones de borde de las ecuaciones.¹⁷

- Ecuaciones de estado

Las dos ecuaciones para representar el ICNP, sin equipos de auscultación y con equipos de auscultación se muestran a continuación:

i. Ecuación sin equipos de auscultación

La ecuación dada por la regresión ajustada y los estadísticos de correlación para definir el estado, considerando datos obtenidos sin equipos de auscultación es la siguiente:

$$\text{ICNP} = 10 - 1,15*(1,01 \text{ Calamina} + 1,96 \text{ Baches} + 1,28 \text{ Erosión} + \dots \\ \dots + 0,29 \text{ Ahuellamiento} + 1,36 \text{ Camino Pedregoso} + 1,37 \text{ Bombeo})$$

ii. Ecuación con equipos de auscultación

La ecuación dada por la regresión ajustada y los estadísticos de correlación para definir el estado, considerando datos obtenidos con equipos de auscultación es:

$$\text{ICNP} = 11,64 - 0,41 \text{ IRI} - 1,60 \text{ Erosión} - 0,40 \text{ Ahuellamiento} - \dots \\ \dots - 1,79 \text{ Camino Pedregoso} - 1,57 \text{ Bombeo}$$

¹⁷ Ministerio de Obras Públicas (Chile). 2008. Política de Conservación Vial Etapa 3 – Caminos No Pavimentados. Chile. 71 p.

Donde:

- Calamina** : Se ingresa la profundidad media, en cm
- Baches** : Se ingresa el resultado del siguiente cálculo: Baches = profundidad media (m)* diámetro medio (m)* N° de baches en U.M.
- Erosión** : Se ingresa 1 si la erosión es importante y 0 si no lo es
- Ahuellamiento** : Se ingresa la profundidad media, en cm
- Bombeo (Drenaje)** : Se cuantifica con 1 si el bombeo es bueno (perfil transversal cóncavo), con 0,5 si es regular y con 0 si es malo (perfil transversal convexo y/o con irregularidades)
- Camino Pedregoso** : Se ingresa 1 si el deterioro se detecta y 0 si no
- IRI** : Si existen valores de IRI, se ingresan en m/km

2.7. LIMITES DE ASIGNACIÓN DE ESTADO POR TIPO DE CAMINO Y TIPO DE AUSCULTACIÓN

Los límites de asignación de estado definidos por la metodología son los siguientes:

Tabla 7 Límites de Asignación de Estado para Caminos de Ripio

ESTADO	SECO	MEDITERRÁNEO	HÚMEDO
MUY BUENO	10,0 a 8,0	10,0 a 8,0	10,0 a 8,0
BUENO	7,9 a 5,0	7,9 a 5,5	7,9 a 7,0
REGULAR	4,9 a 4,0	5,4 a 4,5	6,9 a 5,0
MALO	3,9 a 2,0	4,4 a 2,5	4,9 a 3,5
MUY MALO	1,9 a 1,0	2,4 a 1,0	3,4 a 1,0

Fuente: Estudio Modelos de Deterioro en Caminos No Pavimentados

Tabla 8 Límites de Asignación de Estado para Caminos de Tierra

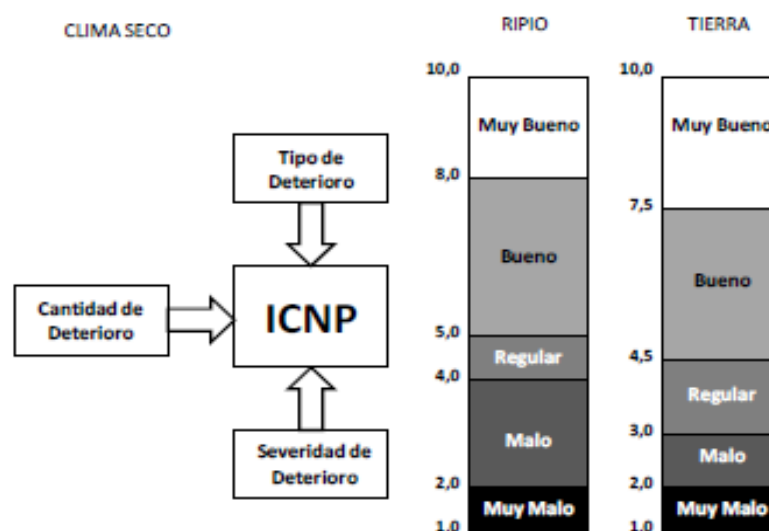
ESTADO	SECO	MEDITERRÁNEO	HÚMEDO
MUY BUENO	10,0 a 7,5	10,0 a 8,0	10,0 a 8,0
BUENO	7,4 a 4,5	7,9 a 5,5	7,9 a 6,5
REGULAR	4,4 a 3,0	5,4 a 4,0	6,4 a 4,5
MALO	2,9 a 2,0	3,9 a 2,0	4,4 a 3,0
MUY MALO	1,9 a 1,0	1,9 a 1,0	2,9 a 1,0

Fuente: Estudio Modelos de Deterioro en Caminos No Pavimentados

2.8. ESCALAS DE CLASIFICACIÓN DEL ICNP

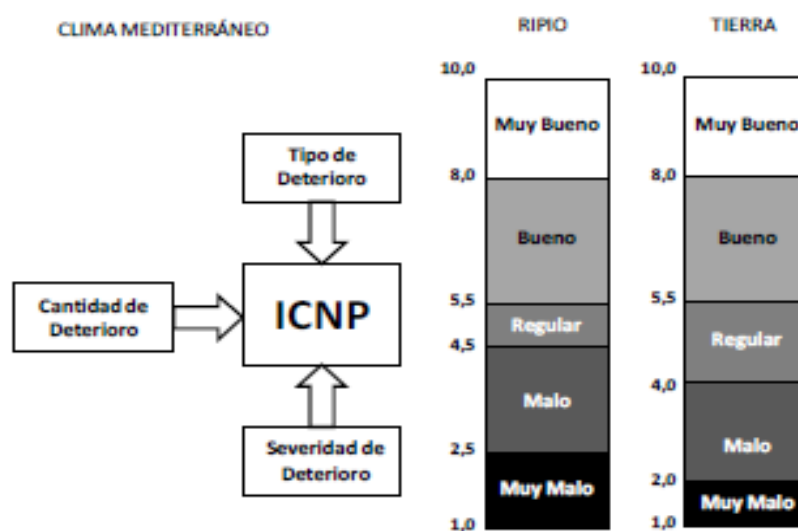
A partir de las tablas anteriores, y como una manera gráfica de representar de mejor manera la clasificación realizada, en la Figura 2, Figura 3 y Figura 4 siguientes se dan a conocer las clasificaciones de estado obtenidas:

Figura 3 Escala de Clasificación del Índice de Condición del Camino No Pavimentado (ICNP) según Clima Seco



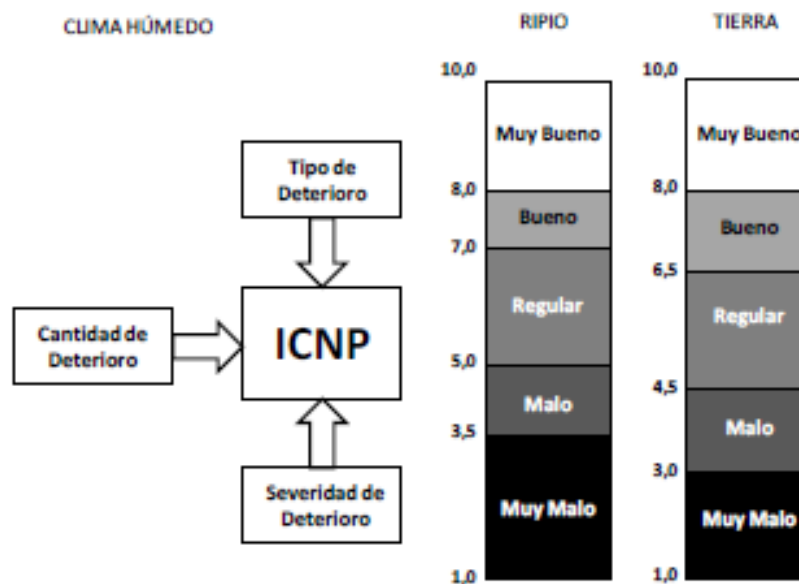
Fuente: MOP (Chile). 2008. Política de Conservación Vial – Caminos No Pavimentados.

Figura 4 Escala de Clasificación del Índice de Condición del Camino No Pavimentado (ICNP) según Clima Mediterráneo



Fuente: MOP (Chile). 2008. Política de Conservación Vial – Caminos No Pavimentados.

Figura 5 Escala de Clasificación del Índice de Condición del Camino No Pavimentado (ICNP) según Clima Húmedo



Fuente: MOP (Chile). 2008. Política de Conservación Vial – Caminos No Pavimentados.

2.9. UMBRALES DE INTERVENCIÓN

Los umbrales de intervención se definen como los valores límites (máximos o mínimos) de parámetros de deterioro (o de estado funcional o estructural) o índice de calificación de estado (en este caso ICNP), por sobre o bajo los cuales se entenderá necesario realizar una acción de conservación sobre la calzada no pavimentada (ripio y tierra) para restablecer el estado de cumplimiento del respectivo parámetro o indicador. Estas acciones corresponden a acciones rutinarias y periódicas.

Por su parte, los estándares de conservación se entienden como los umbrales o límites permisibles de intervención (grados de deterioro funcional y estructural según la categoría de cada camino) y que están directamente asociadas al conjunto de acciones de conservación, aplicadas de manera programada o por condición de respuesta.

Dicho lo anterior, los umbrales de intervención constituyen una suerte de “válvula de regulación” de los estándares de conservación, cuando éstos contienen acciones de conservación activadas por una condición de respuesta, dado que a través del manejo de dichos valores límites es posible “controlar” el nivel de servicio que se desea

proveer a la calzada, entendido éste como el conjunto de parámetros de estado con un determinado valor.

2.9.1. Umbrales de Intervención Adoptados para Caminos no Pavimentados

La clasificación de estado dada a conocer en el capítulo anterior se sustenta sobre la base de asociar a una evaluación cuantitativa de la condición de la calzada no pavimentada (ICNP de 1 a 10), una calificación cualitativa que varía desde Muy Malo a Muy Bueno. Esta forma de calificar el estado del camino tiene asociada a su vez, una combinación de niveles de deterioro, en la forma como ellos se definieron, que en si pueden derivar en una acción o conjunto de acciones de conservación necesarias para “mejorar” el grado de cumplimiento, en función del nivel de servicio impuesto, al deterioro o a los deterioros o índice (en este caso) involucrados. En otras palabras, si se desea por ejemplo, pasar del estado regular de un camino de ripio con clima seco, al estado bueno, es necesario conocer el o los deterioros, su magnitud y severidad, involucrado(s) en la calificación del estado, para determinar la acción de conservación necesaria.

Al comparar los valores de umbrales resultantes de la sola aplicación del ICNP, se observa que en algunos casos los valores límite sobrepasan los recomendados por la Tabla 7 y Tabla 8 en general los que la literatura recomienda como valores máximos. De igual modo, si se usa la planilla de cálculo del ICNP se obtienen otros valores límite. Por lo tanto, asumiendo que las ecuaciones del ICNP tienen ciertas restricciones para su aplicación y en vista de los resultados, finalmente se adoptaron los siguientes umbrales:

Tabla 9 Umbrales Adoptados Caminos de Ripio según ICNP

INDICADOR O DETERIORO	LIMITES	
	L1	L2
ICNP	5,5	4.5
CALAMINA (cm)	3,0	5,0
AHUELLAMIENTO (cm)	3,5	5,0
BACHES (m*m*N°baches)	2,0	2,5
IRI m/km)	--	max.12

Fuente: MOP (Chile). 2008. Política de Conservación Vial – Caminos No Pavimentados.

Tabla 10 Umbrales Adoptados Caminos de Tierra según ICNP

INDICADOR O DETERIORO	LIMITES	
	L1	L2
ICNP	6,0	4,0
CALAMINA (cm)	4,0	6,0
AHUELLAMIENTO (cm)	4,0	6,0
BACHES (m*m*N°baches)	2,5	3,0
IRI m/km)	--	max.12

Fuente: MOP (Chile). 2008. Política de Conservación Vial – Caminos No Pavimentados.

