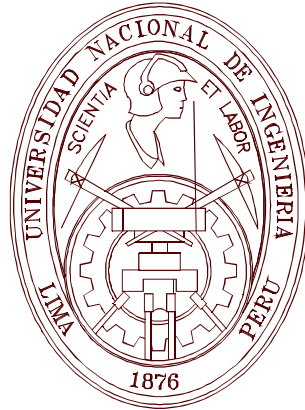


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



“INNOVACIÓN METODOLÓGICA PARA EVALUAR SUPERFICIE ESTABILIZADA CON CLORURO DE MAGNESIO APLICACIÓN VÍA DE ACCESO A CARAL (km05+000 – km 15+000)”

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA DE TRANSPORTES

ELABORADO POR

LEOPOLDO PABLO ANTICONA BERMÚDEZ

ASESOR

MSc. JOSÉ WILFREDO GUTIÉRREZ LAZARES

LIMA – PERÚ

2012



Agradecimiento:

- A Dios, quien me dio la oportunidad de dar un paso más adelante en la realización de mi formación profesional
- A mis padres, esposa e hijas por su apoyo y comprensión.



RESUMEN

El presente trabajo de titulación aborda la innovación metodológica, para evaluar una superficie estabilizada, en nuestro caso con cloruro de magnesio, la cual nos servirá como una herramienta de gestión vial en la evaluación del comportamiento funcional y estructural de superficies granulares de rodadura en las carreteras no pavimentadas y también nos permitirá establecer las intervenciones de mantenimiento a ejecutar en este tipo de caminos.

Para la aplicación de la metodología, se ejecutó la evaluación mediante monitoreo de la Vía de Acceso a Caral, la cual fue estabilizada con Cloruro de Magnesio, por el ente ejecutor Provias Descentralizado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

También nos permitirá esta metodología de evaluación, establecer las bondades de este tipo de estabilizador aplicado en vías de nuestro medio bajo las condiciones dadas como clima en zona de costa, tráfico y características físicas de los materiales.

SUMMARY

This degree work addresses methodological innovation to assess stabilized surface, in our case with magnesium chloride, which will serve as a management tool in the evaluation of road functional and structural behavior of granular surfaces rolling on roads not paved and also allow us to establish maintenance operations to be executed in such ways. For the application of the methodology, evaluation was executed by monitoring the path to Caral, which was stabilized with magnesium chloride by the Decentralized Provias executing agency of the Ministry of Transport and Communications.

This assessment methodology also allow us to establish the benefits of this type of stabilizer applied in ways of our country under the given conditions as a coastline climate, traffic and physical characteristics of materials.



INDICE	Página
Introducción.....	1
Capitulo I.- Antecedentes	
1.1 Introducción	3
1.2 Situación actual del Perú	3
1.3 Experiencia Chilena	4
1.4 Experiencia Argentina	5
Capitulo II .- Estado del Arte	
2.1 Introducción.....	7
2.2 Caminos no pavimentados.....	7
2.3 Estabilización de caminos no pavimentados.....	7
2.4 Suelos y capas de revestimiento granular.....	8
2.4.1 Trafico.....	9
2.4.2 Subrasante.....	11
2.5 Metodologías de Diseño de Superficie Granular de Rodadura.....	18
2.5.1 Manual Headquarters Department of The Army USA.....	18
2.5.2 NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities).....	20
Capitulo III.- Marco Teórico	
3.1 Introducción.....	21
3.2 Estabilización de suelos.....	21
3.2.1 Métodos de estabilización de suelos.....	22
3.2.2 Alternativas de estabilización por medios químicos.....	26
3.3 Cloruro de Magnesio.....	26
3.3.1 Propiedades físicas y químicas del cloruro de magnesio.....	27
3.4 Problemas asociados a la generación de polvo.....	29
3.5 Evaluación funcional.....	29
3.5.1 Rugosidad.....	29
3.5.2 Fallas superficiales.....	35
3.5.2.1 Manual PASER.....	35
3.5.2.2 Technical Manual TM 5-626 Unsurfaced Road Maintenance Management.....	38
3.6 Evaluación deflectométrica.....	44
3.6.1 Introducción.....	44



3.6.2 Procedimiento de medición.....	44
3.6.3 Metodología de análisis.....	45
3.6.3.1 Calculo de deflexiones.....	45
3.6.3.2 Análisis de deflexiones.....	46
3.6.3.3 Análisis estadístico de los resultados.....	49
3.6.4 Parámetros de evaluación.....	51
 Capitulo IV.- Estabilización con Cloruro de Magnesio	
4.1 Introducción.....	58
4.2 Aspectos de estabilización de suelos con Bischofita.....	58
4.2.1 Propiedades de la Bischofita.....	58
4.2.2 Mecanismos de estabilización.....	61
4.3 Experiencia de aplicación de Cloruro de Magnesio.....	62
4.3.1 Investigación en laboratorio.....	62
4.3.2 Investigación en terreno.....	67
4.3.3 Otros resultados.....	72
4.4 Como Agente Estabilizador en Superficie de Rodadura Granular.....	74
4.5 Ventajas Estabilización con Bischofita.....	76
4.5.1 Trabajabilidad en material granular.....	76
4.5.2 Control en la humedad óptima.....	77
4.5.3 Uniformidad de la superficie de rodadura.....	77
4.5.4 Supresión de polvo generado por el paso de los vehículos.....	77
4.5.5 Mejora la calidad de vida en zona aledaña al camino.....	77
4.5.6 Reduce el deterioro del camino.....	78
4.5.7 Contribuye a redujo el punto de congelación del agua.....	78
4.6 Desventaja en la aplicación de Bischofita.....	78
4.6.1 Baja Corrosión.....	78
4.6.2 Superficie resbaladiza.....	78
4.6.3 Efectos en la salud de las personas.....	78
4.7 Resumen de bondades de estabilización con Cloruro de Magnesio.....	79
 Capítulo V.- Aplicación y Monitoreo Acceso Caral	
5.1 Metodología para la evaluación de superficie estabilizada.....	80
5.1.1 Introducción.....	80
5.1.2 Evaluación funcional.....	80



5.1.3 Evaluación estructural.....	86
5.2 Aplicación.....	89
5.2.1 Introducción.....	89
5.2.2 Costos carretera estabilizada con Cloruro de Magnesio versus convencional.....	90
5.2.3 Características del estabilizador Cloruro de Magnesio.....	90
5.3. Monitoreo.....	91
5.3.1 Evaluación funcional.....	91
5.3.2 Evaluación estructural.....	101
Conclusiones.....	107
Recomendaciones.....	107
Bibliografía.....	109
Anexos.....	113



Índice de Cuadros

Cuadro 2.01. Ejes Equivalentes 8.2 tn	10
Cuadro 2.02. Tipo de material en función al tamaño de partícula.....	13
Cuadro 2.03. Característica de suelo con Índice de Plasticidad.....	14
Cuadro 2.04. Característica de suelo con Equivalente de Arena.....	14
Cuadro 2.05. Índice de Grupo para clasificar suelos.....	15
Cuadro 2.06. Correlación de clasificación de suelos.....	16
Cuadro 2.07. Clasificación de los suelos – método AASHTO.....	17
Cuadro 2.08. Signos convencionales para perfil de calicatas.....	18
Cuadro 3.01. Estado Vial según la Rugosidad.....	35
Cuadro 3.02. Factores de correlación por estacionalidad.....	46
Cuadro 5.01. Evolución de la Rugosidad.....	82
Cuadro 5.02. Comparación de Costos por km - Año.....	90
Cuadro 5.03. Especificaciones técnicas del Cloruro de Magnesio.....	90
Cuadro 5.04. Rugosidad 1 ^{er} Monitoreo.....	92
Cuadro 5.05. Rugosidad 2 ^{do} Monitoreo.....	93
Cuadro 5.06. Rugosidad 3 ^{er} Monitoreo.....	94
Cuadro 5.07. Rugosidad 4 ^{to} Monitoreo.....	94
Cuadro 5.08. Evolución de la Rugosidad.....	95
Cuadro 5.09. Resumen estadístico Porcentaje de Fallas respecto a la longitud total.....	100
Cuadro 5.10. Resumen estadístico Porcentaje de Fallas por cada sector.....	100
Cuadro 5.11. Evolución de los valores URCI.....	100
Cuadro 5.12. Deflexiones 1 ^{er} Monitoreo.....	103
Cuadro 5.13. Deflexiones 2 ^{do} Monitoreo.....	104
Cuadro 5.14. Deflexiones 3 ^{er} Monitoreo.....	104
Cuadro 5.15. Deflexiones 4 ^{to} Monitoreo.....	104
Cuadro 5.16. Evolución de las Deflexiones.....	105



Índice de Figuras

Figura 1.01. Construcción y uso de equipo MERLIN.....	6
Figura 2.01. Curvas de espesor de diseño para superficie es granular de rodadura.....	20
Figura 3.01. Cristales Bischofita.....	27
Figura 3.02. Temperatura de congelamiento de MgCl ₂	28
Figura 3.03. Modelo de cuarto den carro.....	31
Figura 3.04. Nivel y mira.....	32
Figura 3.05. Perfilometro ADPL.....	32
Figura 3.06. Equipo Bump Integrator.....	33
Figura 3.07. Esquema del Rugosimetro MERLIN.....	34
Figura 3.08. Condición de superficie y tratamiento.....	36
Figura 3.09. URCI escala y condición de calificación.....	39
Figura 3.10. Falla tipo 81 – Inadecuada Sección Transversal curvas de valor deducido...	41
Figura 3.11. Falla tipo 83 – Encalaminado curvas de valor deducido.....	42
Figura 3.12. Curva URCI.....	42
Figura 3.13. Ejemplo para calcular densidad y falla.....	43
Figura 3.14. Medición de deflexiones.....	50
Figura 3.15. Criterio Deflexión de Diseño Austroads.....	51
Figura 3.16. Criterio Deflexión de Diseño NASSRA (1979).....	52
Figura 3.17. Medida de de deflexión promedio con Viga Benkelman en CBR de subrasante para varios espesores granulares.....	53
Figura 3.18. Relación entre “Alta” Deflexión con Viga Benkelman y trafico de diseño para varios espesores granulares.....	55
Figura 3.19. Relación entre “Alta” Deflexión con Viga Benkelman y trafico de diseño para varios CBRs de subrasante.....	56
Figura 3.20. Medida de dependencia de deflexión promedio con Viga Benkelman en CBR de subrasante para varios espesores granulares.....	56
Figura 4.01. Incremento de la Tensión Superficial.....	60
Figura 4.02. Diagrama de Fase del MgCl ₂	60
Figura 4.03. Resultados de ensayos de compactación.....	65
Figura 4.04. Resistencia a la compresión no confinada (14 días de curado).....	66
Figura 4.05. Contenido de humedad de los suelos (14 días de curado).....	67
Figura 4.06. Material fino suelto en suelos arcillosos.....	69



Figura 4.07. Agrietamiento de la superficie de rodadura.....	72
Figura 4.08. Estado del tramo de prueba y tramo patrón.....	72
Figura 5.01. Tablero equipo Merlin.....	81
Figura 5.02. Esquema Rugosímetro Merlin.....	83
Figura 5.03 Clasificación URCI.....	84
Figura 5.04. Valor deducido Ahuellamiento.....	85
Figura 5.05. Valor deducido Perdida de Agregado.....	85
Figura 5.06. Curvas de URCI.....	86
Figura 5.07. Configuración geométrica de la carga.....	87
Figura 5.08. Posición inicial de la viga.....	88
Figura 5.09. Esquema y principio de operación de Viga Benkelman.....	88
Figura 5.10. Planilla de Rugosidad.....	91
Figura 5.11. Evolución de la Rugosidad.....	95
Figura 5.12. Planilla URCI.....	97
Figura 5.13. Evolución de URCI.....	100
Figura 5.14. Planilla de lecturas con viga Benkelman.....	102
Figura 5.15. Evolución de deflexiones.....	105



Índice de Tablas

Tabla 1.01. Porcentaje respecto a la pavimentación total de caminos rurales.....	5
Tabla 1.02. IRI estimado desde datos de rugosidad medidos con MERLIN.....	6
Tabla 2.01. Productos estabilizantes de uso habitual.....	8
Tabla 2.02. Criterio para seleccionar clase de carretera de superficie granular.....	18
Tabla 2.03. Índice de diseño.....	19
Tabla 3.01. Análisis químico de la Bischofita.....	27
Tabla 3.02. Valores de Deflexión Característica.....	50
Tabla 3.03. Deflexión de diseño temprano para pavimentos granulares con sello negro....	57
Tabla 4.01. Análisis Químico Típico de la Bischofita.....	59
Tabla 4.02. Propiedades de los suelos para el ensayo de compactación.....	63
Tabla 4.03. Propiedades de los suelos para el ensayo CNC.....	64
Tabla 4.04. Características de los tramos de prueba.....	70
Tabla 4.05. Evaluación de los tramos de prueba y tramo patrón.....	71
Tabla 4.06. Dosis de Bischofita.....	73
Tabla 4.07. Granulometría recomendada para superficies granulares de rodado.....	74
Tabla 4.08. Granulometría.....	76
Tabla 4.09. Dosis de Bischofita.....	76



INTRODUCCIÓN

La eficiencia de los estabilizadores de suelos ha sido comprobada y es reconocida internacionalmente aunque, no son de aplicabilidad universal, esto porque se encuentra condicionado a la variabilidad de propiedades físico – mecánicas de los suelos y esto impide muchas veces la actuación del compuesto, por lo que éstos son formulados ó seleccionados específicamente para estabilizar una gama de ellos. En consecuencia, el estabilizador seleccionado debe ser directamente y consecuente con las propiedades de los suelos de la carretera.

El Ministerio de Transporte y comunicaciones (MTC) está apoyando actualmente en forma decidida el mejoramiento de carreteras con el fin de promover el desarrollo social y económico de diversas zonas del país y en ése sentido ha aperturado la posibilidad de emplear y/o efectuar diversas alternativas técnicas constructivas. Por ello, **PROVIAS DESCENTRALIZADO, como entidad promotora, ejecutora y supervisora de los estudios y obras de infraestructura vial a cargo del MTC en forma conjunta con el Gobierno Regional de Lima han priorizado la ejecución del Proyecto Mejoramiento de la Vía de Acceso al Centro Arqueológico de Caral**, a nivel de Afirmado, y cuyo objetivo final es la aplicación de un aditivo estabilizador químico Cloruro de Magnesio (Bichofita) que permita una mayor durabilidad del mismo en el tiempo.

Ante la necesidad de contar con más vías que brinden seguridad, confort y se encuentren en condiciones óptimas, se establece la necesidad de implementar alternativas técnico económicos, que permitan, garantizar la transitabilidad y permanencia (duración en el tiempo) de este tipo de vías.

A la fecha en nuestro medio no existe una metodología de evaluación del comportamiento de superficies estabilizadas, que permita a las entidades viales la toma de decisiones en las actividades de mantenimiento.

Con el presente trabajo de graduación se pretende dar los lineamientos necesarios através de una metodología para evaluar la superficie estabilizada así como para comprender el funcionamiento y comportamiento de una superficie de rodadura estabilizada con cloruro de magnesio en zona de la costa, através de la evaluación funcional y estructural, mediante monitoreos ejecutados durante sus 2 años de la puesta en servicio.

Se iniciara con una descripción de la información de antecedentes relacionados al tema de investigación en el Capítulo I.



Luego se ejecuta una descripción del estado del arte en el Capítulo II y del marco teórico en los que se establecen conceptos básicos relacionados al tema de investigación, en el Capítulo III.

Posteriormente, en el Capítulo IV se realizará una descripción de Estabilización con Cloruro de Magnesio, luego en el Capítulo V una descripción de Aplicación y Monitoreo Acceso Caral, el monitoreo se llevo mediante una evaluación funcional y estructural de la superficie de rodadura granular.

Así mismo en el Capítulo V incluiremos los resultados obtenidos en las pruebas experimentales en el monitoreo con su respectivo análisis. Finalmente agregaremos conclusiones y recomendaciones extraídas gracias al trabajo realizado en este tema de tesis.



CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES

1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se lleva a cabo una recopilación de la información existente sobre las carreteras no pavimentadas, la experiencia chilena y argentina sobre la aplicación de estabilizadores de suelos.

1.2 SITUACIÓN ACTUAL DEL PERÚ

La Red Vial del Perú según PROVIAS NACIONAL del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), está conformada aproximadamente por 125,596 km. de carreteras, de las cuales más del 15% se encuentran pavimentadas con superficie de rodadura asfaltada y el resto está constituido por carreteras no asfaltadas con superficies granulares descubiertas compuesta por afirmado, sin afirmar y trochas. Estas carreteras, se encuentran en pésimas condiciones de transitabilidad.

La aplicación de estabilizadores de suelos en la actualidad, en carreteras no pavimentadas, es esporádica por parte del estado y entidades privadas como las Mineras.

Las principales causas del deterioro de las carreteras no pavimentadas, son las condiciones climáticas adversas, que atentan contra la serviciabilidad de la vía y a un deficiente sistema de mantenimiento.

Las carreteras con superficie granular sin recubrimiento producen polvo en suspensión, lo que origina problemas de seguridad vial al perderse visibilidad, problemas de salud de los habitantes y daño de la producción agrícola por no permitir el desarrollo de las plantaciones, generando un impacto ambiental negativo.

También debido a la pérdida de finos cohesivos, los materiales gruesos se sueltan, produciéndose la segregación de los materiales y un deterioro prematuro y progresivo de la carretera.

La eficiencia de los estabilizadores de suelos ha sido comprobada y es reconocida internacionalmente aunque, no son de aplicabilidad universal, esto porque se encuentra condicionado a la variabilidad de propiedades físico – mecánicas de los suelos y esto impide muchas veces la actuación del compuesto, por lo que éstos son formulados ó seleccionados específicamente para estabilizar una gama de ellos. En consecuencia, el estabilizador seleccionado debe ser directamente y consecuente con las propiedades de los suelos de la carretera.

El Ministerio de Transporte y comunicaciones (MTC) está apoyando actualmente en forma decidida el mejoramiento de carreteras con el fin de promover el desarrollo social y



económico de diversas zonas del país y en ese sentido se ha aperturado la posibilidad de emplear y/o efectuar diversas alternativas técnicas constructivas. Por ello, PROVIAS DESCENTRALIZADO, como entidad promotora, ejecutora y supervisora de los estudios y obras de infraestructura vial a cargo del MTC en forma conjunta con el Gobierno Regional de Lima han priorizado la ejecución del Proyecto Mejoramiento de la Vía de Acceso al Centro Arqueológico de Caral, a nivel de Afirmado, y cuyo objetivo final es la aplicación de un aditivo estabilizador químico Cloruro de Magnesio (Bischofita) que permita una mayor durabilidad del mismo en el tiempo.

En nuestro medio en las denominadas carreteras no pavimentadas, no se llevan a cabo evaluación de la superficie de rodadura y además no existe una metodología para la evaluación del comportamiento de las mismas.

1.3 EXPERIENCIA CHILENA

En 2003, el Ministerio de Obras Públicas de Chile (**MOP**) anunció el "**Programa Caminos Básicos 5000**", que pretendía completar entre los años 2004 y 2006 el mejoramiento de 5 mil kilómetros de caminos públicos rurales no pavimentados en todo el país, utilizando nuevas tecnologías como bischofita (cloruro de magnesio), sal (cloruro de sodio), asfalto espumado y cape seal, entre otros. Según Osvaldo Aguayo, encargado del programa, la meta se logró en octubre de 2005 y a la fecha ya van más de 10 mil kilómetros tratados, de los cuales 6.306 kilómetros incluyeron algún tipo de sal.

"El MOP tiene de repente iniciativas de este tipo, de bajo costo y que son sustancialmente mejor que un camino de ripio. Mejor acabado, no levanta polvo, con el desgaste de los neumáticos queda ennegrecido y en el norte parecen verdaderos caminos de asfalto. La solución es muy buena si se hace bien, aunque si no lo haces, hay que estar rehaciendo partes", afirma Rosas.

Nicolás Moreno, director de la facultad de Ingeniería en Construcción de la Universidad Nacional Andrés Bello (UNAB), confirma que el camino pavimentado con sal en Tocopilla es muy similar a uno asfaltado, al menos a simple vista. "Utilizar sal genera menor mantención a los caminos y puede ser hasta diez veces más barato que usar asfalto simple (otra alternativa), que además necesita una mantención más cara", sostiene el experto.

Si bien Aguayo asegura que no es posible comparar el asfalto con el tratamiento con sales (el primero es una solución definitiva), aplicar sales y sobre todo la bischofita es mucho más efectivo y durable que otro tipo de carpetas estabilizadoras usadas como soluciones viales. Dependiendo de las condiciones climáticas, un camino bien hecho puede durar entre



seis meses y un año, pudiendo llegar a los cuatro años sin mantención en zonas donde no llueve, cuenta Aguayo.

Aunque no hay un plan específico de continuar con los tratamientos salinos, en el MOP afirman que se utilizarán hasta completar las cercas de 62 mil kilómetros que no están pavimentados en el país.

Tabla 1.01.- Porcentaje respecto a la pavimentación total de caminos rurales

Caminos pavimentados con Sal			
Tipo de Sal		Km pavimentados	Porcentaje*
Cloruro de sodio		2.668 km	25,5%
Cloruro de magnesio (bischofita)		3.393 km	32,5%
Cloruro de calcio		245 km	2,3%
Total		6.306 km	

Fuente: Ministerio de Obras Públicas de Chile MOP

1.4 EXPERIENCIA ARGENTINA

El primer subtramo, situado a unos 800 m de la intersección entre la R.P. N° 318 y la R.N.N° 153, al sur del poblado de Cañada Honda, se decidió que fuese el que mantendría el enripiado tradicional. En el segundo subtramo, que se inicia en la progresiva 3150, se previó la ejecución de un tratamiento supresor de polvo con riego de bischofita.

Mediciones de Rugosidad con aparato MERLIN

Como parte del análisis bibliográfico inicial del proyecto, se analizaron diversas opciones para medir rugosidad con instrumental económico. Entre los rugosímetros analizados, se decidió utilizar el aparato MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation), desarrollado originalmente por el Laboratorio de Investigación en Transporte (TRL) del Reino Unido (Cundill, 1991), y de uso muy difundido en los países latinoamericanos (Del Águila, 1999).

Dicha selección se basó en gran medida en razones presupuestarias, pero también considerando que el dispositivo MERLIN tiene muy buena correlación con el IRI y que su bajo rendimiento no resultaba una limitación importante en el caso bajo estudio, donde las longitudes de medición son bastante reducidas. A tal efecto, se construyó un aparato de este tipo por parte del personal de investigación de la Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña, como parte de las actividades propias del proyecto (Fig. 1.01- a), y se comenzó a utilizar inmediatamente luego de finalizadas las actividades de acondicionamiento de los tramos de la R.P. N° 318 (Fig. 1.01-b).



(a)



(b)

Figura 1.01. Construcción y uso de equipo MERLIN

Fuente: Dr. Ing. Marcelo G. Bustos, Experiencias en la Aplicación de Cloruro de Magnesio

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.02, donde puede apreciarse que el subtramo 2 presenta valores de IRI más bajos respecto al subtramo 1, considerando que en el subtramo 2 se aplicó el producto y que en el subtramo 1 sólo se hizo reacondicionamiento de la superficie de rodadura para permitir su comparación directa.

Tabla 1.02.- IRI estimado desde datos de rugosidad medidos con MERLIN, R.P. N° 318

Superficie Rodadura	Subtramo 1		Subtramo 2	
	Enripiado		Trat. Supresor de polvo	
Prog. Subtramo (m)	900 a 475	475 a 50	850 a 425	425 a 0
Unidades MERLIN	115	154.8	93.4	98.4
IRI (m/km)	6.00	7.88	4.99	5.23

Fuente: Dr. Ing. Marcelo G. Bustos, Experiencias en la Aplicación de Cloruro de Magnesio



CAPÍTULO II.- ESTADO DEL ARTE

2.1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de este capítulo se podrá conocer sobre caminos no pavimentados, estabilización de caminos pavimentados, suelos y capas de revestimiento granular, tráfico, subrasante y metodologías de diseño de capas de superficie granular de rodadura.

2.2 CAMINOS NO PAVIMENTADOS

Es necesario que los caminos no pavimentados se encuentren sometidos a una gestión en la cual se incluya el mantenimiento como actividad relevante debido a la necesidad de minimizar los deterioros que comúnmente se observan, tales como pérdida de fracción gruesa, erosiones, baches, encalaminados, entre otras patologías. A ello debe sumarse el desprendimiento de finos que genera emisiones de polvo y la preocupación por un correcto saneamiento y drenaje.

Para mejorar las condiciones de la carpeta de rodado puede recurrirse a la estabilización del suelo por medios mecánicos o químicos, siendo la primera, una solución que se logra a través de la compactación y mejoramiento de la estructura granulométrica (Thenoux & San Juan, 2000), mientras que la segunda consiste en la aplicación de aditivos químicos como sales, enzimas, polímeros y otros subproductos del petróleo, que se mezclan con el suelo (carpeta) a tratar, según dosis previamente definidas. Algunas de estas soluciones requieren adicionalmente un curado posterior a su aplicación.

2.3 ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS

Existe una amplia variedad de productos utilizados para estabilizar carpetas granulares, cuyas propiedades resultan apropiadas para utilizarlas en sectores con clima propio de montaña, donde las condiciones de hielo y nieve son un problema constante y/o en zonas donde el clima es seco, con tendencia a aumentar la emisión de polvo. Los cloruros en general se caracterizan por disminuir el punto de congelamiento del agua y ser corrosivos para los automóviles, mientras que los polímeros mejoran la resistencia mecánica del suelo. Por otra parte, los productos enzimáticos requieren un especial periodo de curado. En la Tabla 2.01, se presenta una descripción resumida de los productos estabilizantes utilizados normalmente.



Tabla 2.01 Productos estabilizantes de uso habitual

Producto estabilizante	Descripción
Cloruro de calcio (CaCl)	Disminuye el punto de congelamiento del agua a -51°C y la permeabilidad del suelo. Potencial corrosión de vehículos. El agua tiende a lavar el producto y a formar superficie resbaladiza. Potencial daño medioambiental. Buen desempeño en suelos granulares limosos y/o arcillosos.
Cloruro de magnesio (MgCl)	Más efectivo que el cloruro de calcio para incrementar la tensión superficial produciendo una superficie de rodado más dura. Disminuye punto de congelamiento del agua a -32°C . Considerado muy corrosivo. El agua diluye los cloruros. Efectivo en carpetas bien graduadas.
Cloruro de sodio (NaCl)	Disminuye punto de congelamiento del agua a -21°C . Moderadamente corrosivo en metales. El agua puede generar un potencial lavado del producto. Buen uso en gravas arenosas, suelos arcillosos y/o limosos, libres de materia orgánica.
Polímeros	Provoca una floculación del suelo que permite mejorar la resistencia mecánica. Disminuye el agua contenida entre las partículas de suelo y reduce la permeabilidad. Tiene dificultad para mantener una superficie dura. Buen uso en suelos granulares, limosos y/o arcillosos.
Agentes enzimáticos	Requieren un periodo de curado, lo cual genera dificultad de uso masivo en áreas donde las condiciones meteorológicas son lluviosas y húmedas. Efectivo en suelos que contienen arcillas, limos y material orgánico.