❖ Recomendaciones referidas a la Metodología de Evaluación de Estado

Para la aplicación de esta metodología, se recomienda seguir los cuatro pasos secuenciales siguientes:

- Paso 1. Recolección de datos de inventario de la red a inspeccionar: A partir de datos de inventario se deberá definir el tipo de camino (tierra o ripio) y el clima característico de cada camino (seco, mediterráneo, húmedo)
- Paso 2. Recolección de datos de auscultación: Se deberá auscultar la red aplicando la metodología de inspección visual descrita en las secciones anteriores. Para cada camino se determinarán los valores promedio de cada deterioro (calamina, baches, ahuellamiento, erosión, camino pedregoso y bombeo). Para aquellos casos en que se cuente con mediciones de IRI se utilizará el valor representativo de cada camino en reemplazo de los valores calamina y baches inspeccionados visualmente.
- Paso 3. Determinación de ICNP: Para cada camino de la red se deberá estimar el valor ICNP utilizando las ecuaciones de estado correspondientes al tipo de auscultación realizada (sin equipo especializado para medir IRI o con mediciones de IRI).
- Paso 4. Determinación del Estado: A partir de los valores ICNP obtenidos del Paso 3, y considerando el tipo de clima y tipo de camino (tierra o ripio), se define el estado por camino utilizando los límites de asignación.

En base a los umbrales de intervención se debe realizar un análisis para cada camino no pavimentado, tomando en cuenta el estado del mismo, la magnitud y severidad de los deterioros involucrados en la calificación de estado, y al mismo tiempo determinar la acción de conservación a realizar, proponiendo alternativas de solución para realizar el mantenimiento necesario.

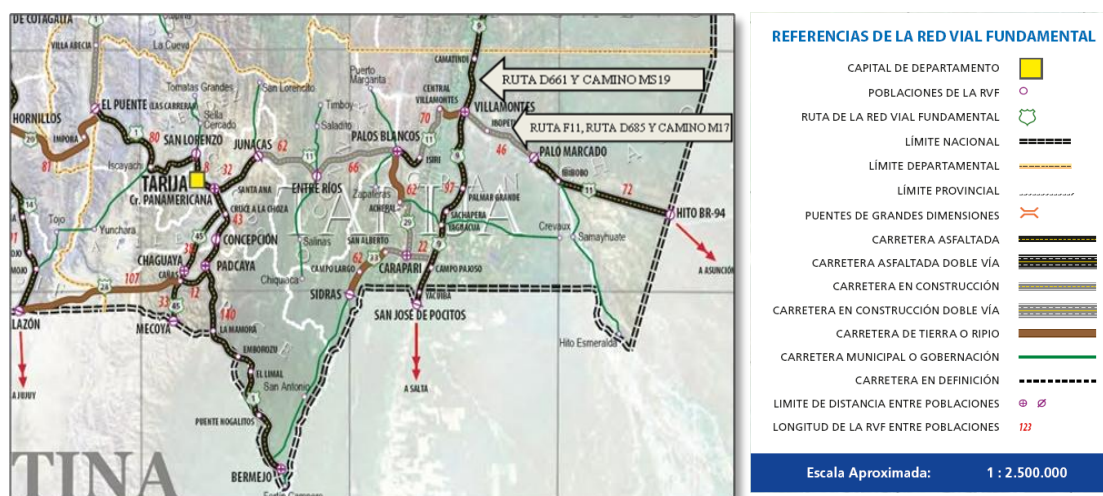
CAPÍTULO III APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA EVALUACIÓN DE ESTADO DE LOS TRAMOS: RUTA FUNDAMENTAL F11, RUTA DEPARTAMENTAL D685, RUTA DEPARTAMENTAL D661, CAMINO MUNICIPAL PRIMARIO M17, CAMINO MUNICIPAL SECUNDARIO MS19

3.1. UBICACIÓN DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO

3.1.1. Red Vial Departamental De Tarija

La red vial departamental está conformada por cerca de 2016,289 Km, de los cuales aproximadamente el 60% corresponde a caminos de grava, el 28% corresponde a concreto asfáltico, el 6% corresponde a caminos de tierra, el 1,4% corresponde a tratamientos superficiales, el 0,09% corresponde a adoquín, el 0,02% corresponde a empedrados y el restante 4,5% corresponde a apertura de caminos.¹⁸ Las carreteras no pavimentadas son aquellas cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado (capa compactada de material granular natural o procesado con gradación específica), suelos estabilizados o terreno natural, corresponden a caminos de bajo volumen de tránsito.¹⁹

Imagen 1 Red vial departamental de Tarija



Fuente: ABC (BOLIVIA). Mapa de Bolivia Red Vial Fundamental 2014 – 2015. Bolivia.

¹⁸ <http://www.tarija.gob.bo/documentos/plan-vial-departamental-2012/plan-vial-departamental-SEDECA-TARIJA.pdf>

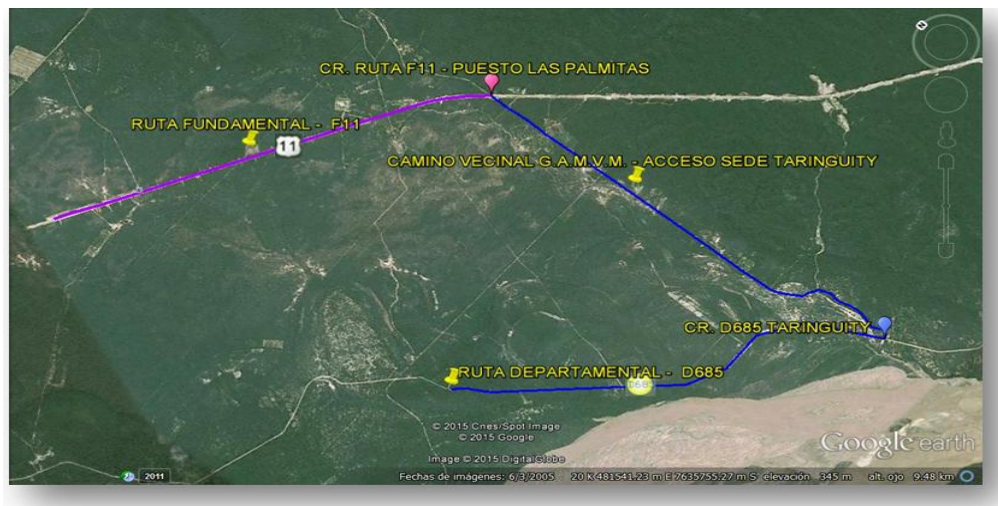
¹⁹ http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/glosario/

La ubicación de los tramos testigo es la siguiente:

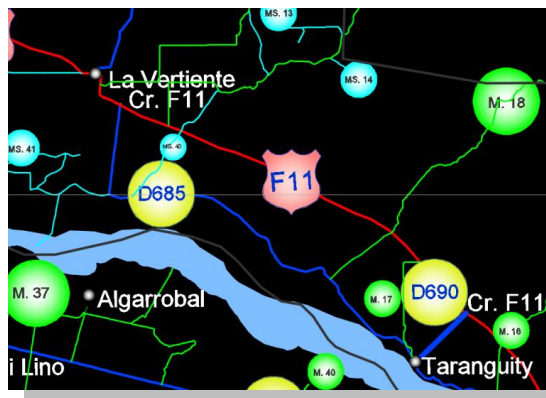
Al Sureste de Villa Montes, en la llanura chaqueña y son: Ruta Fundamental F11 (Cr. La Vertiente - Cr. Palo Marcado); Ruta Departamental D685 (Cr. Ruta F11 La Vertiente - Cr. Ruta D685 Taringuity); Camino Municipal Primario M 17 (Cr. Ruta F11 Puesto Las Palmitas - Cr. Ruta D685 Ramal Taringuity).

Al Noreste de Villa Montes, en la llanura chaqueña y son: Ruta Departamental D661 (Cr. Ruta F9 Caigua - Cr. Tahiguaty) y Camino Municipal MS19 (Cr. F9 - Cr. M22).

Imagen 2 Croquis de ubicación Al Sureste de Villa Montes

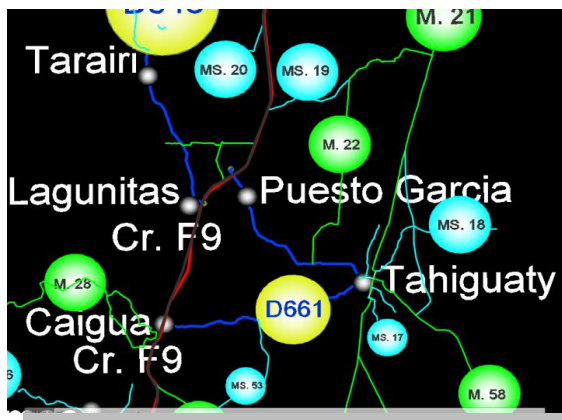


Fuente: Google earth. Elaboración: Propia. 2015



Fuente: Mapa de la Red Vial Municipal - Villa Montes. 2015.

Imagen 3 Croquis de ubicación Al Noreste de Villa Montes



Fuente: Mapa de la Red Vial Municipal - Villa Montes. 2015.

3.1.2. Características De Los Tramos De Estudio

Ripiados con anchos de 11 metros, ripiados con ancho de 4.5 metros y plataforma de suelo natural con anchos de calzada de 5.5 y 3.5 metros.

- Características físicas de los caminos de estudio:

Tabla 11 Tramos testigo ubicados al Sureste de Villa Montes, en la llanura chaqueña

N ^o	Detalle	Ruta Fundamental F11	Ruta Departamental D685	Camino Municipal Primario M17
1	Longitud	La longitud es de 5 kilómetros	La longitud es de 5 kilómetros	La longitud es de 5 kilómetros
2	Plataforma	La plataforma es de 20% de arcilla, 5% de sectores arenales, y 75% de ripiado.	La plataforma es de 45% de arcilla, 15% de sectores arenales, y 40% de ripiado.	La plataforma es de 70% de arcilla, 10% de sectores arenales, y 20% de ripiado.
3	Relieve topográfico	Las pendientes varían de 1% hasta 12%, la topografía es plana. El alineamiento de la ruta tiene un 90% de recta y lo demás serían curvas de radios máximos.	Las pendientes varían de 1% hasta 10%, la topografía es plana. El alineamiento de la ruta tiene un 90% de recta y lo demás serían curvas de radios máximos.	Las pendientes en esta ruta varían de 1% hasta un 3% aproximado, el lugar es plano, arcilloso. El alineamiento de la ruta tiene un 90% de recta y lo demás serían curvas de radios máximos.
4	Fricción lateral	La ruta pasa por diversos puestos ganaderos.	La ruta pasa por cinco puestos ganaderos cerca de la ruta.	La ruta pasa por cuatro puestos que están cerca de la ruta.
5	Puentes	No hay puentes en el tramo seleccionado.	Hay dos puentes de concreto con entablado de madera, pero solo uno está en funcionamiento.	No hay puentes en el tramo seleccionado.

6	Obras de arte menor	No hay obras de arte menor en el tramo seleccionado.	No hay obras de arte menor en el tramo seleccionado.	En esta ruta existen dos badenes construidas por la Alcaldía según la información de los comuneros.
7	Obras adyacentes	Existen alambrados en dos sectores que no influyen en ningún caso.	Existen alambrados en dos sectores que no influyen en ningún caso.	Existen alambrados en dos sectores que no influyen en ningún caso.
8	Corrientes de agua	No existen corrientes de agua en el tramo seleccionado.	Existen 2 puntos pasos de agua. Dos de los puntos está solucionado con los puentes construidos. Aunque uno de ellos no está en funcionamiento, motivo por el cual existe un desvío.	Existen 4 puntos pasos de agua. Dos de los puntos está solucionado con las obras de arte construidas.

Fuente: Elaboración Propia. 2015

Tabla 12 Tramos testigo ubicados al Noreste de Villa Montes, en la llanura chaqueña

N°	Detalle	Ruta Departamental d661	Camino Municipal MS19
1	Longitud	La longitud es de 6.25 kilómetros	La longitud es de 3.75 kilómetros
2	Plataforma	La plataforma es de 40% de arcilla, 15% de sectores arenales, y 45% de ripiado.	La plataforma es de 70% de arcilla, 10% de sectores arenales, y 20% de ripio natural de canteras cercanas.
3	Relieve topográfico	Las pendientes varían de 1% hasta 10%, la topografía es plana. El alineamiento de la ruta tiene un 90% de recta y lo demás serían curvas de radios máximos.	Las pendientes en esta ruta varían de 1% hasta un 3% aproximado, el lugar es plano, arcilloso. El alineamiento de la ruta tiene un 90% de recta y lo demás serían curvas de radios máximos.
4	Fricción lateral	La ruta pasa por los terrenos agrícolas de los comunarios de caigua y Tahiguaty.	La ruta atraviesa un puesto ganadero y pasa por los terrenos agrícolas de los comunarios de Puesto García.
5	Puentes	No hay puentes en el tramo seleccionado.	No hay puentes en el tramo seleccionado.
6	Obras de arte menor	No hay obras de arte menor en el tramo seleccionado.	No hay obras de arte menor en el tramo seleccionado.
7	Obras adyacentes	Existen alambrados en algunos sectores que no influyen en ningún caso.	Existen alambrados en algunos sectores que no influyen en ningún caso.
8	Corrientes de agua	Existe 1 punto paso de agua, que consiste en una quebrada, no existe puente ni obra de arte, debido a ello la plataforma atraviesa dicha quebrada.	Existe 1 punto paso de agua, que consiste en una quebrada, no existe puente ni obra de arte, debido a ello la plataforma atraviesa dicha quebrada.