Fuente: Estabilización y mantenimiento de caminos no pavimentados sometidos a condiciones de hielo-nieve en zona de montaña. Pradena, M.¹, Mery, J.P.², Novoa, E.³

2.4 SUELOS Y CAPAS DE REVESTIMIENTO GRANULAR

Las carreteras por sus capas superiores y superficie de rodadura pueden ser clasificadas, según Manual de Carreteras no Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito del MTC-Perú, como sigue:

i) Con superficie de rodadura no pavimentada

- a) Carreteras de tierra constituidas por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo.
- b) Carreteras gravosas constituidas por una capa de revestimiento con material natural pétreo sin procesar, seleccionado manualmente o por zarandeo, de tamaño máximo de 75 mm.
- c) Carreteras afirmadas constituidas por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificadas naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuesta por una combinación apropiada de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo 25mm.
 - c.1 afirmados con gravas naturales o zarandeadas.
 - c.2 afirmados con gravas homogenizadas mediante chancado.
- d) Carreteras con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales:
 - d.1 Afirmados con grava con superficie estabilizada con materiales como: asfalto (imprimación reforzada), cemento, cal, aditivos químicos y otros.



d.2 Suelos naturales estabilizados con: material granular y finos ligantes, asfalto (imprimación reforzada), cemento, cal, aditivos químicos y otros.

ii) Con superficie de rodadura pavimentada (No aplicable al Manual de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito)

e) Pavimentos de adoquines de concreto;

f) Pavimentos flexibles:

f.1. Con capas granulares (sub base y base drenantes) y una superficie bituminosa de espesor de hasta 25mm (tratamiento superficial bicapa).

f.2. Con capas granulares (sub base y base drenantes) y una capa bituminosa de espesor variable > 25mm (carpetas asfálticas).

g) Pavimentos semi rígidos, conformados con solo capas asfálticas (full depth).

h) Pavimentos rígidos, conformado por losa de concreto hidráulico de cemento Portland.

Para los propósitos de éste manual, son aplicables a las carreteras de bajo volumen de tránsito, no pavimentados, los tipos a, b, c y d.

El manual considera soluciones estructurales con materiales tradicionales cuyas propiedades mecánicas y comportamiento son conocidos y están considerados en las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito. También forman parte de esta norma las estabilizaciones y mejoramientos de suelos de la subrasante o de las capas de revestimiento granular.

Para la estabilización química de los suelos se utilizará la Norma Técnica de Estabilizadores Químicos MTC E 1109-2004.

En el funcionamiento estructural de las capas de revestimiento granular influye el tipo de suelo de la subrasante, el número total de los vehículos pesados por día o durante el período de diseño, incluido las cargas por eje y la presión de los neumáticos.

La demanda, medida en EE o por vehículos pesados, es particularmente importante para ciertos tipos de carreteras de bajo volumen pero que pudieran tener alto porcentaje de vehículos pesados, como los que se construyen para propósitos especiales como el minero y forestal (extracción de madera).

2.4.1 TRÁFICO

Desde el punto de vista del diseño de la capa de rodadura sólo tienen interés los vehículos pesados (buses y camiones), considerando como tales aquellos cuyo peso bruto excede de 2.5 tn. El resto de los vehículos que puedan circular con un peso inferior (motocicletas,



automóviles y camionetas) provocan un efecto mínimo sobre la capa de rodadura, por lo que no se tienen en cuenta en su cálculo.

Para la obtención de la clase de tráfico que circula para el tramo en estudio, se realizará lo siguiente:

- Identificación de sub tramos homogéneos de la demanda.
- Conteos de tráfico en ubicaciones acordadas con la entidad y por un período mínimo de 3 días (1 día de semana+sábado+domingo), de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo.
- El estudio podrá ser complementado con información de variaciones mensuales, proveniente de estaciones de conteo y/o pesaje del MTC cercanas al tramo en estudio que sea representativo de la variación de tránsito del proyecto.
- Con los datos obtenidos se determinará el número de vehículos (IMDA) y la cantidad de pesados (buses+camiones) para el carril de diseño, suficientes para definir la clase tipo de tráfico. No obstante, será necesario obtener el número de repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el período de diseño.
- El concepto de EE corresponde a la unidad normalizada por la AASHTO que representa el deterioro que causa en la capa de rodadura un eje simple cargado con 8,16 toneladas. Para el cálculo de los factores destructivos por eje equivalente calculados, se toma en cuenta el criterio simplificado de la metodología AASHTO, aplicando las siguientes relaciones:

Cuadro 2.01 Ejes equivalente 8.2 tn

Tipo de eje	Eje equivalente
Eje simples de rueda simples	$[P/6.6]^4$
Eje simple de rueda doble	$[P/8.16]^4$
Eje tandem de rueda doble	$[P/15.1]^4$
Eje tridem de rueda doble	$[P/22.9]^4$
Paso = peso por eje en toneladas	

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas MTC

También se considerará un factor de ajuste por presión de neumáticos, de tal manera de computar el efecto adicional de deterioro de los afirmados. Este efecto se incrementa más para el caso de las capas de revestimiento granular en altura donde la baja presión atmosférica genera un aumento de la presión interna del neumático, reduciendo su área de contacto y aumentando la presión sobre la capa de rodadura.

Para evitar este efecto en el cálculo de los EE, las llantas deberían tener una presión máxima de 80 psi pulg².



Para el cálculo de EE de 8.2 t, se usará las siguientes expresiones por tipo de vehículo pesado. El resultado final será la sumatoria de los tipos de vehículos pesados considerados:

$$N_{rep \text{ de EE } 8.2t} = \Sigma [EE_{\text{día-carril}} \times 365 \times (1+t)^{n-1}] / (t)$$

$EE_{\text{día-carril}} = EE \times \text{Factor Direccional} \times \text{factor carril}$

EE = de vehículos según tipo x factor de carga x factor de presión de llantas

Donde:

$N_{rep \text{ de EE } 8.2t}$ = Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2t.

$EE_{\text{día-carril}}$ = Ejes equivalentes por día para el carril de diseño.

365 = Número de días del año.

t = tasa de proyección del tráfico, en centésimas.

EE = Ejes Equivalentes.

Factor direccional = 0.5, corresponde a carreteras de dos direcciones por calzada.

Factor carril = 1, corresponde a un carril por dirección o sentido.

Factor de presión de llantas = 1, este valor se estima para los CBVT y con capa de revestimiento granular.

2.4.2 SUBRASANTE

La subrasante es la capa superficial de terreno natural. Para construcción de carreteras se analizará hasta 0.45 m de espesor, y para rehabilitación los últimos 0.20m.

Su capacidad de soporte en condiciones de servicio, junto con el tránsito y las características de los materiales de construcción de la superficie de rodadura, constituyen las variables básicas para el diseño del afirmado, que se colocará encima.

Se identificarán cinco categorías de subrasante:

S0 : Subrasante muy pobre CBR < 3%

S1 : Subrasante pobre CBR = 3% - 5%

S2 : Subrasante regular CBR = 6 - 10%

S3 : Subrasante buena CBR = 11 - 19%

S4 : Subrasante muy buena CBR > 20%

Se considerarán como materiales aptos para la coronación de la subrasante, suelos con CBR igual o mayor de 6%. En caso de ser menor, se procederá a eliminar esa capa de material inadecuado y se colocará un material granular con CBR mayor a 6%; para su estabilización. La profundidad mínima especificada de esta capa figura en el catálogo de estructuras de capas granulares que se presenta más adelante.



Igualmente se estabilizarán las zonas húmedas locales y áreas blandas. Sobre la subrasante natural se colocará una capa de arena de espesor 20 cm mínimo y sobre ella, se añadirá una capa de espesor mínimo de 0.30 m de material grueso rocoso o de piedras grandes.

La superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante muy buena y buena; a 0.80 m cuando se trate de una subrasante regular; a 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre y a 1.20 m cuando se trate de una subrasante muy pobre. En caso necesario, se colocarán subdrenes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario.

Los subdrenes para proteger la capa del afirmado se proyectarán cuando la subrasante no esté constituida por material permeable y cuando las capas de rodadura no puedan drenar adecuadamente. Los subdrenes que se proyecten para interceptar filtraciones o para rebajar el nivel freático elevado, pueden utilizarse también para drenar el afirmado.

En zonas sobre los 3 500 msnm, se evaluará la acción de las heladas en los suelos. En general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento. Sí la profundidad de la napa freática es mayor a la indicada anteriormente (1,20m), la acción de congelamiento no llegará a la capa superior de la subrasante. En el caso de presentarse en la capa superior de la subrasante (0,30m – 0,45m) suelos susceptibles al congelamiento, se reemplazará este suelo en el espesor indicado o se levantará la rasante con un relleno granular adecuado, hasta el nivel necesario. Son suelos susceptibles al congelamiento, los suelos limosos. Igualmente los suelos que contienen más del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0,02mm, con excepción de las arenas finas uniformes que aunque contienen hasta el 10% de materiales de tamaño inferior a los 0,02mm, no son susceptibles al congelamiento. En general, son suelos no susceptibles los que contienen menos del 3% de su peso de un material de tamaño inferior a 0,02mm.

Para efectos del diseño del afirmado también se definirán sectores homogéneos a lo largo de cada uno de ellos, donde las características del material de subrasante se identifican como uniforme. Dicha uniformidad se establecerá sobre la base del estudio del suelo y de ser necesario, la realización del muestreo. El proceso de sectorización requiere de análisis y criterio del especialista.

Para la identificación de sectores homogéneos se analizará lo siguiente:



i) Reconocimiento:

En esta etapa se efectúa un proceso de inspección visual, se identifican asentamientos, deslizamientos, etc. que puedan ser atribuidos a factores geotécnicos y se establece, en primera aproximación, las causas que la motivaron. El reconocimiento visual de suelos y rocas debe complementarse con la observación de otras características del terreno y que ayudan a definir las propiedades de este, como topografía, geomorfología, vegetación, zonas húmedas o cursos naturales de agua y, sobre todo, los taludes de cortes existentes próximos al tramo.

ii) Diagnóstico:

Sí el reconocimiento del terreno permite su clasificación inmediata, pueden realizarse algunas calicatas de comprobación cada 500 m y los ensayos confirmatorios.

Caso contrario, sí en el terreno se detectara su naturaleza problemática, se deberá establecer un programa de muestreos y ensayos como se indica a continuación.

iii) Programa de prospecciones y ensayos a realizar:

Se establecerá una estrategia para efectuar el programa exploratorio y, a partir de ello, se ordenará la toma de las muestras necesarias de cada perforación, de manera de poder evaluar aquellas características que siendo determinantes en su comportamiento, resulten de sencilla e indiscutible determinación.

Las propiedades fundamentales a tomar en cuenta son:

a) Granulometría: A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño.

De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos:

Cuadro 2.02 Tipo de material en función al tamaño de partícula

Tipo de material	Tamaño de partículas
Grava	75 mm – 2 mm
Arena	Arena gruesa: 2 mm – 0.2 mm
	Arena fina: 0.2 mm – 0.05 mm
Limo	0.05 mm – 0.005 mm
Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas MTC

b) La plasticidad: no de los elementos gruesos que contiene, sino únicamente de sus elementos finos. El análisis granulométrico no permite apreciar esta característica por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg.



A través de este método, se definen los límites correspondientes a los tres estados en los cuales puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido.

Estos límites, llamados límites de Atterberg, son: el límite líquido (LL) determinación según norma MTC E 110, el límite plástico (LP) determinación según norma MTC E 111 y el límite de contracción (LC) determinación norma MTC E 112.

Además del LL y del LP, una característica a obtener es el Índice de plasticidad IP que se define como la diferencia entre LL y LP:

$$IP = LL - LP$$

El índice de plasticidad permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso. Por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso.

Sobre todo esto se puede dar la clasificación siguiente:

Cuadro 2.03 Característica de suelo con Índice de Plasticidad

Indice de Elasticidad	Característica
IP > 20	Suelos muy arcillosos
20 > IP > 10	Suelos arcillosos
10 > IP > 4	Suelos pocos arcillosos
IP = 0	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas MTC

Se debe tener en cuenta que, en un suelo el contenido de arcilla, es el elemento más peligroso de una carretera, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua.

c) Equivalente de arena: Es un ensayo que da resultados parecidos a los obtenidos mediante la determinación de los límites de Atterberg, aunque menos preciso. Tiene la ventaja de ser muy rápido y fácil de efectuar, según la norma MTC E 114.

El valor de EA es un indicativo de la plasticidad del suelo:

Cuadro 2.04 Característica de suelo con Equivalente de Arena

Equivalente de arena	Característica
Si EA > 40	El suelo no es plástico, es de arena
Si 40 > EA > 20	El suelos es poco plástico y no heladizo
EA < 20	El suelo es plástico y arcilloso

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas MTC

d) Índice de grupo: Es un índice adoptado por AASHTO de uso corriente para clasificar suelos, está basado en gran parte en los límites de Atterberg. El índice de grupo de un suelo se define mediante la formula:

$$IG = 0.2 (a) + 0.005 (ac) + 0.01(bd)$$



Donde:

$a = F-35$ (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz 200 -74 micras).

Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

$b = F-15$ (F = Fracción del porcentaje que pasa el tamiz 200 -74 micras).

Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.

$c = LL - 40$ (LL = límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

$d = IP-10$ (IP = índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

El índice de grupo es un valor entero positivo, comprendido entre 0 y 20 o más. Cuando el IG calculado es negativo, se reporta como cero.

Un índice cero significa un suelo muy bueno y un índice igual o mayor a 20, un suelo no utilizable para carreteras.

Si el suelo de subrasante tiene:

Cuadro 2.05 Índice de Grupo para clasificar suelos

Índice de grupo	Suelo de subrasante
$IG > 9$	Muy pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está 1 - 2	Bueno
IG está entre 0 - 1	Muy bueno

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas MTC

e) Humedad natural: Otra característica importante de los suelos es su humedad natural pues la resistencia de los suelos de subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten. Se determinará mediante la norma MTC E 108.

La determinación de la humedad natural permitirá comparar con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos proctor para obtener el CBR del suelo. Sí la humedad natural resulta igual o inferior a la humedad óptima, el especialista propondrá la compactación normal del suelo y el aporte de la cantidad conveniente de agua. Si la humedad natural es superior a la humedad óptima y, según la saturación del suelo, se propondrá aumentar la energía de compactación, airear el suelo o reemplazar el material saturado.

f) Clasificación de los suelos: Determinadas las características de los suelos, según los acápites anteriores, se podrá estimar con suficiente aproximación el comportamiento de los



suelos, especialmente con el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo y, luego clasificar los suelos.

La clasificación de los suelos se efectuará bajo el sistema mostrado en el cuadro 2.07. Esta clasificación permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico.