Fuente: Elaboración Propia. 2015.

3.1.3. Recopilación de Datos Históricos e Inventario Sobre Caminos de Estudio

En la presente gestión el SEDECA–Villa Montes en su condición de unidad desconcentrada realizó el inventario vial de las rutas departamentales dentro de la tercera sección de la provincia Gran Chaco se constató que el 70 % de los caminos son de grava y el 30 % de tierra. Asimismo la Dirección de Tráfico y Transporte del Gobierno Autónomo Municipal sección de la provincia Gran Chaco se constató que el 10 % de los caminos son de grava y el 90 % de tierra. El estado actual lamentablemente es de pésima condición por falta de mantenimiento y mejoramiento que arrastra de hace años atrás.

3.2. EVALUACIÓN PRELIMINAR

Una vez identificados los diferentes tipos de caminos no pavimentados en función de las bases de datos entregadas por SEDECA Villa Montes y la Dirección de Tráfico y Transporte del Gobierno Autónomo Municipal de Villa Montes, y contemplando parámetros tales como longitud, material que compone la carpeta de rodadura, ubicación geográfica, clasificación de carreteras de acuerdo a su importancia y nivel de servicio, se procederá a efectuar visitas a terreno y con el fin de observar el estado actual de los caminos y sus posibles deterioros considerando la zona geográfica donde están ubicados.

Se procedió a realizar un recorrido de las rutas mencionadas, a fin de evidenciar y diagnosticar el estado actual en la que se encuentran los caminos de estudio: Ruta Fundamental F11; Ruta Departamental D685; Ruta Departamental D661; y Ruta Municipal Principal M 17 y Ruta Municipal Secundaria MS 19.

La metodología empleada en la realización de la inspección técnica está basada en apreciaciones visuales y verificaciones físicas efectuadas en el lugar en base a toma de muestras con dispositivos móviles (GPS, Cámara fotográfica), que corresponde a un procedimiento técnico cuyo resultado se reflejará de aquí en adelante en el presente capítulo.

Como resultado de la visita preliminar a terreno, se caracterizo los principales deterioros que se manifiestan en los caminos, sus posibles causas, y efectos sobre el tipo de superficie analizada. En la Tabla 13 se presenta un resumen de los deterioros a ser considerados en las evaluaciones de terreno para el desarrollo del índice de condición.

Tabla 13 Deterioros a ser considerados en la metodología

Caminos de tierra	Caminos de Ripio
Calamina	Calamina
Baches	Baches
Erosión	Erosión
Camino Pedregoso	Ahuellamiento
Perfil Transversal	Perfil Transversal
IRI	IRI

3.3. EVALUACIONES EN TERRENO

La medición de parámetros se realizara mediante Unidades Muéstrales (UM) de 50 m con un mínimo de 100 UM, por lo que se procederá a inspeccionar al menos 25 km. El levantamiento de información se debe agrupar por tipo de superficie de rodadura de camino no pavimentado inspeccionado, siendo éstos caminos de tierra y caminos de ripio. En la TABLA 14 y TABLA 15 se presenta el detalle de los caminos auscultados.

Tabla 14 Inspección de caminos de ripio

Nombre Camino	Comunidad	Ki	Kf	Longitud (km)	UM (n°)
Ruta F11	Tariguity	0,000	5,000	5,000	20
Ruta D685	Tariguity	0,000	5,000	5,000	20
Ruta D661	Caigua Tahiguaty	0,000	6,250	6,250	25

Tabla 15 Inspección de Caminos de tierra

Nombre Camino	Comunidad	Ki	Kf	Longitud (km)	UM (n°)
Camino M 17	Tariguity	0,000	5,000	5,000	20
Camino MS 19	Puesto García	0,000	3,750	3,750	15

3.3.1. Toma De Información

Antes de proceder a la medición de deterioros, se realizó una medición geométrica de los tramos en estudio tal como ancho de la calzada.

Imagen 5 Obteniendo información de la sección transversal del tramo



3.3.2. Medición de Deterioros

➤ **Propuesta Metodológica para la Evaluación del Estado de Caminos no Pavimentados**

Las secciones siguientes dan cuenta de una propuesta para la evaluación del estado de caminos no pavimentados, a partir de una metodología para la inspección de deterioros, y de la elaboración del parámetro ICNP (Índice de Condición de Caminos no pavimentados) para caminos de ripio y tierra.

➤ **Metodología para Inspeccionar Deterioros en Calzadas no Pavimentadas**

Existe una metodología elaborada especialmente para inspeccionar los deterioros considerados por el método de evaluación del estado, a través del ICNP. Dicha metodología constituye un sistema de auscultación visual sistemático, que considera unidades de muestreo representativas del camino evaluado.

La metodología está descrita en el documento denominado: “*Instructivo de Inspección Visual de Caminos no Pavimentados*”, el cual permite contar con una

valoración cualitativa de los daños presentes en cada uno de los tramos homogéneos que componen el camino objeto de evaluación. A continuación se muestra un extracto de dicho instructivo:

➤ **Información de deterioros a registrar en la ficha de inspección**

A continuación se presentan los diferentes aspectos a registrar en el presente instructivo de inspección visual. Es importante destacar que todos los deterioros deben ser medidos únicamente en la unidad de muestreo, salvo el caso de la erosión, que debe reportarse en la ficha, aunque toda su extensión se encuentre fuera de la misma.

- **Bombeo (perfil transversal):** Un buen perfil corresponde a una calzada en forma cóncava con su parte más alta en el eje central longitudinal de la calzada, de modo que el agua escurra a los costados de la misma para ser drenada sin afectar la estructura del camino. Por otro lado se considerará un mal perfil transversal aquel de forma convexa o con excesivas irregularidades que afecten el normal drenaje del camino. En terreno el registro de la información de perfil transversal de la unidad de muestreo debe tomarse a la mitad de ésta, siempre y cuando el perfil en ese sitio sea realmente representativo del tramo. Se deberá registrar: B: buen bombeo ó M: mal bombeo.
- **Drenaje:** realizar una inspección general que permita saber si los elementos de drenaje que existen cumplen con su función. Si el drenaje cumple su función, se califica como bueno, en caso contrario si el drenaje no cumple su función o es insuficiente se califica como malo. En cuanto a la evaluación a incluir en la planilla debe hacerse respecto a la valoración total del drenaje en toda la unidad de muestreo. Al igual que en el caso del bombeo, se deberá registrar: B: buen drenaje o M: mal drenaje.
- **Ahuellamiento:** Respecto a la medición en terreno se debe utilizar una regla con la cual se pueda medir el ahuellamiento representativo de la unidad de

muestreo correspondiente. Se debe reportar en la ficha el valor promedio de ahuellamiento de al menos tres lecturas localizadas de manera aleatoria a lo largo de la unidad de muestreo y que puedan considerarse como representativas de la condición de ahuellamiento existente dentro de ella. Se aconseja que los puntos de lectura estén alejados entre si al menos 5 metros longitudinalmente.



Imagen 6 Medición de ahuellamiento

- Baches: Se debe reportar en la ficha el número de baches que afectan la circulación de los vehículos dentro de la unidad de muestreo valor promedio del diámetro (en centímetros) y la profundidad (en centímetros) de al menos tres baches localizados de manera aleatoria en la unidad de muestreo y que puedan considerarse como representativos de la condición que es posible observar.
- Calaminas: se debe considerar la profundidad media de la misma, para lo cual se puede utilizar una regla (de 1.5 metros aproximadamente) similar a la empleada para medir ahuellamiento pero colocándola en el sentido de circulación de los vehículos. Se debe reportar en la ficha el valor promedio de la profundidad (medida en centímetros) de al menos tres lecturas localizadas de manera aleatoria en la unidad de muestreo y que puedan considerarse como representativas de la condición de las calaminas existentes dentro de ella si se trata con el criterio a nivel de red.

- Diámetro del material grueso (Afloramiento e Incrustación de partículas gruesas en la superficie de la calzada): en la inspección de este tipo de deterioro se debe determinar primero su naturaleza, es decir si se trata de material grueso que aflora, se incrusta o se deposita, y segundo en caso de ser considerable su efecto y cantidad, se debe llevar registro del tamaño máximo promedio de las partículas gruesas sueltas que obedezcan a la descripción de este problema y que típicamente se observan en la unidad de muestreo. Se debe reportar en la ficha la descripción que más se ajuste a lo observado en terreno dentro de la unidad de muestreo y se registrará el diámetro máximo que en promedio tengan las partículas gruesas que en forma representativa pueden encontrarse dentro de ella, en este sentido es claro que el criterio del encargado de la inspección es importante para la correcta elección del diámetro del material a registrar en la planilla.
- Erosión: Este es el único deterioro que debe registrarse aunque exista fuera de la unidad de muestreo. Se debe reportar en la ficha el valor promedio de la profundidad y ancho de al menos tres lecturas localizadas de manera aleatoria en la zona de muestreo (que corresponde a todo el kilómetro que se está inspeccionando) y que puedan considerarse como representativas de la condición de zanjas formadas por los procesos de erosión existentes dentro de ella.
- IRI, por medio de un equipo topográfico denominado nivel de ingeniero y el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional con el método de la mira y el nivel.

Considerando el tamaño de la red de caminos no pavimentados del departamento y la metodología planteada para el levantamiento de los parámetros, sería imposible recolectar oportunamente la información requerida en la totalidad de dicha red, dado el considerable tiempo y alto costo que demandaría una campaña de esta envergadura. Por tal razón se considera la subdivisión de los caminos en Zonas de Muestreo de 1

km, y éstas a su vez, en áreas más pequeñas denominadas Unidades de Muestreo (UM), cuya longitud y ubicación está determinado por la zona que permita contar con la suficiente representatividad posible de los datos recolectados.

En este caso, la metodología aconseja tomar como unidad de muestreo un área rectangular de ancho igual al ancho de la pista y de largo 50 metros.

Imagen 7 Medición de la Unidad muestral

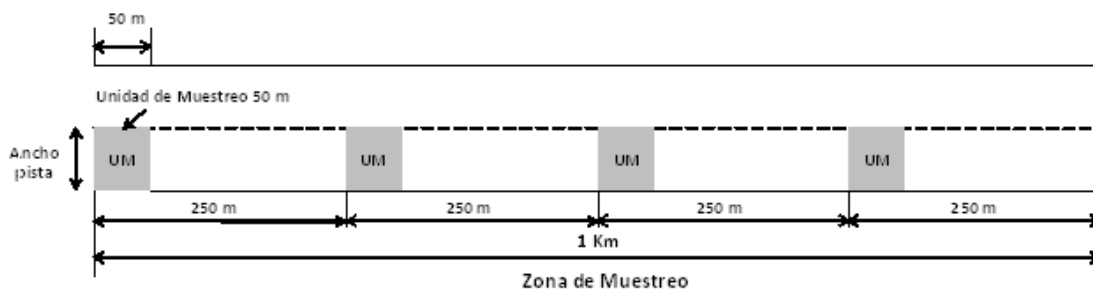


La Zona de Muestreo tendrá una longitud igual a 1 km. Esta deberá quedar ubicada en un área con las siguientes características:

Cada Zona de Muestreo tendrá cuatro UM cada una. La primera UM deberá estar ubicada al inicio de la Zona de Muestreo, la segunda al inicio de los 250 m, la tercera al inicio de los 500 m y la cuarta al inicio de los 750 m.