A continuación se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundido, AASHTO y ASTM:

Cuadro 2.06 Correlación de clasificación de suelos

Clasificación de suelos AASHTO	Clasificación de suelos ASTM
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas MTC

g) Ensayos CBR: Una vez que se hayan clasificado los suelos por el sistema AASHTO para carreteras con tránsito mayor a 100 vehículos por día, se elaborará un perfil estratigráfico para cada sector homogéneo a partir del cual se determinará los suelos que controlarán el diseño y se establecerá el programa de ensayos y/o correlaciones para establecer el CBR que es el valor soporte o resistencia del suelo, referido al 95% de la MDS (Máxima densidad seca) y a una penetración de carga de 2.54 mm.

Dada la variabilidad que presentan los suelos (aún dentro de un mismo grupo de suelos y en un sector homogéneo), así como los resultados de los ensayos de CBR (valor soporte del suelo), se efectuará un mínimo de 6 ensayos de CBR por sector homogéneo del suelo, con el fin de aplicar un criterio estadístico para la selección de un valor único de soporte del suelo. En caso de que en un determinado sector se presente una gran heterogeneidad en los suelos de subrasante que no permite definir uno como predominante, el diseño se basará en el suelo más débil que se encuentre. El valor del CBR de diseño por sector homogéneo, se determinará según lo siguiente:

- Si el sector homogéneo presenta para el período de diseño un número de repeticiones de EE 8.2 ton., menor de 1×10^5 , el CBR de diseño será aquel que represente al percentil 60% de los valores de CBR.



• Si el sector homogéneo presenta un número de repeticiones de EE 8.2 ton., entre 1 x 105 y 1 x 106: el CBR de diseño será aquel que represente al percentil 75% de los valores de CBR.

iv) Una vez definido el valor del CBR de diseño para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de subrasante pertenece el sector o subtramo.

En resumen:

1. Deberá identificarse los tramos homogéneos con una longitud mínima de 1500m, clasificar el material de subrasante y definir el CBR de diseño. En los puntos críticos, si los hubiera, se efectuarán trabajos especiales necesarios para definir su solución.
2. Se determinará el volumen de Ejes Equivalentes (EE) que soportará el afirmado, durante le período de diseño escogido.
3. Se escogerá el diseño del afirmado, entre las alternativas del catálogo adjunto, que corresponda a una solución que, en razón de los materiales y la tecnología disponibles, signifique un menor costo de construcción.

Cuadro 2.07 Clasificación de los suelos – método AASHTO

Clasificación general	Suelos granulosos 35% máximo que pasa por tamiz de 0,08 mm							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0,08 mm				
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7	
	A1-a	A1-b		A2-4	A2-5	A2-6	A2-7				A7-5	A7-6
Símbolo	A1-a	A1-b	A3	A2-4	A2-5	A2-6	A2-7	A4	A5	A6	A7-5	A7-6
Análisis granulométrico												
% que pasa por el tamiz de: 2 mm 0,5 mm 0,08 mm	máx. 50 máx. 30 máx. 15	máx. 50 máx. 25	min. 50 máx. 10	máx. 35	Máx.35	máx. 35	máx. 35	min. 35	min. 35	min. 35	min. 35	min. 35
Límites Atterberg												
Límite de liquidez Índice de plasticidad	máx. 6	máx. 6		máx. 40 máx. 10	min. 40 máx. 10	máx. 40 min. 10	min.40 min. 10	máx. 40 máx. 10	máx. 40 máx. 10	máx. 40 min. 10	min. 40 min. 10 IP<LL-30	min. 40 min. 10 IP<LL-30
Índice de grupo	0	0	0	0	0	máx. 4	máx. 4	máx. 8	máx. 12	máx. 16	máx. 20	máx. 20
Tipo de material	Piedras, gravas y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillos		
Estimación general del suelo como subrasante	De excedente a bueno						De pasable a malo					

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas MTC



Cuadro 2.08 Signos convencionales para perfil de calicatas

SUELOS			
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGÁNICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESINTEGRADA

Fuente: Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas MTC

2.5 METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE SUPERFICIE GRANULAR DE RODADURA

2.5.1 MANUAL HEADQUARTES DEPARTMENT OF THE ARMY USA

Para el cálculo de espesor de capa granular se sigue los siguientes pasos:

1. Se selecciona el tipo de carretera que varía de A a G, el cual depende de la intensidad de tráfico y como se señala en la Tabla 2.02.

Tabla 2.02 Criterio para seleccionar clase de carretera de superficie granular

Road Class	Number of Vehicles per day
A	10,000
B	8,400-10,000
C	6,300-8,400
D	2,100-6,300
E	210-2,100
F	70-210
G	under 70

Fuente: Metodología Manual Headquarters Department of the Army USA

2. Índice de Diseño, el cual indica representa el tráfico esperado durante el periodo de diseño. Esta basado en el numero de repeticiones de ejes del trafico a eje equivalente estándar de 8.2 tn., lo cual se clasifica el trafico en tres grupos:
 - a) Grupo 1: Carros, camionetas pickup.
 - b) Grupo 2: Camiones de dos ejes.
 - c) Grupo 3: Camiones de 3, 4 y 5 ejes.



El tráfico compuesto se agrupara en las siguientes categorías:

Categoría I: Trafico compuesto de carros, camionetas paneles y camiones pickup (Grupo 1) y no contiene mas de 1% de dos ejes (Grupo 2).

Categoría II: Trafico compuesto de carros, camionetas paneles y camiones pickup (Grupo 1 de vehículos) y no contiene hasta un 10% de camiones de dos ejes (Grupo 2 de vehículos) no se permite en esta categoría camiones con mas de 3 ejes o más (Grupo 3 de vehículos).

Categoría III: Trafico que contiene hasta un 15% de camiones, pero no con más de 1% de tráfico total compuesto de camiones de 3 ejes o más (Grupo 3 de vehículos).

Categoría IV: Trafico contiene hasta un 25% de camiones, pero no con más de 10% del tráfico total compuesto de camiones de 3 ejes o más (Grupo 3 de vehículos).

Categoría IVA: Trafico que contiene más de 25% de camiones o más de 10% de camiones con mas de 3 ejes (Grupo 3 de vehículos).

3. Índice de diseño. El índice de diseño que se utilizarán en el diseño de un camino de grava para vehículos de neumáticos usuales, se seleccionaran de la Tabla 2.03.

Tabla 2.03 Índice de diseño

Class	Design Index			
	Category I	Category II	Category III	Category IV
A	3	4	5	6
B	3	4	5	6
C	3	4	4	6
D	2	3	4	5
E	1	2	3	4
F	1	1	2	3
G	1	1	1	2

Fuente: Metodología Manual Headquartes Department of the Army USA

4. Espesor. Para determinar el espesor de la superficie granular, se realiza con la figura 2.01; donde se entra con el CBR de diseño y el Índice de Diseño para calcular el espesor de la superficie granular.

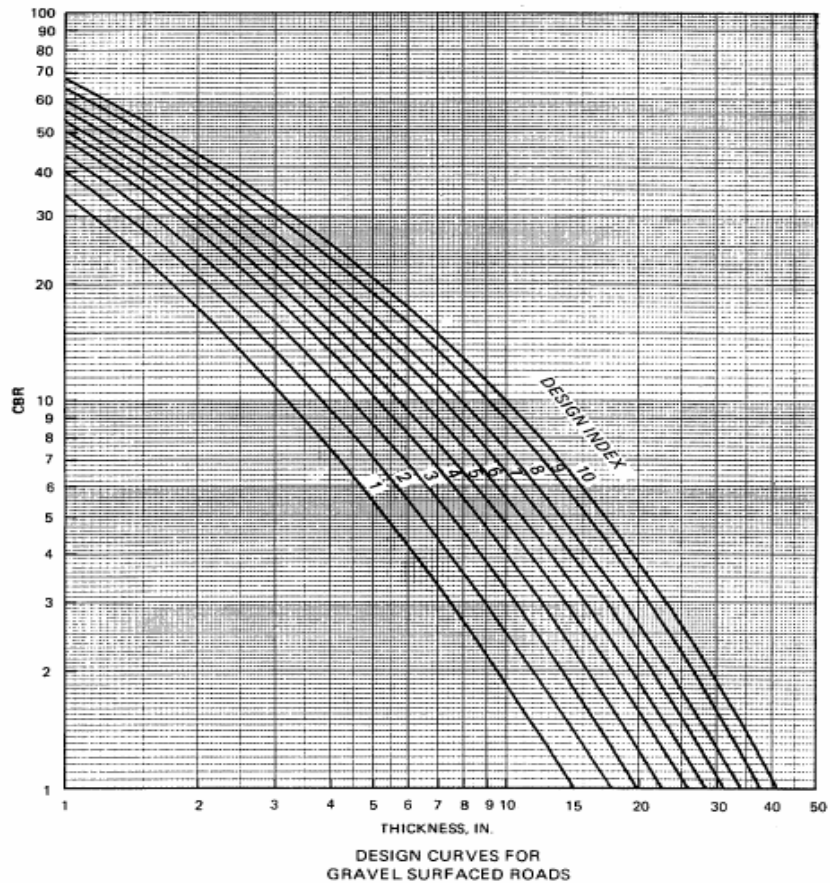


Figura 2.01. Curvas de espesor de diseño para superficie granular de rodadura

Fuente: Metodología Manual Headquartes Department of the Army USA

2.5.2 NAASRA (NATIONAL ASSOCIATION OF AUSTRALIAN STATE ROAD AUTHORITIES)

Par el cálculo del espesor se necesita la capacidad de soporte del suelo (CBR) y la carga actuante expresada en ejes simple (ESAL) de 18, 000 libras, mediante la siguiente ecuación:

$$e = [219 - 211 * (\log CBR) + 58 * (\log CBR)^2] * \log(N_{rep}/120)$$

Donde:

e= espesor de la capa de afirmado.

CBR = valor del CBR de la subrasante.

Nrep = número de repeticiones de EE para el carril de diseño.



CAPÍTULO III.- MARCO TEÓRICO

3.1 INTRODUCCIÓN

La red vial está constituida por carretera, que corresponden a camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Entre estas carreteras se presentan aquellas que son AFIRMADA, las cuales corresponden a una superficie de rodadura granular natural ó procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas carrozables.

Las carreteras no pavimentadas están constituidas por superficie de rodadura conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural y las carreteras pavimentadas aquellas cuya superficie de rodadura está conformada por mezcla bituminosa (flexible) o de concreto Pórtland (rígida).

3.2 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Carlos Crespo denomina estabilización de suelos al proceso de someter a los suelos naturales a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades de manera que puedan soportar las condiciones adversas de clima, rindiendo en todo tiempo el servicio adecuado que de ellos se espera. (Crespo, 1998:325).

Cuando se habla de estabilización de suelos para carreteras está demás decir que se trabajará con materiales de carácter natural, es decir suelos de baja calidad de soporte estructural no aptos por si solos para la construcción del pavimento.

Estos suelos son extraídos de bancos de préstamo cercanos a la obra, materiales cuyas propiedades y características pueden variar radicalmente a pocos metros, donde el ingeniero para lo cual fue capacitado resuelva con inteligencia los problemas presentados, eligiendo de la mejor forma sin que sus costos sobrepasen de lo previsto. Según la bibliografía consultada se observa que los autores como Fernández Loaiza y Rico & Del castillo argumentan en su contenido bibliográfico que el ingeniero puede tomar tres opciones fundamentales:

a) Aceptar el material tal y como está y proceder al diseño, sin obedecer los requisitos propuestos y calidad de obra que se pidiese, absteniéndose a las consecuencias posteriores.



- b) Rechazar el suelo de mala calidad e insatisfactorio y reponer o sustituirlo por un material cuyas propiedades ingenieriles muestren a través del tiempo su buen comportamiento de los agentes externos.
- c) Modificar o alterar de la mejor forma las propiedades y características mecánicas de los suelos presentes para hacer de ellos un material que cumpla y reúna la calidad y los requisitos impuestos.

3.2.1 MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

Existen en la actualidad varios métodos de estabilización que surgieron de la investigación ingenieril y que fueron necesitados por algunos para cubrir y minimizare sus costos, entre estos métodos se tiene:

- a) estabilización por medios mecánicos
- b) estabilización por drenaje.
- c) Estabilización por medios eléctricos.
- d) Estabilización por empleo de calor y calcinación.
- e) Estabilización por medio químico, adición de agentes estabilizantes.

Un requisito para seleccionar el mejor medio de estabilización es aquel que cumpla mejorar las propiedades principales de los suelos, por lo tanto antes de elegir se deben realizar pruebas de Laboratorio de suelos relacionados con dichas propiedades. Estas propiedades principales se exponen en los libros de Rico del Castillo y Fernández Loaiza en los temas de estabilización respectivamente; argumentan que son los siguientes:

- a) Estabilizada volumétrica
- b) Resistencia mecánica
- c) Permeabilidad
- d) Durabilidad
- e) Compresibilidad

Y que están citadas a continuación:

- a) Estabilidad volumétrica

Existen suelos susceptibles a la variación volumétrica por motivos de cambio de humedad, nos referimos a la modificación física de estos por el contenido por el contenido de humedad en su estructura cuyo presente liquido, en este caso el agua, se manifiesta en una forma rápida o por variaciones estacionales.

Esta propiedad que produce el cambio físico de los suelos, sobre todo en materiales muy finos como las arcillas, se ha considerado como uno más de los importantes problemas que se presentan al ingeniero a la hora de proyectar y/o construir sus caminos.



En la actualidad existen diversas soluciones tanto por medios mecánicos, químicos, u otros, para este tipo de problema, los cuales no garantizan del todo la perfecta opción de uno de ellos. Los tratamientos que fueron estudiados y que son aplicados en gran manera en el presente, para resolver los problemas de expansión y contracción en los suelos son los siguientes:

1. Introducción de humedad periódica.
2. Aplicación de cargas que equilibren la presión de expansión.
3. Utilización de membranas impermeables.
4. Transformación del material arcilloso en una masa rígida o granulada ligada entre sí para soportar las presiones internas de expansión.
5. Convertir a la masa de arcilla en un suelo rígido por inyecciones químicas.
6. Compactación del suelo a altas densidades con humedad optima, para la impermeabilización. Teniendo en cuenta las variaciones estacionales: tiempo de lluvias; donde la arcilla puede saturarse provocando presiones expansivas altas.(**Fernández**, 1982:15)

b) Resistencia

Los métodos y procedimientos propuestos para la resistencia del suelo son las siguientes:

- Compactación.
- Vibroflotación
- Precarga
- Drenaje

a) Mezcla de otros suelos

b) Adición de agentes estabilizantes. Ejemplo: Cal, Cemento Sales, etc.

La compactación es una de las formas más comúnmente usadas de todos los métodos mecánicos conocidos para la estabilización de suelos en el aumento de resistencia de éstos.

“La resistencia de los suelos, es en general mas baja cuando estos se encuentran húmedos” (**Fernández**, 1982:15).

La obtención de resistencias altas o bajas ya sea de un suelo grueso o fino depende principalmente del contenido de humedad.

En el caso particular de los suelos arcillosos conocidos comúnmente en ingeniería se utilizan para la elaboración de ladrillos y materiales de cubiertas, alcanzando elevadas resistencias por procesos de calentamiento a elevadas temperaturas, cuyo contenido de humedad desaparece por completo del material. En otra ocasión las resistencias bajas se presentan en los deslizamientos de tierra que son producidos por el mismo suelo arcilloso,



conteniendo una humedad mínima que provoca el secado y agrietamiento del material, constituyéndolo como un suelo friccionante (**Fernández, 1982:15**).

En el caso de utilización de agentes estabilizantes para mejorar la resistencia del suelo no es del todo efectiva cuando se trata en su contenido con importantes cantidades de materia orgánica. A continuación se muestra en la siguiente tabla los porcentajes de material orgánico causantes de los resultados de resistencias en diferentes tipos de suelos, que fueron tratados con los agentes de cal y cemento.

c) Permeabilidad

La permeabilidad de los suelos está por el contenido de vacíos en su estructura, es decir, el espacio comprendido entre sus partículas provocando la circulación de agua a través de sus poros. La propagación de este líquido que circula por los conductos vacíos del suelo permeable genera presiones de poro en su estructura, llamado comúnmente presiones de filtración. Estas presiones pueden llegar a ser muy altas produciendo generalmente desplazamientos en estructuras de suelos como en terracerías.

La compactación con su respectiva humedad adecuada es uno de los procedimientos del método mecánico para disminuir la permeabilidad del suelo.

Al compactarse suelos arcillosos cuyas humedades en su contenido sean bajas, se verá que los valores de permeabilidad del suelo aumentan debido a la formación de grumos que provocan espacios o poros intersticiales. Se puede decir que mientras la humedad y energía de compactación aumentan obtendremos valores de permeabilidad, producido por la disminución de vacíos del suelo.

Si se desea utilizar agentes estabilizantes emulsionables en agua, ésta se adhiere a las paredes de los conductos capilares convirtiendo al material en una estructura hidrofóbica. Tener en cuenta que la utilización de estos productos produciría en el suelo una reducción de cohesión entre sus partículas.

El uso de defloculantes, como por ejemplo los polifosfatos, ayudan a disminuir la permeabilidad de los suelos, sobre todo en aquellos cuya estructura están formados por partículas muy finas, entre ellas: las arcillas. Un caso inverso a este para aumentar la permeabilidad es la utilización de floculantes como hidróxido de cal o yeso.

No es raro ni nuevo hoy en día el empeño en poder mejorar todas las propiedades y características del suelo a través de la utilización de un solo agente estabilizador o elemento estabilizante, debido a los altos costos que se producirían por la mezcla y empleo de otros.



En la actualidad para fines de investigación y conocimiento de la permeabilidad de los suelos, se presenta los ensayos o experimentos en laboratorio que obedecen a leyes de hidráulica en los suelos.

d) Durabilidad

La propiedad de la durabilidad de un suelo estabilizado o no, se ve afectada generalmente en todos los caso por los factores de intemperismo, erosión y abrasión; factores importantes a tomar en cuenta en la utilización de suelos mejorados para carreteras. Estos factores citados provocan serios problemas en la capa superficial, taludes y cortes en la estructura de las vías terrestres causando elevados costos de mantenimiento.

Bien se dijo anteriormente y confirmado mundialmente bajo el respaldo de la Mecánicas de Suelos que la variabilidad de las propiedades y contenido de materiales inorgánicos en el suelo se ve afectada a pocos metros del lugar de observación. Esto quiere decir que un mal estudio del suelo provoca la incorrecta elección del tipo de agente estabilizante, consecuencia que lleva a un inadecuado diseño y utilización del mismo, que muchas veces lo corrigen con un diseño que sobrepasa los requerimientos necesarios, llamado y conocido comúnmente, sobre-diseño.

Uno de los factores perjudiciales al pavimento más conocido y vivido por la misma gente que transita por un camino ya sea estabilizado o no y sin capa de rodadura es la abrasión del tráfico, que provoca la disgregación y extracción de material por efectos de rozamientos contacto llanta – suelo superficial, provocando en muchas ocasiones la masa polvorienta que deja un vehículo en movimiento, pero que se puede mejorar mediante riegos asfálticos, cloruros, vegetación y en otras ocasiones con riego de sello, cuyas soluciones no son relativamente económicas.

La durabilidad no es una propiedad que se pueda percibir cuantitativamente en laboratorio o escampo, lo cual lleva a realizar un minucioso trabajo de investigación en la utilización y elección de agentes estabilizantes, contenidos de materia extrañas, características del suelo, y todos los detalles importantes antes de dar inicio a los trabajos de planificación y construcción de la estructura, cuyo ulterior caso podría obstruir excelentes resultados esperados.

e) Compresibilidad

La compresibilidad es una propiedad donde se observa el cambio de volumen de la estructura de un suelo debido a las condiciones naturales y artificiales que se presenten.

La compactación es un método de estabilización que influye en todas las propiedades de los suelos, nos referimos a la compresibilidad, permeabilidad, durabilidad, etc. Pero este



método no es el único que modifique estas propiedades sino que existen hoy en día los métodos de estabilización química que podrían interferir en la modificación de dichas propiedades.

3.2.2 ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACIÓN POR MEDIO QUÍMICO

Es de vital importancia para el ingeniero conocer las variadas opciones de estabilización de suelos por este método ya que cada una de ellas es esencial y eficaz para cada tipo de suelo.

Hasta el momento se conocen las siguientes alternativas:

- Cal: disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y puede ser económica.
- Cemento Portland: aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.
- Emulsiones Asfálticas: es muy usada para material triturado sin cohesión.
- Cloruro de Sodio: impermeabilizan y disminuyen la producción de los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Cloruro de Calcio: impermeabilizan y disminuyen la producción de los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- Cloruro de Magnesio: impermeabilizan y disminuyen la producción de los polvos en el suelo.
- Escorias de Fundición: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Polímeros: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- Caucho de Neumáticos: este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

3.3 CLORURO DE MAGNESIO

El Cloruro de Magnesio, de fórmula $MgCl_2$ es un compuesto mineral iónico a base de cloro, cargado negativamente, y magnesio, cargado positivamente. Es un ácido débil. El Hexahidratado, cuando se calienta, puede experimentar una hidrólisis parcial. El cloruro de magnesio puede extraerse de salmueras o del agua de mar y es una gran fuente de magnesio, obtenido por electrolisis. El cloruro de magnesio puede presentarse en forma anhidra, bi-hidratado o hexahidratado. Este último compuesto se presenta como cristales romboides de gran belleza ornamental, tal como se muestra en la figura.

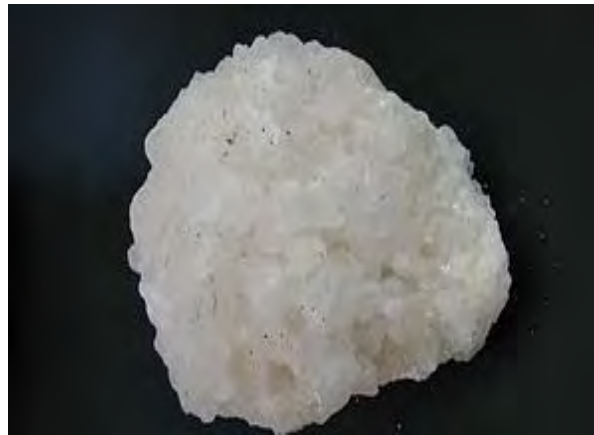


Figura 3.01, cristales Bischofita
Fuente Wikipedia, la enciclopedia libre

3.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE CLORURO DE MAGNESIO (BISCHOFITA)

- **Composición Química**

La Bischofita es una sal constituida básicamente por cristales de Cloruro de Magnesio Hexahidratado ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$). Esta sal se produce por evaporación solar de la salmuera extraída de depósitos del subsuelo del Salar de Atacama (Chile) para la extracción del litio.

SALAR DE ATACAMA SOQUIMICH

La sal producida durante el proceso de extracción del litio es una sal mayoritariamente compuesta por Bischofita y otros elementos que se presentan en la Tabla 3.01 que muestra el análisis químico típico de la Bischofita. Aquí el magnesio y el cloro forman Cloruro de Magnesio ($MgCl_2$), el cual determina las propiedades activas de la Bischofita.

Tabla 3.01. Análisis químico de la Bischofita

COMPUESTO QUIMICO	PORCENTAJE EN PESO
Mg	10.5
Cl	33.5
H ₂ O	52.0
Otros (Na.Ca.Li.K.SO4)	4.0

Fuente: Ing. Raúl Cornejo Faúndez

- **Propiedades Físicas**

Las propiedades físicas de la Bischofita dependen básicamente del cloruro de magnesio, cuyas principales características son:



Alta Higroscopicidad: Capacidad de absorber y exhalar la humedad, según las circunstancias del medio ambiente.

Alta Delicuescencia: Es la propiedad de atraer la humedad de la atmósfera y liquidarse lentamente hasta disolverse en esta humedad para formar una solución líquida.

Estas propiedades se presentan cuando la humedad relativa (HR) es superior a 30% (Kirchner y Gall, 1991; Foley et al., 1996). La cantidad de agua absorbida es proporcional a la humedad relativa, y cesa cuando se alcanza el equilibrio entre la presión de vapor de la solución de $MgCl_2$ y la del aire.

La presión de vapor de soluciones de cloruro de magnesio es significativamente menor a la del agua, por ejemplo, a $25^\circ C$ la presión de vapor de la solución saturada de $MgCl_2$ es de 7.6 mm de Hg, mientras la del agua es 23.8 mm de Hg. Debido a que la evaporación es función directa de la presión de vapor, ésta ocurre mucho más lento en soluciones de cloruro de magnesio que en el agua pura a cualquier temperatura y humedad relativa. Además, la tensión superficial de soluciones de cloruro de magnesio es más alta que la del agua pura, constituyéndose en un importante factor en la inhibición de la evaporación.

Por otra parte, la temperatura de congelamiento de soluciones de cloruro de magnesio es muy baja, alcanzando los $-32^\circ C$ cuando la solución contiene un 22% de $MgCl_2$, como muestra la figura N° 3.02 (Adaptado de Kézdi, 1979).

Todas estas propiedades son fundamentales en el mecanismo de supresión de polvo y estabilización de caminos granulares.

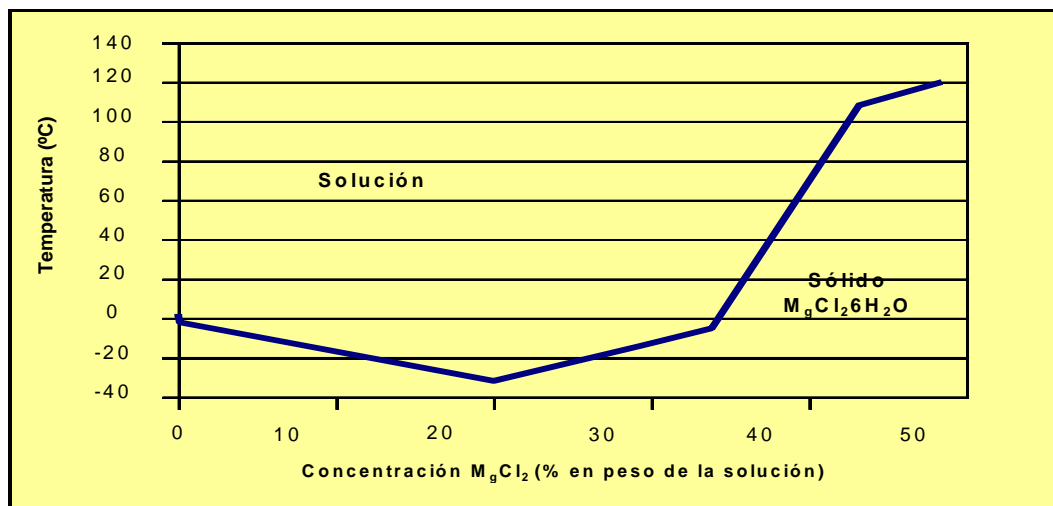


Figura 3.02. Temperatura de congelamiento de $MgCl_2$
Fuente: Ing. Raúl Cornejo Faúndez



3.4 PROBLEMAS ASOCIADOS A LA GENERACIÓN DE POLVO

El polvo consiste en pequeñas partículas llevadas por corrientes de aire, formados en su mayoría por desintegración o fractura de materiales sólidos. Según estimaciones anualmente se acumulan entre 2.000 y 3.000 millones de toneladas de polvo en la atmósfera [URL1]. Las principales fuentes de polvo están en la erosión eólica, terremotos y volcanes, minería, agricultura y actividades industriales.

El polvo es clasificado por el tamaño en 2 categorías primarias:

a) Polvo inhalable (PM10):

Es aquella fracción de polvo que entra en el cuerpo, pero es atrapado en la nariz, la garganta, y vías respiratorias superiores. La medida del diámetro de este polvo es aproximadamente 10 μm (0.01 mm).

b) Polvo respirable (PM2.5):

Son aquellas partículas bastante pequeñas para penetrar la nariz y el sistema superior respiratorio y profundamente en los pulmones. Las partículas que penetran superan los mecanismos de despacho naturales del cuerpo y tienen mayor probabilidad de ser conservadas en el organismo. La medida del diámetro de este polvo es aproximadamente 2.5 μm (0.025 mm).