Cada UM deberá estar libre de cruces, accesos a predios, puentes, obras de arte u otros elementos que alteren el efecto directo de la circulación de los vehículos sobre el deterioro de la calzada no pavimentada. El esquema de la Zona de Muestreo y Unidades de Muestreo se muestra en la Figura N°6.1 siguiente:

Figura 6 Esquema de la Zona de Muestreo y Unidad de Muestreo a utilizar



Las mediciones de deterioros de los tramos testigo se encuentran en el Anexo A.

3.3.3. Medición del IRI (Índice de Rugosidad internacional)

La medición del IRI (Índice de Rugosidad internacional), requiere primeramente de una nivelación, elegimos unidades de estudio de 50 metros de longitud, delta “X” para realizar la nivelación de 500 mm, que corresponde a una longitud de 8000 metros, los tramos de estudio tienen una longitud total que está en los rangos que requiere el programa IRI-Método de Mira y Nivel del Software INPACO.

Se realizó la nivelación en las unidades muestrales con un nivel de ingeniero en las huellas de los vehículos lado derecho y lado izquierdo a cada 50 cm de longitud, luego de realizar la nivelación realizamos el trabajo de gabinete. Con la ayuda del software INPACO se pudo calcular el IRI de cada unidad de muestreo y de cada huella.



Imagen 8 Realizando la Nivelación

❖ IRI (ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL)

Es un indicador estadístico de la irregularidad de la superficie del camino, al igual que otros indicadores representa la diferencia entre el perfil longitudinal teórico (recta o parábola continua perfecta, $IRI = 0$) y el perfil longitudinal real existente en el instante de la medida.

- IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO

Este módulo es el encargado de recibir las características esenciales del tramo de análisis.

Estas características son: Código del Tramo, Nombre del Tramo, Abscisa Inicial y Final, Longitud del tramo.

La abscisa inicial y final corresponde al inicio y fin de la Unidad Muestral, la longitud máxima del tramo depende del Delta escogido de acuerdo al cuadro.

Delta (mm)	Longitud máxima (m)
50	800
100	1600
152.4	2438
166.7	2667
200	3200
250	4000
304.8	4876
333.3	5332
500	8000
609.6	9753

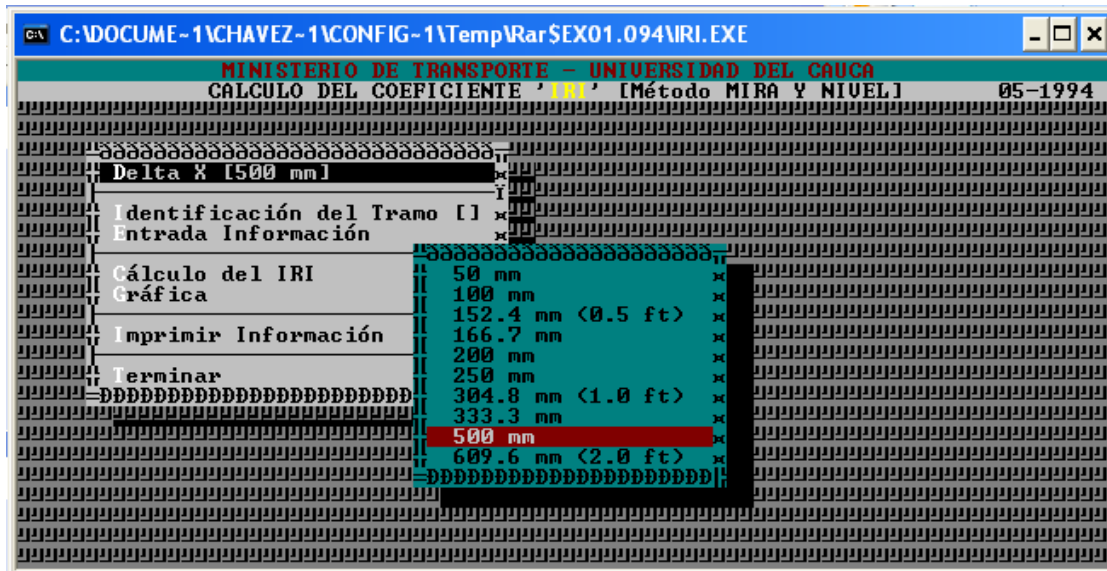
A continuación, se presenta un ejemplo de los datos topográficos obtenidos en campo:

DATOS TOPOGRAFICOS PARA EL CALCULO DEL IRI			
TRAMO: 0+000 - 0+050		CARRETERA F11	
Nº	ABSCISA:	COTA:IZQ	COTA:DER
1	0,0	373,144	373,138
2	0,5	373,140	373,145
3	1,0	373,134	373,143
4	1,5	373,148	373,138
5	2,0	373,150	373,144
6	2,5	373,148	373,144
7	3,0	373,140	373,143
8	3,5	373,148	373,144
9	4,0	373,146	373,136
10	4,5	373,145	373,140
11	5,0	373,142	373,134
12	5,5	373,137	373,134
13	6,0	373,144	373,138
14	6,5	373,156	373,136
15	7,0	373,150	373,143
16	7,5	373,137	373,134
17	8,0	373,143	373,133
18	8,5	373,138	373,139
19	9,0	373,150	373,138
20	9,5	373,154	373,147
21	10,0	373,151	373,150
22	10,5	373,155	373,140
23	11,0	373,158	373,150
24	11,5	373,144	373,151
25	12,0	373,150	373,145
26	12,5	373,148	373,151
27	13,0	373,146	373,159
28	13,5	373,158	373,150
29	14,0	373,149	373,145
30	14,5	373,168	373,161
31	15,0	373,166	373,156
32	15,5	373,168	373,156
33	16,0	373,162	373,151
34	16,5	373,156	373,156
35	17,0	373,158	373,157
36	17,5	373,157	373,156
37	18,0	373,155	373,152
38	18,5	373,151	373,151
39	19,0	373,156	373,152
40	19,5	373,149	373,140
41	20,0	373,138	373,143
42	20,5	373,130	373,141
43	21,0	373,131	373,134
44	21,5	373,125	373,123
45	22,0	373,123	373,119
46	22,5	373,116	373,115
47	23,0	373,104	373,110
48	23,5	373,113	373,110
49	24,0	373,105	373,113
50	24,5	373,108	373,100
51	25,0	373,112	373,108

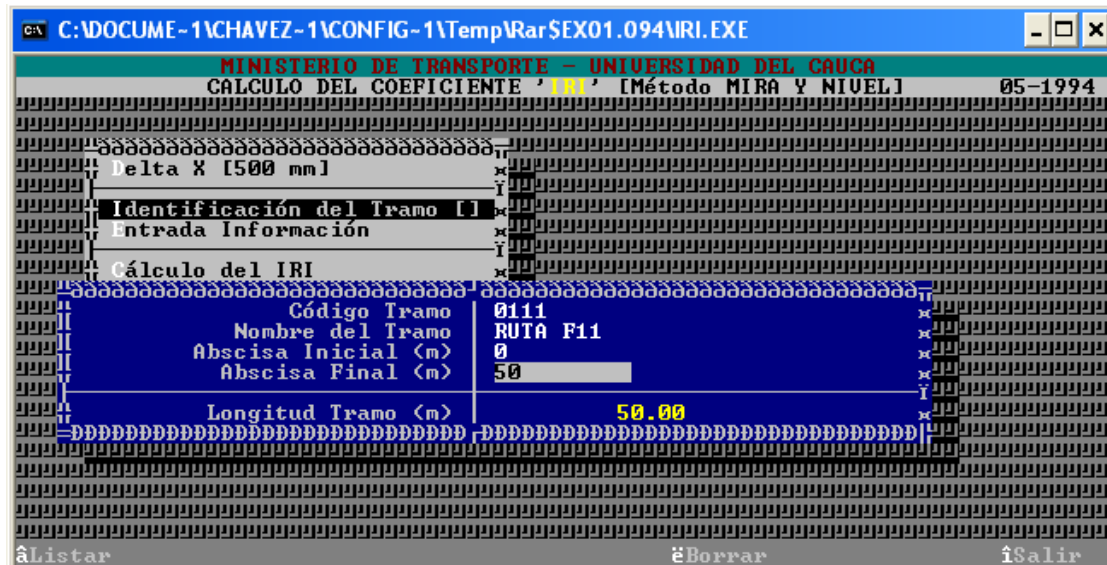
DATOS TOPOGRAFICOS PARA EL CALCULO DEL IRI			
TRAMO: 0+000 - 0+050		CARRETERA F11	
Nº	ABSCISA:	COTA:IZQ	COTA:DER
52	25,5	373,101	373,085
53	26,0	373,106	373,098
54	26,5	373,105	373,104
55	27,0	373,107	373,108
56	27,5	373,092	373,085
57	28,0	373,098	373,077
58	28,5	373,089	373,088
59	29,0	373,092	373,093
60	29,5	373,088	373,088
61	30,0	373,093	373,064
62	30,5	373,087	373,077
63	31,0	373,086	373,059
64	31,5	373,095	373,060
65	32,0	373,085	373,050
66	32,5	373,088	373,081
67	33,0	373,066	373,074
68	33,5	373,068	373,064
69	34,0	373,079	373,076
70	34,5	373,077	373,073
71	35,0	373,082	373,078
72	35,5	373,076	373,076
73	36,0	373,069	373,073
74	36,5	373,073	373,065
75	37,0	373,077	373,076
76	37,5	373,069	373,071
77	38,0	373,076	373,069
78	38,5	373,071	373,067
79	39,0	373,072	373,056
80	39,5	373,074	373,049
81	40,0	373,069	373,061
82	40,5	373,081	373,058
83	41,0	373,074	373,065
84	41,5	373,076	373,060
85	42,0	373,075	373,070
86	42,5	373,079	373,066
87	43,0	373,083	373,075
88	43,5	373,065	373,062
89	44,0	373,074	373,077
90	44,5	373,099	373,078
91	45,0	373,110	373,085
92	45,5	373,090	373,090
93	46,0	373,090	373,101
94	46,5	373,109	373,105
95	47,0	373,104	373,106
96	47,5	373,116	373,110
97	48,0	373,110	373,119
98	48,5	373,128	373,123
99	49,0	373,132	373,126
100	49,5	373,137	373,128
101	50,0	373,140	373,124

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

Utilización del software INPACO del Ministerio de Obras Públicas y Transporte Colombiano, para la determinación del coeficiente IRI (Índice de Rugosidad internacional) que emplea el método Mira – Nivel.



IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO



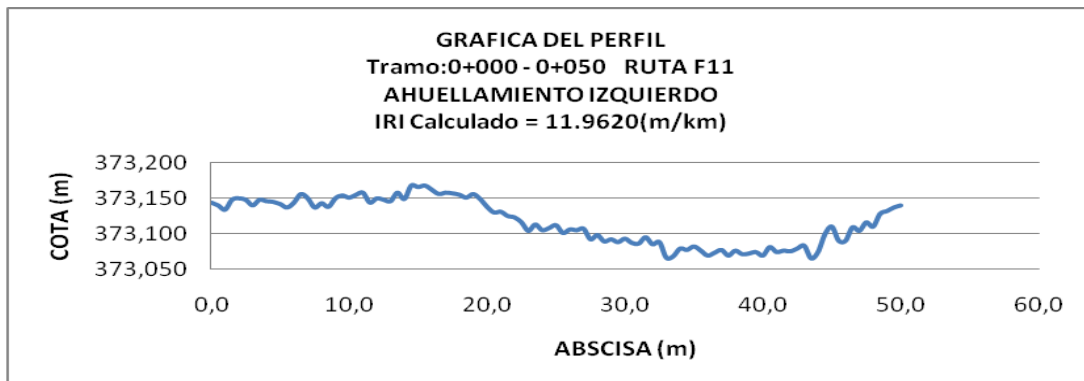
ENTRADA DE DATOS DE CAMPO

MINISTERIO DE TRANSPORTE - UNIVERSIDAD DEL CAUCA			
CALCULO DEL COEFICIENTE 'IRI' [Método MIRA Y NIVEL] 05-1994			
	Cns	Abscisa	Cota (m)
Delta X [500 mm]			
Identificación del Tramo [0111]	1	0.00	373.144
Entrada Información	2	0.50	373.140
	3	1.00	373.134
	4	1.50	373.148
Cálculo del IRI	5	2.00	373.150
Gráfica	6	2.50	373.148
	7	3.00	373.140
Imprimir Información	8	3.50	373.148
	9	4.00	373.146
Terminar	10	4.50	373.145
	11	5.00	373.142
	12	5.50	373.137
	13	6.00	0.000
	14	6.50	0.000
	15	7.00	0.000

RESULTADOS DEL IRI

Delta X (mm)	500.00
Número Total de Datos	101
Número de Datos Analizados	101
% de Análisis	100.0
Z1	14.31
Z2	-48.92
Z3	-0.27
Z4	-62.83
Y	6.04
σ RSi	1196.200
IRI Calculado (m/km)	11.9620

GRAFICA DEL PERFIL



Los datos topográficos de las cotas y los perfiles longitudinales de cada ahuellamiento, están adjuntados en el ANEXO B.