Las partículas PM10 y PM2.5 pueden causar problemas a la salud. Por viajar más profundamente en los pulmones y por estar compuesta por algunos elementos tóxicos (como metales pesados y compuestos orgánicos), las partículas PM2.5 pueden dificultar la respiración, generar problemas de asma, dañar a los pulmones y agravar la situación de personas con enfermedades cardiorrespiratorias.

La presencia de polvo en actividades agrícolas genera problemas de mala presentación de cultivos, plagas, bajos rendimientos, daño a la salud de trabajadores. Además provocan diversos gastos asociados a frecuentes riegos con agua, instalación de mallas o barreras y uso de acaricidas.

3.5 EVALUACIÓN FUNCIONAL

Es la evaluación de deficiencias que afectan la calidad de la superficie y por ende la serviciabilidad y los costos del usuario; para lo cual se ejecutan las siguientes ejecutándose las siguientes evaluaciones:

3.5.1 RUGOSIDAD

En 1986, se define la variable de rugosidad de pavimentos, IRI el cual resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un auto de



pasajeros típico, está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80, Reference Average Rectified Slope, razón entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo del cuarto de carro, (RQCS, Reference Quarter Car Simulation), para una velocidad de desplazamiento de 80 km/h. Es calculado a partir de las elevaciones de la superficie medidas mediante un levantamiento topográfico o "perfilometría".

El Índice de Regularidad Internacional (IRI) [4] se estableció a partir de conceptos asociados a la mecánica de los sistemas dinámicos, basados a un modelo que simuló el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo (modelo de cuarto de carro, ver figura 1.1) al circular por una determinada longitud de perfil de la carretera a una velocidad estándar de 80Km/h.

El IRI es la acumulación del movimiento entre la masa amortiguada y la no amortiguada, cuando se simula el paso del modelo del cuarto de carro, o técnicamente llamado RTRRMS (Response Type Road Roughness Measuring System), normalizado por el largo del perfil.

Si se cuenta con el IRI calculado de dos secciones contiguas, el IRI sobre la sección que es la suma de las dos es simplemente el promedio de los IRI de cada sección. A una velocidad de simulación de 80 km/h, la inicialización afecta la respuesta del modelo del cuarto de carro. La mejor forma de tratar con este problema es comenzar a medir el perfil 20 m antes de la sección a evaluar. El cálculo del IRI está linealmente relacionado con las variaciones en el perfil, es decir si las elevaciones del perfil aumentan al doble, el resultado del cálculo del IRI también aumentará al doble.

El IRI está definido como una propiedad de un solo perfil longitudinal por lo tanto si se desea establecer un valor por pista se debería establecer criterios de cuántos perfiles tomar, generalmente se toman los perfiles en ambas huellas de cada pista para así derivar un valor por pista.

Los sitios de prueba utilizados en el desarrollo del concepto de IRI contaban con un largo mínimo de 320 m. El IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino, sin embargo, los usuarios deben entender que el cálculo del IRI depende altamente sobre qué longitud es acumulado. Es fundamental entender la relación que existe entre variación de rugosidad a lo largo del camino y el largo del camino sobre el cual la rugosidad es promediada.

La escala de IRI comienza desde cero, para una ruta perfecta sin rugosidad, y cubre números positivos que crecen en forma proporcional a la rugosidad del perfil.

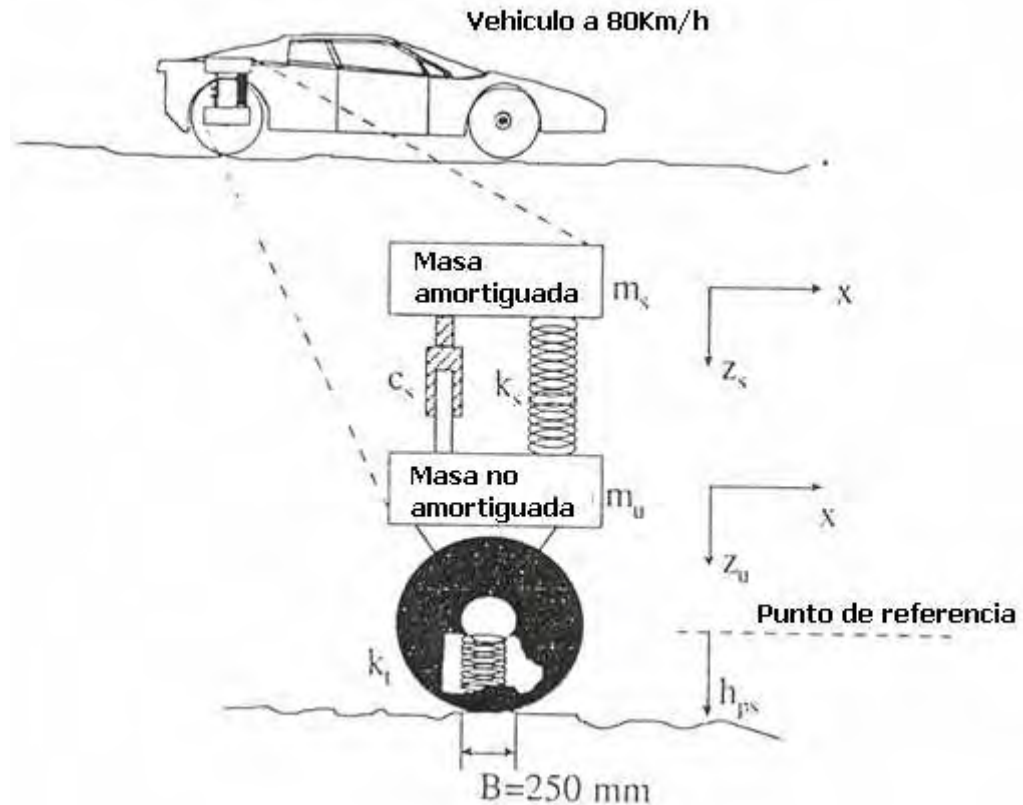


Figura 3.03. Modelo de cuarto den carro

Fuente: Tesis de Br. Carlos Alberto Cárdenas Cruz "Procesamiento de Datos, Diseño y Construcción de un Analizador Electrónico de Rugosidad de Pavimentos"

➤ Métodos para Medir la Rugosidad

Siendo la medición de la rugosidad el parámetro principal para determinar el índice de serviciabilidad y existiendo diversos métodos para su cálculo – según el tipo de equipo que se emplee – es necesario tener especial cuidado en su medición. Para medir la rugosidad existen diferentes métodos, que pueden clasificarse según Sayers en cuatro grupos:

Métodos Clase 1.

Involucran el uso de perfilómetros de precisión: Se realizan medidas muy exactas del perfil longitudinal a distancias no mayores a 25 cm y con una precisión de 0.5 mm. Entre estos equipos están el TRL Road Profile Beam (ver figura 1), siendo otra alternativa realizar una nivelación de precisión. Estas metodologías se emplean generalmente para fines de verificación o calibración de otros equipos de medición.



Figura 3.04. Nivel y Mira

Fuente: University of South Florida Development and evaluation of an inertial based pavement

roughness measuring system

Métodos Clase 2

Comprende el uso de perfilómetros de alta velocidad: Se basa también en la medición del perfil longitudinal, pero son menos precisos que los indicados en a., siendo además costosos y complejos en su manejo. Entre los perfilómetros de alta velocidad están: el APL Trailer y el GMR – Type Inertial Profilometer.



Figura 3.05. Perfilometro ADPL

Fuente: University of South Florida Development and evaluation of an inertial based pavement roughness measuring system

Métodos Clase 3

En estos métodos se utilizan ecuaciones de correlación para convertir data de campo a las unidades internacionales de medición de rugosidad. Usualmente se emplean rugosímetros dinámicos: Recolectan los datos instalados en un vehículo que recorre la vía a una



velocidad uniforme. La precisión de los resultados obtenidos depende de la calibración dinámica del vehículo para proporcionar los valores de rugosidad, empleando ecuaciones de correlación para convertir las lecturas a la escala IRI (International Roughness Index).

En este grupo se encuentran: el Mays Meter, Bump Integrator, NAASRA Meter, Cos Meter, PCA Meter, entre otros.

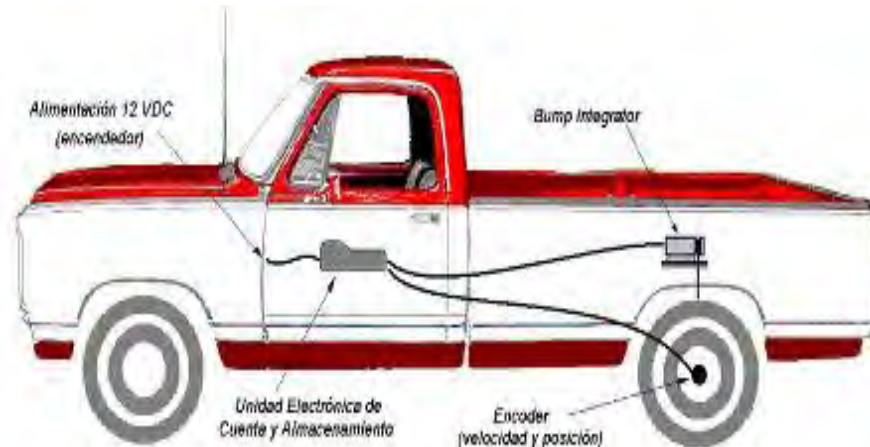


Figura 3.06. Equipo Bump Integrator
Fuente: Tecno Dinámica

Métodos Clase 4

Se basan en una evaluación Subjetiva en la cual el IRI se estima con una inspección visual realizada por un ingeniero experimentado. Se utiliza sólo cuando se requiere de una información básica o referencial sin una mayor exactitud.

➤ Equipo Merlin

El equipo MERLIN (Machine for Evaluating Roughness Using Low Cost Instrumentation), diseñado por el Laboratorio Británico de Investigación de Transporte y Caminos en el 1990, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensando especialmente para su uso en países en vías de desarrollo.

Por haber sido diseñado como una variación de un perfilometro estático, y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 2. De hecho, por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator), lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros.

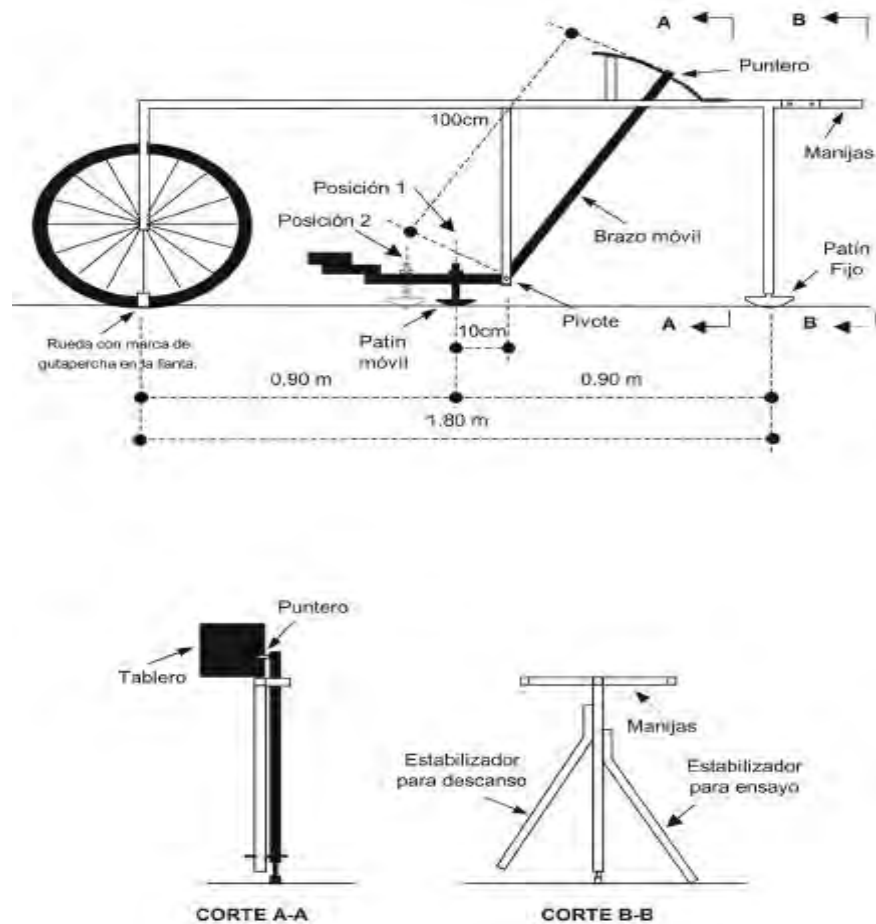


Figura 3.07. Esquema del Rugosímetro MERLIN

Fuente: Estudio Definitivo para el Mantenimiento Periódico de la Carretera Panamericana Sur Tramo: Puente Santa Rosa – Puente Montalvo

➤ CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD

La calibración de los equipos de medición de rugosidad depende del tipo de equipo que se emplee.

Los perfilómetros de precisión utilizados en métodos de clase 1, no requieren de mayor calibración por tratarse de una medición directa del perfil longitudinal y mas bien son utilizados para calibrar equipos utilizados en la clase 2 y clase 3.

Los equipos empleados en la clase 2 como son los perfilómetros de alta velocidad son menos precisos que los de clase 1. Por ser equipos de alta tecnología su calibración es usualmente realizada por cada fabricante y verificada en campo con equipos de clase 1.

En lo que respecta a los métodos de clase 3 que utilizan rugosímetros dinámicos y ecuaciones de correlación para convertir la data recolectada en campo a valores de rugosidad en IRI su grado de precisión depende del proceso de calibración utilizado y del grado de precisión de las ecuaciones de correlación utilizadas. Para la calibración de estos



equipos se utilizan equipos de clase 1 de preferencia y de no contar con éstos, se calibrará con equipos de clase 2.

Los métodos clase 4 por ser subjetivos simplemente dependen de la experiencia del evaluador con resultados obtenidos con los otros métodos.

En el Perú, los rugosímetros dinámicos con métodos de medición de clase 3.

➤ ESTADO VIAL SEGÚN LA RUGOSIDAD

Después de construida, rehabilitada o reconstruida una vía y que, por lo tanto, se encuentra en buenas condiciones, ella debe ser atendida permanentemente mediante la conservación rutinaria y, cuando se hayan cambiado sus condiciones de bueno a un estado regular, realizar entonces la conservación periódica para volver el estado de la vía a unas condiciones similares a las iniciales. Al respecto, es de mencionar que en algunos países se utiliza el Índice de Rugosidad Internacional-IRI- para definir el instante en el cual se debe implementar la intervención de conservación periódica. Para el Perú se han fijado los valores de IRI que se muestran en el Cuadro siguiente:

Cuadro 3.01 Estado Vial según la Rugosidad

Estado	Pavimentadas	No pavimentadas
	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < IRI \leq 2.8$	$IRI \leq 6$
Regular	$2.8 < IRI \leq 4.0$	$6 < IRI \leq 8.0$
Malo	$4.0 < IRI \leq 5.0$	$8 < IRI \leq 10$
Muy malo	$5 < IRI$	$10 \leq IRI$

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras MTC

3.5.2 FALLAS SUPERFICIALES

Para la evaluación del estado de deterioro (fallas) de la superficie de las carreteras no pavimentadas, se presentan las siguientes metodologías:

3.5.2.1 MANUAL PASER

El Manual de Grava PASER presenta una metodología para evaluar visualmente y clasificar las condiciones de carreteras existentes. Se basa en la comprensión de las condiciones y los deterioros (fallas) más comunes en caminos de grava. Para establecer una clasificación para evaluar la magnitud de los deterioros en la carretera y las reparaciones necesarias o la reconstrucción necesaria a ejecutar.

Comentario

El Manual PASER (*Pavement Surface Evaluation and Rating*) para carreteras de Grava ha sido desarrollado por el Centro de Información de Transporte de la Universidad



Wisconsin, el cual se encuentra desarrollado en detalle en Anexo A, tiene los siguientes alcances:

- Establece un punto de referencia para definir la condición superficial del pavimento (confort).
- Las unidades de muestra de evaluación de carretera, está comprendido entre 805 m 1609 m.
- Establece 05 condiciones de superficie y defectos, los cuales son:
 - a) Superficie de rodadura.
 - b) Drenaje.
 - c) Capa de grava.
 - d) Deformación Superficial.
 - e) Defectos en superficie.
- Establece cinco clasificaciones de carreteras: excelente, bueno, regular, pobre y fallado; en función a fallas visibles existentes, se establecer las prioridades para mejoras de la carretera.

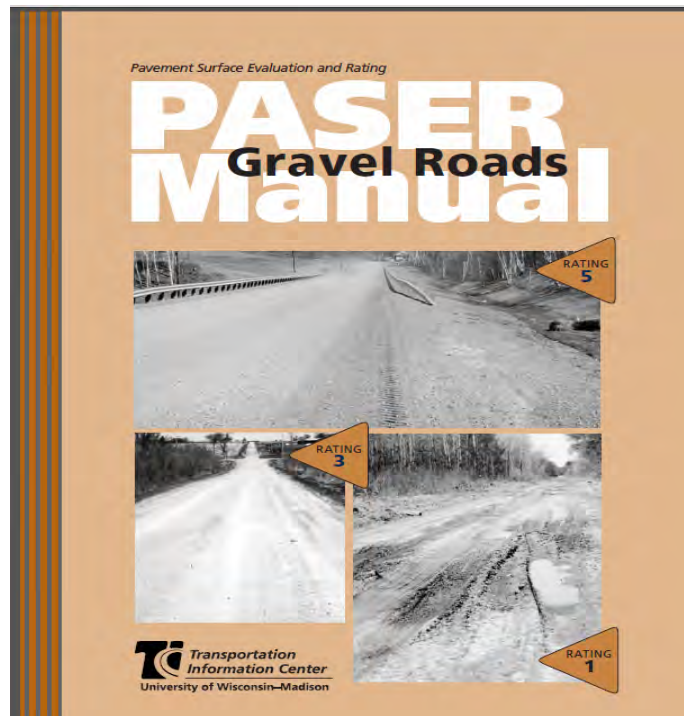
Surface rating	Visible distress*	General condition/ treatment measures
5 Excellent	No distress. Dust controlled. Excellent surface condition and ride.	New construction—or total reconstruction. Excellent drainage. Little or no maintenance needed.
4 Good	Dust under dry conditions. Moderate loose aggregate. Slight washboarding.	Recently regraded. Good crown and drainage throughout. Adequate gravel for traffic. Routine grading and dust control may be needed.
3 Fair	Good crown (3"-6"). Adequate ditches on more than 50% of roadway. Gravel layer mostly adequate but additional aggregate may be needed in some locations to correct washboarding or isolated potholes and ruts. Some culvert cleaning needed. Moderate washboarding (1"-2" deep) over 10%-25% of the area. Moderate dust, partial obstruction of vision. None or slight rutting (less than 1" deep). An occasional small pothole (less than 2" deep). Some loose aggregate (2" deep).	Shows traffic effects. Regrading (reworking) necessary to maintain. Needs some ditch improvement and culvert maintenance. Some areas may need additional gravel.
2 Poor	Little or no roadway crown (less than 3"). Adequate ditches on less than 50% of roadway. Portions of the ditches may be filled, overgrown and/or show erosion. Some areas (25%) with little or no aggregate. Culverts partially full of debris. Moderate to severe washboarding (over 3" deep) over 25% of area. Moderate rutting (1"-3"), over 10%-25% of area. Moderate potholes (2"-4") over 10%-25% of area. Severe loose aggregate (over 4").	Travel at slow speeds (less than 25 mph) is required. Needs additional new aggregate. Major ditch construction and culvert maintenance also required.
1 Failed	No roadway crown or road is bowl shaped with extensive ponding. Little if any ditching. Filled or damaged culverts. Severe rutting (over 3" deep), over 25% of the area. Severe potholes (over 4" deep), over 25% of area. Many areas (over 25%) with little or no aggregate.	Travel is difficult and road may be closed at times. Needs complete rebuilding and/or new culverts.

Figura 3.08. Condición de superficie y tratamiento
 Fuente: Manual PASER

- Es una inspección visual solamente.
- Usa fotografías como guías de comparación.



MANUAL PASER PARA CARRETERAS DE GRAVA



Aplicabilidad

Para ejecutar la evaluación superficial se utiliza planillas, por ejemplo en el Sector I comprendido entre las km 5+000 – km 07+400, lo dividimos en dos unidades de muestra de 1.2 km cada una, de lo cual se tiene en la siguiente planilla

PLANILLA EVALUACIÓN DE PASER				
Carretera: VIA DE ACCESO AL CENTRO ARQUEOLOGICO CARAL-SUPE		Seccion: km 5+000 - km 7+400		
Fecha:		Unidad de muestra: 01		
Ejecutado por:		Area de muestra:		
Tipos de Falla				
a) Superficie de rodadura b) Drenaje. c) Cape de grava. d) Deformacion superficial e) Defectos en superficie.				
Clasificación de carretera				
Excelente	Bueno	Regular	Pobre	Fallado
5	4	3	2	1
Clasificación de unidad			4	



3.5.2.2 TECHNICAL MANUAL TM 5-626 UNSURFACED ROAD MAINTENANCE MANAGEMENT

En este manual se explica cómo llevar a cabo en una inspección la toma de datos de campo de la superficie granular y como determinar el Índice de Condición de Carretera No Pavimentada (URCI). Es esencial tener un conocimiento completo de trabajo del URCI y técnicas de inspección de la condición superficial. Un importante componente del sistema de gestión de mantenimiento de carreteras sin pavimentar es la condición de la superficie y los procedimientos de calificación. Los datos obtenidos de estos procedimientos son la base principal para la determinación las necesidades de Mantenimiento y Reparación así como las prioridades.

A1. Comentario

El Manual Técnico TM 5-626 URCI (Unsurfaced Road Maintenance Management) para carreteras no pavimentadas, ha sido desarrollado por la Armada de los Estados Unidos, el cual se encuentra desarrollado en detalle en Anexo B, tiene los siguientes alcances:

- Establece un punto de referencia para definir la condición superficial del pavimento, en función del Índice de Condición de Carretera No Pavimentada (URCI).
- La carretera se divide en secciones en función a las características de la carretera (tráfico, características de superficie de carretera, etc.)
- Cada sección se divide en unidades de muestra para la evaluación de la carretera y determinación del URCI, el área de muestra está comprendido entre 230 metros cuadrados (\pm 90 metros cuadrados).
- Los Tipos de Fallas
 81. Inadecuada Sección Transversal.
 82. Inadecuado Drenaje.
 83. Encalaminado.
 84. Polvo.
 85. Huecos.
 86. Ahuellamiento.
 87. Pérdida de Agregado.
- URCI. El Índice de Condición de Carretera No Pavimentada es un indicador numérico basado en una escala de 0 a 100.
- El URCI indica la integridad de carretera y condición operacional de la superficie. Su escala y calificaciones se muestran en la siguiente figura.



URCI	RATING
100	Excellent
85	Very Good
70	Good
55	Fair
40	Poor
25	Very Poor
10	Failed
0	

Figura 3.09. URCI escala y condición de calificación
Fuente: TECHNICAL MAUAL TM 5-626

- Establece, en función a fallas visibles existentes, establecer las prioridades para mejoras de la carretera.

MANUAL TÉCNICO PARA CARRETERAS NO PAVIMENTADAS

TM 5-626

TECHNICAL MANUAL

UNSURFACED ROAD MAINTENANCE MANAGEMENT

Approved For Public Release; Distribution is Unlimited

HEADQUARTERS, DEPARTMENT OF THE ARMY
JANUARY 1995

A.2 Aplicabilidad

Para ejecutar la evaluación superficial se utiliza planillas, a continuación se detalla un ejemplo de aplicación:



Para el cálculo de la unidad de muestra URCI se utiliza la figura 3.13, considerándose solo las fallas tipo 81 y 83. Este cálculo se realiza en cuatro pasos.

- 1). Paso 1. Calcular la densidad de cada tipo de falla (excepto polvo)

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Cantidad de falla} * 100\%}{\text{Área de unidad de muestra}}$$

En este ejemplo, la densidad de cada falla y nivel de severidad se basa en una unidad de muestra de 1,800 pie cuadrados (167.4 metros cuadrados).

- a) Por cada 100 pies lineales de inadecuada sección transversal (tipo de falla 81), la densidad es:

$$\frac{100 * 100}{1800} = 5.6$$

- b) Para 900 pies cuadrados de corrugaciones (falla tipo 83) la densidad es:

$$\frac{900 * 100}{1800} = 50$$

2) Paso 2. Utilizando las curvas de valor deducido, encontrar el valor deducido para cada tipo de falla y nivel de severidad. Las curvas de valor deducido se encuentran en anexos.

- a) Para la inadecuada sección de baja severidad, se ubica en la figura 3.10 (unidades en inglés), la densidad en el eje horizontal, va hacia arriba verticalmente a la curva de baja severidad, luego a la izquierda en sentido horizontal a la intersección del eje, lo que da un valor de 13 (unidades en inglés).

- b) Para Encalaminado severidad media, el valor deducido es 29 (figura 3.11).

3) Paso 3. Encontrar el Valor Total Deducido (TDV) y el valor “q”. Calcular el TDV sumando todos los valores deducidos. El valor q es el número de valores deducidos individuales superiores a 5.

- a) $\text{TDV} = 13 + 29$

- b) El valor de q es 2 porque dos valores son mayores que 5.

4) Paso 4. Encontrar el Índice de Condición de la Carretera no Pavimentada (URCI).

- a) En la Figura 3.12, el TDV es 42 y q es de 2, por lo que la curva URCI muestra que el URCI es de 70. De la Figura 3.09, la calificación es “Muy Bueno”.

- b) Esta es la calificación para esta unidad de muestra.



La calificación de la sección es el promedio de todas las calificaciones de todas las unidades de muestra en la sección de carretera.

Por ejemplo, valores de URCI de 63, 59 y 67 en una sección daría un promedio de URCI de 63 para el conjunto de la sección.

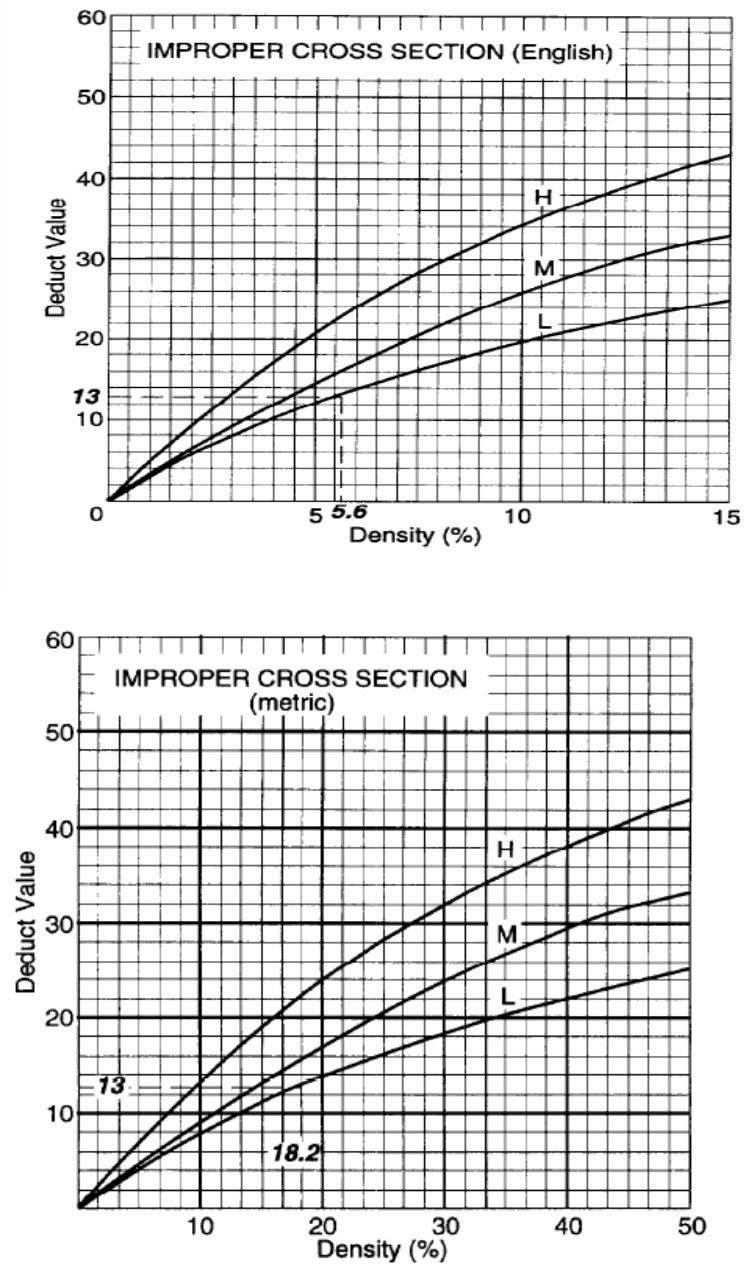


Figura 3.10. Falla tipo 81- Inadecuada Sección Transversal curvas de Valor Deducido
Fuente: TECHNICAL MAUAL TM 5-626