3.4. LÍMITES DE ASIGNACIÓN DE ESTADO POR TIPO DE CAMINO Y TIPO DE AUSCULTACIÓN

Los Límites de Asignación de Estado ajustados son los siguientes:

Tabla 16 Límites de Asignación de Estado para Caminos de Ripio

ESTADO	SECO	MEDITERRÁNEO	HÚMEDO
MUY BUENO	10,0 a 8,0	10,0 a 8,0	10,0 a 8,0
BUENO	7,9 a 5,0	7,9 a 5,5	7,9 a 7,0
REGULAR	4,9 a 4,0	5,4 a 4,5	6,9 a 5,0
MALO	3,9 a 2,0	4,4 a 2,5	4,9 a 3,5
MUY MALO	1,9 a 1,0	2,4 a 1,0	3,4 a 1,0

Fuente: Estudio Modelos de Deterioro en Caminos No Pavimentados

Tabla 17 Límites de Asignación de Estado para Caminos de Tierra

ESTADO	SECO	MEDITERRÁNEO	HÚMEDO
MUY BUENO	10,0 a 7,5	10,0 a 8,0	10,0 a 8,0
BUENO	7,4 a 4,5	7,9 a 5,5	7,9 a 6,5
REGULAR	4,4 a 3,0	5,4 a 4,0	6,4 a 4,5
MALO	2,9 a 2,0	3,9 a 2,0	4,4 a 3,0
MUY MALO	1,9 a 1,0	1,9 a 1,0	2,9 a 1,0

Fuente: Estudio Modelos de Deterioro en Caminos No Pavimentados

3.5. ESTIMACIÓN DE ÍNDICE DE CONDICIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS (ICNP)

Como parte del estudio “Modelos de Deterioro de Caminos no Pavimentados”, se elaboró una planilla de cálculo para la estimación del ICNP, la cual considera los valores medidos en el contexto de una inspección visual de deterioros, con o sin equipo de auscultación para medir IRI. En las siguientes tablas se muestran las planillas de cálculo del ICNP utilizada en el presente trabajo:

Tabla 18 Planilla de cálculo del ICNP RUTA F11

PLANILLA DE CÁLCULO DEL ICNP F11														
Código	k.i.	k.f.	Superficie (T,R,E)	Clima (S,M,H)	Drenaje (0 0.5 ó 1)	Calaminas (cm)	Ahuellamiento (cm)	IRI (m/km)	Baches (m*m)	Erosión (0 ó 1)	ICNP s/IRI	ICNP c/IRI	ICNP obs	ESTADO
11	0+000	0+050	E	S	0,5	2,95	3,6	11,8928	0,0096	0	4,564	4,539	4,5	REGULAR
12	0+250	0+300	E	S	0,5	2,8	3,35	11,4460	0	0	4,843	4,822	4,7	REGULAR
13	0+500	0+550	E	S	0,5	2,7	3,28	11,2375	0,01085	0	4,958	4,936	4,7	REGULAR
14	0+750	0+800	E	S	0,5	2,8	3,41	11,4361	0	0	4,823	4,802	4,7	REGULAR
15	1+000	1+050	E	S	0,5	2	3,95	9,0817	0	0	5,572	5,551	5,5	BUENO
16	1+250	1+300	E	S	0,5	2,1	3,35	9,5506	0,0153	0	5,621	5,599	5,5	BUENO
17	1+500	1+550	E	S	0,5	2,5	3,74	10,5229	0	0	5,061	5,045	5,0	BUENO
18	1+750	1+800	E	S	0,5	2,2	3,89	9,6654	0	0	5,360	5,336	5,5	BUENO
19	2+000	2+050	E	S	0,5	2	3,94	9,1577	0,01353	0	5,545	5,524	5,5	BUENO
110	2+250	2+300	E	S	0,5	2,1	3,8	9,3921	0	0	5,506	5,484	5,5	BUENO
111	2+500	2+550	E	S	0,5	2	3,55	11,3206	0,39516	0	4,815	4,794	4,7	REGULAR
112	2+750	2+800	E	S	0,5	2,6	3,44	11,6820	0,14938	0	4,708	4,689	4,5	REGULAR
113	3+000	3+050	E	S	0,5	2,9	3,57	11,6968	0	0	4,653	4,631	4,5	REGULAR
114	3+250	3+300	E	S	0,5	2,4	3,9	10,2280	0	0	5,124	5,102	5,0	BUENO
115	3+500	3+550	E	S	0,5	2,9	3,65	11,6818	0	0	4,627	4,605	4,7	REGULAR
116	3+750	3+800	E	S	0,5	2,5	3,87	10,4568	0	0	5,018	5,020	5,0	BUENO
117	4+000	4+050	E	S	0,5	2,8	3,29	11,6375	0,0322	0	4,790	4,768	4,7	REGULAR
118	4+250	4+300	E	S	0,5	2,8	3,45	11,4359	0	0	4,809	4,786	4,7	REGULAR
119	4+500	4+550	E	S	0,5	2,6	3,65	11,2754	0,08103	0	4,792	4,772	4,7	REGULAR
120	4+750	4+800	E	S	0,5	2,95	3,55	11,9423	0,0186	0	4,560	4,539	4,7	REGULAR

Tabla 19 Planilla de cálculo del ICNP RUTA D685

PLANILLA DE CÁLCULO DEL ICNP D685														
Código	k.i.	k.f.	Superficie (T,R,E)	Clima (S,M,H)	Drenaje (0 0.5 ó 1)	Calaminas (cm)	Ahuellamiento (cm)	IRI (m/km)	Baches (m*m)	Erosión (0 ó 1)	ICNP s/IRI	ICNP c/IRI	ICNP obs	ESTADO
21	0+000	0+050	R	S	0,5	2,1	3,0	9,2109	0	1	4,301	4,279	4,0	REGULAR
22	0+250	0+300	R	S	0,5	1,4	3,0	8,2002	0,1764	1	4,716	4,693	4,5	REGULAR
23	0+500	0+550	R	S	0,5	1,5	3,9	8,0653	0,1274	1	4,410	4,388	4,5	REGULAR
24	0+750	0+800	R	S	0,5	1,5	2,5	8,5488	0,111	1	4,895	4,750	4,7	REGULAR
25	1+000	1+050	R	S	0,5	1,5	3,9	8,1937	0,1502	1	4,359	4,336	4,0	REGULAR
26	1+250	1+300	R	S	0,5	2,5	3,2	10,9756	0,1205	1	3,498	3,475	3,5	MALO
27	1+500	1+550	R	S	0,5	2,2	3,2	9,4621	0	1	4,118	4,096	4,0	REGULAR
28	1+750	1+800	R	S	0,5	2,3	3,2	10,1099	0,066	1	3,853	3,830	3,5	MALO
29	2+000	2+050	R	S	0,5	2	5,0	11,0882	0,4521	1	2,731	2,709	2,5	MALO
210	2+250	2+300	R	S	0,5	2,5	3,5	10,8115	0,0413	0	5,048	5,022	5,0	BUENO
211	2+500	2+550	R	S	0,5	2,3	3,7	10,5775	0,116	0	5,045	5,038	5,0	BUENO
212	2+750	2+800	R	S	0,5	2,3	3,2	10,1456	0,0749	1	3,833	3,815	3,5	MALO
213	3+000	3+050	R	S	0,5	2,1	3,9	9,7947	0,076	0	5,301	5,279	5,0	BUENO
214	3+250	3+300	R	S	0,5	2,4	2,8	10,8444	0,0793	0	5,312	5,289	5,0	BUENO
215	3+500	3+550	R	S	0,5	2,1	3,4	9,8101	0,1205	1	3,896	3,873	3,5	MALO
216	3+750	3+800	R	S	0,5	2,5	2,6	11,1898	0,0867	0	5,246	5,227	5,0	BUENO
217	4+000	4+050	R	S	0,5	2,4	3,7	10,7343	0,0359	0	5,110	4,974	5,0	BUENO
218	4+250	4+300	R	S	0,5	2	3,9	10,0785	0,178	0	5,187	5,163	5,0	BUENO
219	4+500	4+550	R	S	0,5	2,2	3,2	10,5943	0,1484	0	5,255	5,231	5,0	BUENO
220	4+750	4+800	R	S	0,5	2,5	3,2	10,7939	0,0874	1	3,572	3,550	3,5	MALO

Tabla 20 Planilla de cálculo del ICNP RUTA D661

PLANILLA DE CÁLCULO DEL ICNP D661														
Código	k.i.	k.f.	Superficie (T,R,E)	Clima (S,M,H)	Drenaje (0 0.5 ó 1)	Calaminas (cm)	Ahuellamiento (cm)	IRI (m/km)	Baches (m*m)	Erosión (0 ó 1)	ICNP s/IRI	ICNP c/IRI	ICNP obs	ESTADO
31	0+000	0+050	R	S	0,5	0,80	2,57	6,0033	0,0175	0	7,388	7,367	6,9	BUENO
32	0+250	0+300	R	S	0,5	0,97	2,43	6,5943	0,0344	0	7,200	7,178	7,1	BUENO
33	0+500	0+550	R	S	0,5	1,03	2,47	6,7057	0,0209	0	7,142	7,119	6,8	BUENO
34	0+750	0+800	R	S	0,5	0,93	2,40	6,5780	0,0482	0	7,219	7,198	7,1	BUENO
35	1+000	1+050	R	S	0,5	1,33	2,73	7,4846	0,0167	0	6,714	6,693	6,6	BUENO
36	1+250	1+300	R	S	0,5	1,30	2,53	7,6089	0,0505	0	6,744	6,722	6,4	BUENO
37	1+500	1+550	R	S	0,5	1,13	2,17	6,9935	0,014	0	7,142	7,121	6,7	BUENO
38	1+750	1+800	R	S	0,5	1,23	2,30	7,2927	0,02	0	6,968	6,945	6,6	BUENO
39	2+000	2+050	R	S	0,5	1,03	3,37	6,7715	0,0605	0	6,753	6,732	6,4	BUENO
310	2+250	2+300	R	S	0,5	1,00	3,03	6,5650	0,0296	0	6,972	6,950	6,9	BUENO
311	2+500	2+550	R	S	0,5	1,13	3,23	6,9894	0,0433	0	6,720	6,696	6,6	BUENO
312	2+750	2+800	R	S	0,5	1,17	3,13	7,0772	0,0403	0	6,721	6,700	6,3	BUENO
313	3+000	3+050	R	S	0,5	0,90	2,33	6,0431	0,0228	1	5,865	5,844	5,4	BUENO
314	3+250	3+300	R	S	0,5	1,00	2,13	6,4041	0,0307	1	5,798	5,776	5,3	BUENO
315	3+500	3+550	R	S	0,5	0,93	2,40	6,0561	0,009	1	5,835	5,812	5,7	BUENO
316	3+750	3+800	R	S	0,5	0,97	2,20	6,2780	0,0274	1	5,822	5,801	5,8	BUENO
317	4+000	4+050	R	S	0,5	1,10	2,03	6,7626	0,0428	1	5,688	5,669	5,4	BUENO
318	4+250	4+300	R	S	0,5	1,13	2,17	6,6911	0,0149	1	5,668	5,645	5,3	BUENO
319	4+500	4+550	R	S	0,5	1,17	2,10	6,8195	0,0198	1	5,640	5,619	5,4	BUENO
320	4+750	4+800	R	S	0,5	1,13	2,00	6,6854	0,0099	1	5,735	5,714	5,5	BUENO
321	5+000	5+050	R	S	0,5	1,17	2,13	6,8455	0,0256	1	5,616	5,595	5,1	BUENO
322	5+250	5+300	R	S	0,5	1,10	2,27	6,6911	0,034	1	5,630	5,605	5,5	BUENO
323	5+500	5+550	R	S	0,5	1,23	2,03	6,9797	0,0127	1	5,601	5,580	5,3	BUENO
324	5+750	5+800	R	S	0,5	1,13	2,17	6,7000	0,0153	1	5,667	5,641	5,5	BUENO
325	6+000	6+050	R	S	0,5	1,27	2,30	7,2415	0,0508	1	5,387	5,366	5,3	REGULAR

Tabla 21 Planilla de cálculo del ICNP CAMINO M17

PLANILLA DE CÁLCULO DEL ICNP M 17														
Código	k.i.	k.f.	Superficie (T,R,E)	Clima (S,M,H)	Drenaje (0 0.5 ó 1)	Calaminas (cm)	IRI (m/km)	Camino Pedregoso (0 ó 1)	Baches (m*m)	Erosión (0 ó 1)	ICNP s/IRI	ICNP c/IRI	ICNP obs	ESTADO
41	0+000	0+050	T	S	0,5	2,1	10,7756	0	0,13973	0	6,458	6,437	6,2	BUENO
42	0+250	0+300	T	S	0,5	2,1	10,3878	0	0,06885	0	6,618	6,596	6,4	BUENO
43	0+500	0+550	T	S	0,5	2	8,9634	1	0,018	1	3,813	3,790	3,4	MALO
44	0+750	0+800	T	S	0,5	2,1	9,4488	1	0,05555	1	3,612	3,591	3,4	MALO
45	1+000	1+050	T	S	0,5	1,8	8,6049	1	0	0	5,558	5,537	5,5	BUENO
46	1+250	1+300	T	S	0,5	2,1	9,6976	0	0	1	5,301	5,279	5,0	BUENO
47	1+500	1+550	T	S	0,5	2,7	11,9659	1	0,204	1	2,580	2,559	2,3	MALO
48	1+750	1+800	T	S	0,5	2,6	11,7707	1	0,16254	0	4,262	4,239	3,9	REGULAR
49	2+000	2+050	T	S	0,5	2	9,1732	1	0	0	5,325	5,304	5,1	BUENO
410	2+250	2+300	T	S	0,5	2,1	9,8732	1	0,0755	0	5,039	5,017	5,0	BUENO
411	2+500	2+550	T	S	0,5	1,8	8,2976	1	0	1	4,086	4,063	4,0	BUENO
412	2+750	2+800	T	S	0,5	2	8,8610	1	0	1	3,853	3,832	3,5	MALO
413	3+000	3+050	T	S	0,5	2,1	9,8049	1	0,1204	1	3,466	3,445	3,2	MALO
414	3+250	3+300	T	S	0,5	2	9,8561	1	0,1809	1	3,446	3,424	3,2	MALO
415	3+500	3+550	T	S	0,5	2,1	9,4146	1	0,0486	1	3,628	3,605	3,5	MALO
416	3+750	3+800	T	S	0,5	2,6	10,5610	1	0	1	3,156	3,135	2,9	MALO
417	4+000	4+050	T	S	0,5	2,1	9,1463	1	0	1	3,737	3,715	3,5	MALO
418	4+250	4+300	T	S	0,5	2	8,8659	1	0	1	3,853	3,830	3,5	MALO
419	4+500	4+550	T	S	0,5	2,1	9,4561	1	0	0	5,209	5,188	5,0	BUENO
420	4+750	4+800	T	S	0,5	2,1	9,1439	1	0	1	3,737	3,716	3,5	MALO

Tabla 22 Planilla de cálculo del ICNP CAMINO MS19

PLANILLA DE CÁLCULO DEL ICNP MS19														
Código	k.i.	k.f.	Superficie (T,R,E)	Clima (S,M,H)	Drenaje (0 0.5 ó 1)	Calaminas (cm)	IRI (m/km)	Camino Pedregoso (0 ó 1)	Baches (m*m)	Erosión (0 ó 1)	ICNP s/IRI	ICNP c/IRI	ICNP obs	ESTADO
51	0+000	0+050	T	S	0,5	0,90	6,0732	1	0,05984	1	4,996	4,975	5,0	REGULAR
52	0+250	0+300	T	S	0,5	1,03	6,2537	1	0,02356	1	4,923	4,901	4,8	REGULAR
53	0+500	0+550	T	S	0,5	0,97	6,0220	1	0,0155	1	5,019	4,996	4,7	REGULAR
54	0+750	0+800	T	S	0,5	1,00	6,1537	1	0,022875	1	4,963	4,942	4,8	REGULAR
55	1+000	1+050	T	S	0,5	1,50	7,6512	1	0,0375	1	4,349	4,328	4,3	REGULAR
56	1+250	1+300	T	S	0,5	1,37	7,0683	1	0	1	4,589	4,567	4,3	REGULAR
57	1+500	1+550	T	S	0,5	1,27	6,9171	1	0,0243	1	4,650	4,629	4,6	REGULAR
58	1+750	1+800	T	S	0,5	1,43	7,3780	1	0,02142	1	4,463	4,440	4,1	REGULAR
59	2+000	2+050	T	S	0,5	0,93	5,8390	1	0	1	5,092	5,071	5,0	REGULAR
510	2+250	2+300	T	S	0,5	0,97	5,9854	1	0,0093	1	5,033	5,011	5,0	REGULAR
511	2+500	2+550	T	S	0,5	1,03	6,1268	1	0	1	4,976	4,953	4,9	REGULAR
512	2+750	2+800	T	S	0,5	1,10	6,3098	1	0	1	4,899	4,878	4,7	REGULAR
513	3+000	3+050	T	S	0,5	1,00	6,0268	1	0	1	5,015	4,994	4,9	REGULAR
514	3+250	3+300	T	S	0,5	1,10	6,3659	1	0,00961	1	4,877	4,855	4,4	REGULAR
515	3+500	3+550	T	S	0,5	0,93	5,8976	1	0,0099	1	5,070	5,047	5,0	REGULAR

RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presenta la validación de las ecuaciones de estado para el Índice de Condición de Caminos No Pavimentados (ICNP), de acuerdo con la metodología propuesta para el análisis matemático y estadístico de los datos recopilados en terreno.

3.6. VALIDACIÓN DE ECUACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La validación estadística de las ecuaciones consistió en un test-t con igualdad de medias entre los valores comparados gráficamente, para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ (intervalo de confianza de 95%).

Camino de Ripio Ruta F11

Los resultados del análisis estadístico se presentan en la TABLA 23 y 24.

TABLA 23 Análisis Estadístico en Validación de Ecuación de Estado para Camino de Ripio F11 c/IRI

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>ICNP observado</i>	<i>ICNP calculado</i>
Media	4,913	4,967
Varianza	0,141	0,124
Observaciones	20	20
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	-0,468	
P(T<=t) una cola	0,321	
Valor crítico de t (una cola)	1,686	
P(T<=t) dos colas	0,643	
Valor crítico de t (dos colas)	2,024	

TABLA 24 Análisis Estadístico en Validación de Ecuación de Estado para Camino de Ripio F11 s/IRI

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>ICNP observado</i>	<i>ICNP calculado</i>
Media	4,913	4,987
Varianza	0,141	0,124
Observaciones	20	20
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	-0,645	
P(T<=t) una cola	0,261	
Valor crítico de t (una cola)	1,686	
P(T<=t) dos colas	0,523	
Valor crítico de t (dos colas)	2,024	

Debido a que el valor calculado del estadístico t se encuentra dentro del intervalo crítico $[-t_{\text{crítico}}, t_{\text{crítico}}] = [-2,024 ; 2,024]$, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. De este modo, se puede inferir que las medias son iguales en un intervalo de confianza del 95%. Con esta información se puede concluir que, a partir de los datos, la ecuación de estado de Caminos No Pavimentados se ha validado para los Camino afirmado con material granular y/o Estabilizado.

Camino de Ripio Ruta D685

Los resultados del análisis estadístico se presentan en la TABLA 25 y 26.

TABLA 25 Análisis Estadístico en Validación de Ecuación de Estado para Camino de Ripio
D685c/IRI

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>ICNP observado</i>	<i>ICNP calculado</i>
Media	4,285	4,452
Varianza	0,572	0,542
Observaciones	20	20
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	-0,706	
P(T<=t) una cola	0,242	
Valor crítico de t (una cola)	1,686	
P(T<=t) dos colas	0,485	
Valor crítico de t (dos colas)	2,024	

TABLA 26 Análisis Estadístico en Validación de Ecuación de Estado para Camino de Ripio
D685s/IRI

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>ICNP observado</i>	<i>ICNP calculado</i>
Media	4,285	4,484
Varianza	0,572	0,553
Observaciones	20	20
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	-0,840	
P(T<=t) una cola	0,203	
Valor crítico de t (una cola)	1,686	
P(T<=t) dos colas	0,406	
Valor crítico de t (dos colas)	2,024	

Debido a que el valor calculado del estadístico t se encuentra dentro del intervalo crítico $[-t_{\text{crítico}}, t_{\text{crítico}}] = [-2,024 ; 2,024]$, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. De este modo, se puede inferir que las medias son iguales en un intervalo de confianza del 95%. Con esta información se puede concluir que, a partir de los datos, la ecuación de estado de Caminos No Pavimentados se ha validado para los Caminos de ripio.

Camino de Ripio Ruta D661

Los resultados del análisis estadístico se presentan en la TABLA 27 y 28.

TABLA 27 Análisis Estadístico en Validación de Ecuación de Estado para Camino de Ripio D661
c/IRI

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>ICNP observado</i>	<i>ICNP calculado</i>
Media	6,240	6,284
Varianza	0,419	0,464
Observaciones	25	25
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	24	
Estadístico t	-0,232	
P(T<=t) una cola	0,409	
Valor crítico de t (una cola)	1,677	
P(T<=t) dos colas	0,818	
Valor crítico de t (dos colas)	2,011	

TABLA 28 Análisis Estadístico en Validación de Ecuación de Estado para Camino de Ripio D661
s/IRI

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>ICNP observado</i>	<i>ICNP calculado</i>
Media	6,240	6,305
Varianza	0,419	0,464
Observaciones	25	25
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	24	
Estadístico t	-0,348	
P(T<=t) una cola	0,365	
Valor crítico de t (una cola)	1,677	
P(T<=t) dos colas	0,729	
Valor crítico de t (dos colas)	2,011	

Debido a que el valor calculado del estadístico t se encuentra dentro del intervalo crítico $[-t_{\text{crítico}}, t_{\text{crítico}}] = [-2,011 ; 2,011]$, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. De este modo, se puede inferir que las medias son iguales en un intervalo de confianza del 95%. Con esta información se puede concluir que, a

partir de los datos, la ecuación de estado de Caminos No Pavimentados se ha validado para los Caminos de ripio.

Camino de Tierra M 17

Los resultados del análisis estadístico se presentan en la TABLA 29 y 30.

TABLA 29 Análisis Estadístico en Validación de Ecuación de Estado para Camino de Tierra M17
c/IRI

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>ICNP observado</i>	<i>ICNP calculado</i>
Media	4,224	4,315
Varianza	1,198	1,208
Observaciones	20	20
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	-0,263	
P(T<=t) una cola	0,397	
Valor crítico de t (una cola)	1,686	
P(T<=t) dos colas	0,794	
Valor crítico de t (dos colas)	2,024	

TABLA 30 Análisis Estadístico en Validación de Ecuación de Estado para Camino de Tierra M17
s/IRI

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>ICNP observado</i>	<i>ICNP calculado</i>
Media	4,224	4,337
Varianza	1,198	1,208
Observaciones	20	20
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	19	
Estadístico t	-0,326	
P(T<=t) una cola	0,373	
Valor crítico de t (una cola)	1,686	
P(T<=t) dos colas	0,746	
Valor crítico de t (dos colas)	2,024	

Debido a que el valor calculado del estadístico t se encuentra dentro del intervalo crítico $[-t_{\text{crítico}}, t_{\text{crítico}}] = [-2,024 ; 2,024]$, no existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. De este modo, se puede inferir que las medias son iguales

en un intervalo de confianza del 95%. Con esta información se puede concluir que, a partir de los datos, la ecuación de estado de Caminos No Pavimentados se ha validado para los Caminos de tierra.

Camino de Tierra MS 19

Los resultados del análisis estadístico se presentan en la TABLA 31 y 32.

TABLA 31 Análisis Estadístico en Validación de Ecuación de Estado para Camino de Tierra MS19
c/IRI

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>ICNP observado</i>	<i>ICNP calculado</i>
Media	4,860	4,843
Varianza	0,081	0,051
Observaciones	15	15
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	27	
Estadístico t	0,180	
P(T<=t) una cola	0,429	
Valor crítico de t (una cola)	1,703	
P(T<=t) dos colas	0,859	
Valor crítico de t (dos colas)	2,052	

TABLA 32 Análisis Estadístico en Validación de Ecuación de Estado para Camino de Tierra MS19
s/IRI

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales		
	<i>ICNP observado</i>	<i>ICNP calculado</i>
Media	4,860	4,863
Varianza	0,081	0,052
Observaciones	15	15
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	27	
Estadístico t	-0,037	
P(T<=t) una cola	0,485	
Valor crítico de t (una cola)	1,703	
P(T<=t) dos colas	0,971	
Valor crítico de t (dos colas)	2,052	

Debido a que el valor calculado del estadístico t se encuentra dentro del intervalo crítico $[-t_{\text{crítico}}, t_{\text{crítico}}] = [-2,052 ; 2,052]$, no existe evidencia estadística para

rechazar la hipótesis nula. De este modo, se puede inferir que las medias son iguales en un intervalo de confianza del 95%. Con esta información se puede concluir que, a partir de los datos, la ecuación de estado de Caminos No Pavimentados se ha validado para los Caminos de tierra.

3.7. UMBRALES DE INTERVENCIÓN

Los umbrales de intervención se definen como los valores límites (máximos o mínimos) de parámetros de deterioro (o de estado funcional o estructural) o índice de calificación de estado (en este caso ICNP), por sobre o bajo los cuales se entenderá necesario realizar una acción de conservación sobre la calzada no pavimentada (ripio y tierra) para restablecer el estado de cumplimiento del respectivo parámetro o indicador. La clasificación de estado dada a conocer anteriormente se sustenta sobre la base de asociar a una evaluación cuantitativa de la condición de la calzada no pavimentada (ICNP de 1 a 10), una calificación cualitativa que varía desde Muy Malo a Muy Bueno. Esta forma de calificar el estado del camino tiene asociada a su vez, una combinación de niveles de deterioro, en la forma como ellos se definieron, que en sí pueden derivar en una acción o conjunto de acciones de conservación necesarias para “mejorar” el grado de cumplimiento, en función del nivel de servicio impuesto, al deterioro o a los deterioros o índice (en este caso) involucrados. En otras palabras, si se desea por ejemplo, pasar del estado regular de un camino de ripio con clima seco, al estado bueno, es necesario conocer el o los deterioros, su magnitud y severidad, involucrado(s) en la calificación del estado, para determinar la acción de conservación necesaria.

Tabla 33 Umbrales Adoptados Caminos de Ripio según ICNP

INDICADOR O DETERIORO	LIMITES	
	L1	L2
ICNP	5,5	4,5
CALAMINA (cm)	3,0	5,0
AHUELLAMIENTO (cm)	3,5	5,0
BACHES (m*m*N°baches)	2,0	2,5
IRI m/km)	--	max.12

Fuente: MOP (Chile). 2008. Política de Conservación Vial – Caminos No Pavimentados.

Tabla 34 Umbrales Adoptados Caminos de Tierra según ICNP

INDICADOR O DETERIORO	LIMITES	
	L1	L2
ICNP	6,0	4,0
CALAMINA (cm)	4,0	6,0
AHUELLAMIENTO (cm)	4,0	6,0
BACHES (m*m*N°baches)	2,5	3,0
IRI m/km)	--	max.12

Fuente: MOP (Chile). 2008. Política de Conservación Vial – Caminos No Pavimentados.

Los valores por debajo de L1 corresponden acciones de conservación rutinaria.

Los valores entre L1 y L2 corresponden acciones de conservación periódica.

Los valores por encima de L2 corresponden acciones de conservación mayor.

A continuación se presenta el análisis realizado en cada camino en estudio para determinar la acción de conservación necesaria:

Camino de Ripio Ruta F11

Tabla 35 Análisis de umbrales de intervención para la Ruta F11

Indicador o Deterioro	Valores	Limites		Análisis	Macroacción
		L1	L2		
ICNP	5,0	5,5	4,5	entre L1 y L2	conservación periódica
Calamina (cm)	2,5	3,0	5,0	debajo de L1	conservación rutinaria
Ahuellamiento (cm)	3,6	3,5	5,0	entre L1 y L2	conservación periódica
Baches (m*m*n°b)	0,04	2,0	2,5	debajo de L1	conservación rutinaria
IRI (m/km)	10,84	-	max. 12	debajo de L1	conservación rutinaria

Camino de Ripio Ruta D685

Tabla 36 Análisis de umbrales de intervención para la Ruta D685

Indicador o Deterioro	Valores	Limites		Análisis	Macroacción
		L1	L2		
ICNP	4,4	5,5	4,5	sobre L2	conservación mayor
Calamina (cm)	2,1	3,0	5,0	debajo de L1	conservación rutinaria
Ahuellamiento (cm)	3,4	3,5	5,0	debajo de L1	conservación rutinaria
Baches (m*m*n°b)	0,11	2,0	2,5	debajo de L1	conservación rutinaria
IRI (m/km)	9,96	-	max. 12	debajo de L1	conservación rutinaria

Camino de Ripio Ruta D661

Tabla 37 Análisis de umbrales de intervención para la Ruta D661

Indicador o Deterioro	Valores	Limites		Analisis	Macroaccion
		L1	L2		
ICNP	6,3	5,5	4,5	debajo de L1	conservación rutinaria
Calamina (cm)	1,1	3,0	5,0	debajo de L1	conservación rutinaria
Ahuellamiento (cm)	2,4	3,5	5,0	debajo de L1	conservación rutinaria
Baches (m*m*nºb)	0,03	2,0	2,5	debajo de L1	conservación rutinaria
IRI (m/km)	6,75	-	max. 12	debajo de L1	conservación rutinaria

Camino de Tierra M 17

Tabla 38 Análisis de umbrales de intervención para la Ruta M17

Indicador o Deterioro	Valores	Limites		Analisis	Macroaccion
		L1	L2		
ICNP	4,3	6,0	4,0	entre L1 y L2	conservación periódica
Calamina (cm)	2,1	4,0	6,0	debajo de L1	conservación rutinaria
Ahuellamiento (cm)	3,1	4,0	6,0	debajo de L1	conservación rutinaria
Baches (m*m*nºb)	0,05	2,5	3,0	debajo de L1	conservación rutinaria
IRI (m/km)	9,70	-	max. 12	debajo de L1	conservación rutinaria

Camino de Tierra MS 19

Tabla 39 Análisis de umbrales de intervención para la Ruta MS19

Indicador o Deterioro	Valores	Limites		Analisis	Macroaccion
		L1	L2		
ICNP	4,9	6,0	4,0	entre L1 y L2	conservación periódica
Calamina (cm)	1,1	4,0	6,0	debajo de L1	conservación rutinaria
Ahuellamiento (cm)	2,4	4,0	6,0	debajo de L1	conservación rutinaria
Baches (m*m*nºb)	0,02	2,5	3,0	debajo de L1	conservación rutinaria
IRI (m/km)	6,39	-	max. 12	debajo de L1	conservación rutinaria

3.8. ASIGNACIÓN DE ACCIONES DE CONSERVACIÓN

Se presenta a continuación alternativas de solución para los diferentes deterioros existentes en los caminos no pavimentados.

Tabla 40 Alternativas de operaciones según tipo y nivel de deterioro.

Defectos	Alternativas de solución
Ahuellamiento	<p>(i) casos de menor nivel de gravedad: simple nivelación de la plataforma con la motoniveladora</p> <p>(ii) se puede incluir la nivelación y conformación de la superficie, con la adición de materiales en la correcta proporción, y su esparcimiento y compactación con equipos adecuados</p> <p>(iii) casos en que se encuentran surcos de rueda más profundos y donde se comprueba la presencia de elevados niveles de humedad en la capa de revestimiento, se recomienda una intervención más radical, que incluya: trabajos de drenaje, recomposición del área afectada y ejecución de capa de revestimiento.</p>
Baches	<p>(i) bacheo: tarea rápida, consistente en una leve regularización con la motoniveladora, que por medio de “arrastre” realizará una especie de nivelación de la superficie. Cuando la pista presenta pequeños baches distribuidos en forma dispersa, se recomienda su relleno manual con el uso de material seleccionado.</p> <p>(ii) reconformación: en tramos que presentan elevada incidencia de baches, se indica el uso de motoniveladora, disponiendo ésta de su cuchilla de manera tal para cortar a una profundidad no inferior a la de las depresiones, realizando una reconformación de la plataforma revolviendo los materiales.</p>
Calaminas	<p>(i) en caso de clima seco, el operador de la motoniveladora debe simplemente regularizar la vía</p> <p>(ii) en caso de clima húmedo, el operador debe cortar y mezclar el material de unos 2 a 3 cm. por debajo del nivel de las ondulaciones, luego se compacta con rodillos.</p>
Erosión	Sección transversal debe trabajarse con una inclinación de carril del orden del 4%, para que pueda suministrar la conducción de las aguas.
Exceso de Polvo	<p>Se propone la realización de un tratamiento antipolvo (económicamente rentable para TMDA sobre 100 a 130 veh./día) consistente en los siguientes pasos:</p> <p>(i) escarificación de la capa final de la pista de circulación,</p> <p>(ii) remover y remezclar esta capa con la motoniveladora</p> <p>(iii) aplicación del reductor por el método de aspersión con alta presión, en cantidades suficientes para el efectivo control de la formación de polvo (tasa de 2.3 litros/m² de</p>

	compuestos del tipo Linosulfato, Clorato de Calcio o Clorato de Magnesio (iv) procedimientos finales: conformación de pendiente final, compactación a humedad óptima y restauración del drenaje superficial.
Pérdida de agregados	(i) regularización de la superficie de circulación (ii) regularización con la adición de la fracción de material faltante en la mezcla. (iii) corte de toda la capa, adición de fracciones de agregados ausentes, mezcla, humedecimiento en proporciones óptimas, reconfiguración de la vía y compactación final.
Drenaje Inadecuado	Puede ser suficiente realizar sólo la recomposición de las cunetas, mediante la utilización de la punta de la cuchilla de la motoniveladora

Fuente: Baesso y Gonçalves, 2003.

En base a la tabla 40 alternativas de operaciones según tipo y nivel de deterioro, presentada anteriormente, se examinan alternativas de solución en nuestro medio.

Los resultados del mismo se presentan en la tabla 41.

Tabla 41 Alternativas de solución en nuestro medio

Defectos	Alternativas de solución en nuestro medio (Actividades o ítems)
Ahuellamiento	- Nivelación a máquina incluyendo limpieza de cunetas
Baches	- Nivelación a máquina incluyendo limpieza de cunetas
Calaminas	- Nivelación a máquina incluyendo limpieza de cunetas
Erosión	- Nivelación a máquina incluyendo limpieza de cunetas
Pérdida de agregados	- Recubrimiento localizado con ripio
Drenaje Inadecuado	- Nivelación a máquina incluyendo limpieza de cunetas - Desbroce a máquina (limpieza lateral)

Fuente: Manual de Administración de Mantenimiento del SAM

A partir de los umbrales de intervención, desarrollados anteriormente, y tomando en cuenta las alternativas de solución planteadas en la tabla 39 y tabla 40, y con el fin de poder mejorar las características superficiales de los caminos, frenar el deterioro de la misma, y además realizar el mantenimiento necesario, se proponen las siguientes alternativas de conservación para cada uno de los caminos, en la tabla 42:

Tabla 42 Propuesta de alternativas de conservación en los tramos de estudio

Nombre del camino	Alternativas de conservación
RUTA F11	>Nivelación a máquina incluyendo limpieza de cunetas >Humedecimiento de calzada >Desbroce a Maquina (limpieza lateral)
RUTA D685	>Nivelación a máquina incluyendo limpieza de cunetas >Humedecimiento de calzada >Desbroce a Maquina (limpieza lateral) >Acopio de materiales >Carguío de material >Transporte de material >Recubrimiento localizado con ripio
RUTA D661	>Nivelación a máquina incluyendo limpieza de cunetas >Humedecimiento de calzada >Desbroce a Maquina (limpieza lateral)
RUTA M17	>Nivelación a máquina incluyendo limpieza de cunetas >Humedecimiento de calzada >Desbroce a Maquina (limpieza lateral) >Acopio de materiales >Carguío de material >Transporte de material >Recubrimiento localizado con ripio
RUTA MS19	>Nivelación a máquina incluyendo limpieza de cunetas >Humedecimiento de calzada >Desbroce a Maquina (limpieza lateral) >Acopio de materiales >Carguío de material >Transporte de material >Recubrimiento localizado con ripio

Fuente: Manual de Administración de Mantenimiento del SAM

❖ RESULTADOS ALCANZADOS

Tal como lo establecen algunos sistemas de gestión del mantenimiento como los basados en el parámetro PCI (Pavement Condition Index), al disponer de un indicador como el ICNP para los caminos no pavimentados es posible elaborar políticas de conservación que definan acciones de conservación sobre la base de los deterioros asociados a los diversos valores que adopta dicho indicador. Por ejemplo, para el caso de las superficies de ripio: si se tiene un sector de camino o un conjunto de caminos, con clima seco y en estado definido como regular, y dicho estado está principalmente definido por los niveles de baches, la acción de conservación correspondiente sería realizar un bacheo granular.

Dada la dinámica del comportamiento de las superficies granulares (la condición de estado varía rápidamente), la eficiencia de todo sistema de gestión del mantenimiento radica en la oportunidad con la que se apliquen las acciones de conservación propuestas. En este sentido, los deterioros aquí considerados y la metodología para su medición y evaluación de la condición, pueden ser analizados y replanteados según la realidad de cada región.

En la medida que se aplique esta metodología, se desarrollen otros estudios y/o se dispongan de equipos especializados, esta metodología podría ir ajustándose a estas nuevas condiciones.

Finalmente, cabe señalar que en la actualidad el SEDECA y la Dirección de Tráfico y Transporte del Gobierno Autónomo Municipal de Villa Montes, aplica una metodología complementaria para la evaluación del estado de los caminos no pavimentados, a través de la detección de la necesidad de conservación que requieren los activos viales, entre ellos la superficie de rodadura. Dicha labor es realizada en terreno por personal calificado que registra, en base a una opinión técnica, las acciones inmediatas de conservación del elemento inspeccionado.

3.9. DEFINICIÓN DE TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN PARA CAMINOS NO PAVIMENTADOS

A continuación se presenta un resumen:

- Conservación Rutinaria

Está conformada por todas aquellas operaciones destinadas a reparar o reponer situaciones de deterioro que se producen a lo largo de todo el año, cualquiera sea el nivel de tránsito y condiciones meteorológicas. Entre otras, se incluyen en este grupo, nivelación a máquina incluyendo limpieza de cunetas, humedecimiento de calzada, bacheos, limpieza de obras de drenaje, reparación y reemplazo de señales camineras, entre otras.

En lo que respecta sólo a la conservación de la calzada, a continuación se describen las acciones consideradas en el presente trabajo:

- Nivelación a máquina incluyendo limpieza de cunetas

Consiste en reconformar la plataforma del camino, incluyendo las cunetas, a condiciones similares a las originales de diseño o a un diseño mínimo. Incluye la restitución de bombeos y peraltes, reacondicionamientos de las cunetas, eliminación de las deformaciones longitudinales, tales como: ahuellamientos y acumulación de materiales y de las deformaciones transversales, tales como: ondulaciones (calamina) y el emparejamiento de baches.

El trabajo incluye los eventuales escarificados de las zonas consolidadas que impidan lograr la sección transversal propuesta. Este escarificado se debe ejecutar sólo hasta una profundidad que permita obtener los propósitos deseados, sin comprometer los suelos subyacentes.

En el caso de la reconformación de las cunetas existentes, se deben remover todos los materiales depositados en ella, de manera de asegurar una sección transversal uniforme y una pendiente longitudinal libre de obstáculos. También contempla la

rehabilitación o construcción de ventanas o sangrías, que permitan evacuar el agua de las cunetas en forma rápida y eficiente.

- **Humedecimiento de calzada**

Si la nivelación a máquina incluyendo limpieza de cunetas incluye un escarificado y riego del material, la plataforma debe escarificarse primero hasta una profundidad no inferior a 100 mm, o hasta que se logre eliminar el ahuellamiento y los baches. Si aparece material de tamaño superior a 75 mm (3”), éste debe retirarse manualmente y llevarse a botaderos autorizados. Posteriormente, se procede a revolver el material resultante, adicionándole agua de manera de humedecerlo homogéneamente, a continuación se prosigue con el perfilado.

- **Desbroce a Máquina (limpieza lateral)**

El desbroce a máquina es el conjunto de trabajos necesarios para retirar y disponer los materiales vegetales, orgánicos y/o inadecuados existentes en la zona necesaria para construir la carretera. El trabajo de desbroce consistirá en el corte y remoción de toda la vegetación constituida por arbustos o árboles, cualquiera sea su densidad. El trabajo de destronque y limpieza consistirá en la excavación y total remoción de troncos, raíces, matorrales, hojarasca, o cualquier otro material objetable, incluyendo las capas de suelos orgánicos

Estos trabajos también serán ejecutados en ciertas zonas fuera del Derecho de Vía, tales como áreas de ubicación de canales y zanjas, préstamos y fuentes de material.

➤ **Conservación Periódica**

Corresponden a esta categoría, todas aquellas operaciones que pueden, en cierta medida, programarse con alguna anticipación, pues son determinadas por el tránsito y/o las condiciones meteorológicas. Son repetitivas cada cierto tiempo que puede predefinirse. Se incluyen en esta categoría, entre otras, la reparación de áreas inestables, el recebo de capas granulares, recubrimiento localizado con ripio y la reparación de defensas fluviales.

A continuación se describen sólo las acciones de conservación periódica sobre la calzada, consideradas en el presente trabajo:

La actividad considerada en esta sección corresponde al recubrimiento localizado con ripio, ahora bien, para la ejecución de esta actividad se debe incorporar las actividades de acopio de materiales, carguío de material y transporte de material.

- **Recubrimiento localizado con ripio**

Esta actividad consiste en el relleno de los reventones profundos que se producen en la calzada, también puede emplearse para levantar la rasante cuando se requiera.

El sector a ser reparado debe ser preparado en lo posible extrayendo el agua o barro acumulado y nivelar el terreno cuando corresponda y las condiciones lo permitan antes de aplicar el material integral.

Los cómputos métricos, precios unitarios y presupuesto general de las actividades de mantenimiento propuestas para cada camino, al igual que las especificaciones técnicas para cada actividad, están adjuntados en el ANEXO C.

Nota: El análisis de precios unitarios fue realizado conjuntamente con técnicos del SEDECA – Villa Montes, dicha institución realiza los mantenimientos de caminos por administración directa, es por ello que los precios unitarios difieren de un mantenimiento realizado por terceros, debido a que no consideran utilidades (pues la institución es estatal), no consideran alquileres de equipo (solo la depreciación de los equipos, su correspondiente mantenimiento y el combustible utilizado), los técnicos y trabajadores son de la misma institución y los precios varían de acuerdo a la zona donde están ubicados los caminos en estudio.

Se optó por emplear esta modalidad de análisis de precios unitarios para conocer cuánto realmente costaría un mantenimiento, ejecutado por SEDECA – Villa Montes, en los caminos no pavimentados involucrados en este estudio.

4.1. CONCLUSIONES

- La recopilación de antecedentes proporcionó la información necesaria para seleccionar los caminos en los cuales se realizó la evaluación de estado.
- La evaluación preliminar, mediante visitas a terreno, permitió observar el estado actual de los caminos y sus posibles deterioros considerando la zona geográfica donde están ubicados.
- Con las mediciones manuales de deterioros en los caminos no pavimentados considerados en este estudio, se consiguió representar el ICNP con la utilización de la ecuación sin equipos de auscultación.
- El software utilizado denominado INPACO del Instituto de Vías de la Universidad del Cauca con el apoyo del Ministerio de Obras Públicas y Transporte de Colombia, ha sido creado como un apoyo para la realización de rehabilitación de pavimentos flexibles, de este software, sólo se utilizó el programa IRI para determinar el Índice de Rugosidad Internacional, hasta ahora se conoce que fue utilizado en los países de Colombia y el Perú.
- Al emplear el método del IRI, se obtuvo un valor del mismo para cada unidad muestral, los valores del IRI fueron empleados en el cálculo del índice de estado mediante el uso de la ecuación con equipos de auscultación.
- Se puede decir que mediante esta metodología de evaluación de estado, antes de poder calcular el Índice de Condición del Camino No Pavimentado (ICNP), se requiere obtener la cuantificación de cada una de los deterioros existentes en el tramo de estudio, incluyendo su Nivel de Severidad o daño.
- Como se obtuvo un ICNP de 5 se concluye que el estado de la ruta F11 es bueno. En la ruta D685 se obtuvo un ICNP de 4.4 por lo tanto se concluye que el estado de es regular. Se obtuvo un ICNP de 6.3 en la ruta D661 concluyéndose que el estado de es bueno. En la ruta M17 el ICNP de 4.3 se concluye que el estado es regular. Se obtuvo un ICNP de 4.9 por lo tanto se concluye que el estado de la ruta MS19 es bueno.

- Los estados dados a conocer anteriormente se sustentan sobre la base de asociar a una evaluación cuantitativa de la condición de la calzada no pavimentada (ICNP de 1 a 10), una calificación cualitativa que varía desde Muy Malo a Muy Bueno. Esta forma de calificar el estado del camino tiene asociada a su vez, una combinación de niveles de deterioro, en la forma como ellos se definieron, que en si pueden derivar en una acción o conjunto de acciones de conservación necesarias para “mejorar” el grado de cumplimiento, en función del nivel de servicio impuesto, al deterioro o a los deterioros o índice (en este caso) involucrados.
- Con la propuesta de umbrales de intervención se pudo realizar un análisis para cada camino no pavimentado, tomando en cuenta el estado del mismo, la magnitud y severidad de los deterioros involucrados en la calificación de estado, y al mismo tiempo determinar la acción de conservación a realizar, proponiendo alternativas de solución y además realizar el mantenimiento necesario.
- Con los estados de cada camino no pavimentado obtenidos con el empleo de la metodología se determino, de manera general, que debe realizarse un: “Mantenimiento rutinario y periódico”.
- Con el fin de poder mejorar las características superficiales de los caminos, frenar el deterioro de la misma, y además realizar el mantenimiento necesario, se proponen las siguientes alternativas de conservación:
 - Nivelación a máquina, incluyendo limpieza de cunetas.
 - Humedecimiento de calzada.
 - Desbroce a Maquina (limpieza lateral).
 - Acopio de materiales.
 - Carguío de material.
 - Transporte de material.
 - Recubrimiento localizado con ripio.

- Con la definición de las técnicas de conservación para caminos no pavimentados, se pudo especificar en qué consiste cada actividad de conservación.
- Con la realización de los cómputos métricos, precios unitarios y presupuesto general de las actividades de mantenimiento propuestas para cada camino no pavimentado se pudo estimar el costo aproximado que significaría mejorar las características superficiales de los caminos, frenar el deterioro de la misma, y además realizar el mantenimiento necesario.

4.2. RECOMENDACIONES

- La metodología de evaluación de estado es aplicable para caminos no pavimentados con material de carpeta de rodadura de ripio y tierra.
- El propósito de este estudio de aplicación es promover la utilización de una metodología, que pueda ser utilizable para la evaluación de estado de caminos no pavimentados, al no contarse en nuestro medio con metodologías que están destinados a realizar dicha evaluación.
- La metodología empleada en cada uno de los métodos de evaluación de estado, deberá ser seguida, tomándose en cuenta sus propias condiciones particulares requeridas por la metodología, pues de esta forma se logrará la obtención de resultados favorables.
- Inspección Visual: Debido a que ésta fue realizada por primera vez con la metodología MOP (MOP, 2008), se pueden hacer algunas observaciones y recomendaciones para su futura aplicación. Por ejemplo, hubo dificultad para percibir los baches en algunas horas en que el Sol está cerca del cenit, por lo que hay que tener cuidado a estas horas para realizar dichas mediciones. Esto ocurrió también con la medición de calaminas de tamaño pequeño, pues no existe el suficiente contraste para que el ojo humano reconozca dichos deterioros a simple vista. La inspección visual tiene una importante componente humana, por lo que el encargado de la inspección deberá ejecutarla con criterio al elegir los deterioros

representativos a medir y ser muy juicioso al momento de identificar los deterioros. Por esta razón, una inspección que logre un 100% de precisión, será muy difícil de lograr, sin embargo, mediante una capacitación y constante revisión de criterios se pueden lograr resultados adecuados.

- Si bien es cierto que los caminos no pavimentados se encuentran en estado regular a bueno, esta condición de estado puede cambiar dependiendo de las condiciones climáticas.
- Al proponer alternativas de conservación para cada uno de los caminos, debe tomarse en cuenta la severidad de cada deterioro y cómo influye en el estado de todo el camino, con esta información y ayuda de tablas con diferentes alternativas de conservación, se puede aproximar cuales serian las acciones de conservación factibles, y de esta manera simplificar las acciones y costos de los mantenimientos en cada camino, optimizando de esta manera la utilización de recursos y maquinaria.