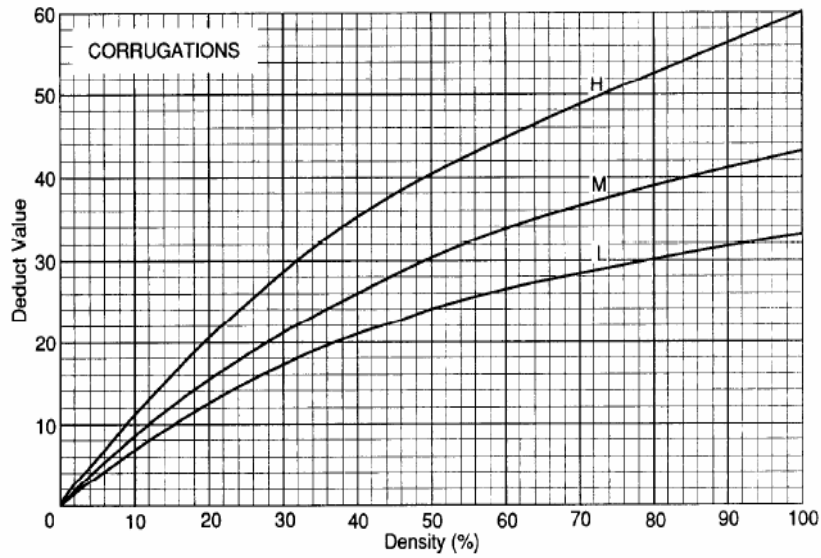


Figura 3.11. Falla tipo 83- Enacalimanado curvas de Valor deducido
Fuente: TECHNICAL MAUAL TM 5-626

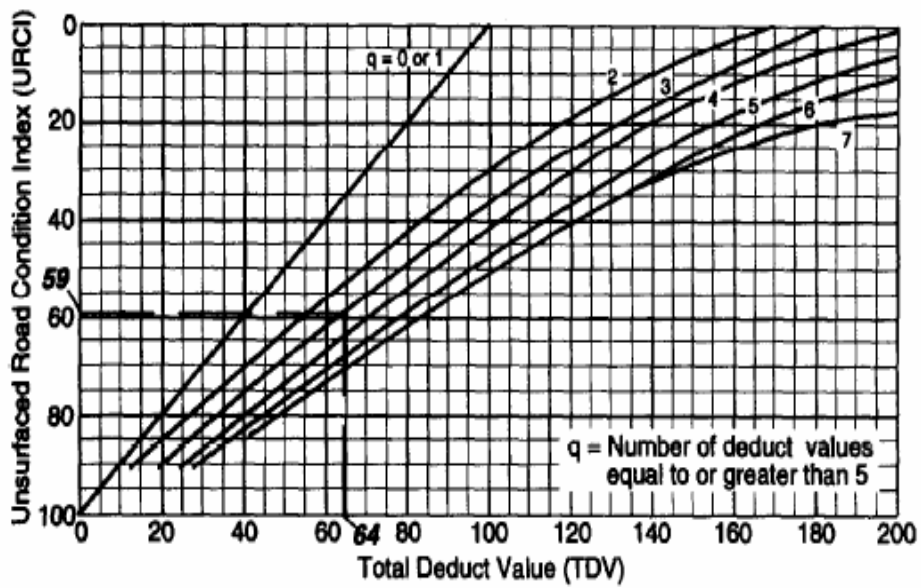


Figura 3.12. Curva URCI
Fuente: TECHNICAL MAUAL TM 5-626



TM 5-626

UNSURFACED ROAD INSPECTION SHEET								
For use of this form, see TM 5-626; the proponent agency is USACE								
1. BRANCH FS 101		2. SECTION 1		3. DATE 7 Nov 94				
4. SAMPLE UNIT 2		5. AREA OF SAMPLE 1800 ft²		6. INSPECTOR R. Beaucham				
7. SKETCH 0.3 mi. ← to Dodge road <div style="text-align: center;"> </div>				DISTRESS TYPES 81. Improper Cross Section (linear feet) 82. Inadequate Roadside Drainage (linear feet) 83. Corrugations (square feet) 84. Dust 85. Potholes (number) 86. Ruts (square feet) 87. Loose Aggregate (linear feet)				
8. DISTRESS QUANTITY AND SEVERITY								
TYPE		81	82	83	84	85	86	87
QUANTITY AND SEVERITY	L	100						
	M			900	✓			160
	H							
9. URCI CALCULATION				10. REMARKS				
DISTRESS TYPE <i>a</i>	DENSITY <i>b</i>	SEVERITY <i>c</i>	DEDUCT VALUE <i>d</i>					
81	5.6	L	13					
83	50.0	M	29					
84	-	M	4					
87	8.8	M	18					
e. TOTAL DEDUCT VALUE 64		f. $q =$ 3	g. URCI 59		h. RATING = Good			

DA FORM 7348-R, NOV 94

Figure 3-3. Example for calculating density of distresses (English units.).

Figura 3.13. Ejemplo para calcular densidad y falla
 Fuente: TECHNICAL MAUAL TM 5-626



3.6 EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA

3.6.1 INTRODUCCIÓN

La deflexión es una medida de la respuesta del conjunto “pavimento-subrasante” frente a una determinada sollicitación (acción de las cargas móviles o estáticas de los vehículos). La medición de la deflexión es un ensayo no destructivo de gran rendimiento operacional que permite obtener un elevado número de determinaciones en poco tiempo, reduciendo al mínimo la cantidad necesaria de ensayos destructivos (calicatas).

Debido a la incidencia de diversos factores que perjudican la seguridad, comodidad y rapidez con que debe circular el tráfico presente y el futuro en el tramo en estudio, se ha planteado corregir los defectos que alteran la superficie de rodadura de los pavimentos flexibles.

Los trabajos de mantenimiento o de refuerzo de los pavimentos en servicio, se basan en el valor de la deflexión máxima y el tipo de curvatura que adopta la superficie cargada.

Para determinar las correcciones en el tramo en estudio se ha analizado la deformación elástica que experimenta el pavimento bajo carga, dicha deformación dependerá del estado superficial y/o estructural del mismo.

Se efectuaron mediciones de deflexiones recuperables mediante la Viga Benkelman utilizando el correspondiente camión normalizado, además el uso de la viga permitió determinar el radio de curvatura de la línea de deflexión.

La Viga Benkelman es un dispositivo mecánico que mide las deformaciones en dos puntos de contacto, esta viga se coloca entre las ruedas duales de un camión bajo eje de carga estándar 8.2 t y con una presión de inflado de llantas de 80 psi, es decir que mide la flecha máxima de la línea de deformación bajo una carga constante.

El número de puntos de ensayo se efectuó cada 100 m a lo largo del tramo y en cada carril, las mediciones de cada carril están desplazadas unos 50 m. De esta manera se tiene en forma alternada (derecha e izquierda) una medida a 50 metros.

3.6.2 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

- El punto de pavimento a ser ensayado deberá ser marcado con una línea transversal.
- La rueda dual externa deberá ser colocada sobre el punto seleccionado quedando éste ubicado entre ambas llantas.
- Se coloca la regla sobre el pavimento, detrás del camión perpendicularmente al eje de carga de modo que la punta de prueba coincida con el punto de ensayo y la regla no roce contra las cubiertas de la rueda dual.



- Se retira la traba de la regla y la base se ajusta por medio del tornillo trasero de modo tal que el brazo de medición quede en contacto con el vástago del dial.
- El flexímetro se ajusta de modo tal que el vástago tenga un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se gira la esfera del flexímetro hasta que la aguja quede en cero y se verifica la lectura golpeando suavemente con un lápiz y poniendo en marcha el vibrador de la regla. Girar la esfera si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición "0" (cero). El ensayo comenzará cuando se compruebe que dicha lectura permanece constante, asegurando el equilibrio del pavimento bajo carga. Se da por estabilizada la deformación producida por la carga cuando la lectura inicial varía en 0.01 mm/minuta o menos.
- Establecida la lectura inicial en cero, se hace avanzar suave y lentamente el camión hasta una distancia de 4 m. aproximadamente.
- Para determinar la Deflexión Recuperable, se lee el flexímetro cada 60 segundos golpeándolo suavemente con un lápiz. Cuando dos lecturas sucesivas no difieren en más de 0.01 mm. se da por finalizada la recuperación del pavimento (L).
- Para determinar la Curva de Recuperación Elasto-Retardada, se pone en marcha el cronómetro exactamente en el instante en que comienza a avanzar el camión y se lee el flexímetro a intervalos de 5 seg. Registrándose todas las lecturas hasta que dos lecturas separadas por un lapso de 60 seg. no difieran en más de 0.01 mm. Cuando se cumple esta condición, se da por finalizada la recuperación correspondiendo la última lectura de la Deflexión Recuperable.

3.6.3 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Se basan en el valor de la deflexión máxima y el tipo de curvatura que adopta la superficie cargada, siendo sus resultados confiables a medida que exista una base de comparación en una gran gama de variedades de estructuras.

3.6.3.1 CALCULO DE DEFLEXIONES

El procedimiento para el cálculo de las deflexiones es simple. Para el caso de la deflexión máxima, la lectura máxima (L1) se multiplica por 2 y para la lectura a 25 cm (L2) también se multiplica por 2. (Según CONREVIAl).

Por lo cual se tiene:

$$\text{Deflexión máxima} = 2 * L1$$

$$\text{Deflexión a 25cm} = 2 * L2$$

Se multiplican por 2, debido a que la relación de brazos de la Viga Benkelman empleada es 1: 2.



a. Corrección de las Deflexiones por efecto de la Temperatura

Para medir la temperatura del pavimento se realiza un orificio (antes y durante el ensayo) y se llena con agua. Una vez pasado el tiempo necesario para que adquiriera la temperatura del pavimento, se inserta el termómetro y se lee la temperatura.

Para un pavimento dado, la magnitud de las deflexiones aumenta con un incremento en la temperatura de la carpeta, atribuido a una menor rigidez de la mezcla. Para corregir la deflexión por efecto de la temperatura, se aplica la siguiente fórmula:

$$D_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{D_t}{1 \times 10^{-3} (1 / \text{cm } ^{\circ}\text{C}) \times h \times (t - 20^{\circ}\text{C}) + 1}$$

Donde :

Dt = Deflexión recuperable, medida a la temperatura “t” °C en centésimas de mm.

D20 = Deflexión recuperable, medida a la temperatura estándar (20 °C).

h = Espesor de la carpeta asfáltica en cm. medido en el borde del pavimento.

t = temperatura de la carpeta asfáltica al momento de ejecutarse el ensayo.

b. Corrección de las Deflexiones por Estacionalidad

La capacidad de deformación de los suelos está influenciada por el grado de saturación que experimentan, por lo tanto, es deseable que la medición de deflexiones se realice durante la estación de lluvias, durante la cual los suelos se encuentran en la situación más crítica. De no ser así, se debe efectuar la corrección de las medidas a fin de tomar en cuenta dicho aspecto. Para fines prácticos se propone el uso de los siguientes factores de corrección, considerando el tipo de suelo de subrasante y la época en que se realizaron los ensayos.

Cuadro 3.02 Factores de corrección por estacionalidad

TIPO DE SUELO DE SUBRASANTE	ESTACION LLUVIOSA	ESTACION SECA
Arenosa permeable	1.0	1.1 a 1.3IRI ≤ 6
Arcillosa – sensible al agua	1.0	1.2 a 1.4

Fuente: CONREVIAl MTC

3.6.3.2 ANÁLISIS DE DEFLEXIONES

a. Determinación del Radio de Curvatura

El grado de curvatura de la línea elástica de Deflexión es una característica de fundamental importancia, que determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas elásticas al flexionar bajo las cargas, y en consecuencia, en el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo.



El radio de curvatura queda definido por la siguiente relación, en la cual se considera que la línea de Deflexión se aproxima a una parábola hasta una distancia algo mayor de 25 cm del eje de carga, para sufrir luego una inflexión y tender asintóticamente hacia la horizontal, la curvatura de la parábola queda definida por su parámetro, que en la zona de máxima curvatura se confunde practicante con el radio del circulo osculador en dicho punto.

$$R = \frac{10*(25^2)}{2(D_0-D25)} = \frac{6250}{2(D_0-D25)}$$

Donde:

R = Radio de Curvatura en metros

Do = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de milímetros

D25 = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de milímetros, a 25 del eje de carga

10 = Coeficiente por cambio de unidades

Siguiendo la metodología de CONREVIAl se determina los valores de deflexiones corregidos por temperatura y estacionalidad, se elabora el deflectograma y se analiza a fin de definir sectores homogéneos y determinar valores representativos en base a la deflexión característica con una confiabilidad de 95%.

Adicionalmente se determina el radio de curvatura, que expresa el grado de curvatura de la línea elástica de deflexión, es una característica de fundamental importancia que determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas asfálticas al flexionar bajo carga y en consecuencia en el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo.

Los trabajos de campo se complementan mediante ensayos destructivos, consistentes en la extracción de testigos de pavimentos, de modo que con ellos se pueden efectuar mediciones de espesores de las distintas capas del pavimento y de la subrasante y realizar ensayos de densidad. La determinación de los puntos donde se ejecutan las calicatas se relacionan con los resultados de la evaluación deflectométrica.

Se efectúa un análisis estadístico por sectores de comportamiento homogéneo con la finalidad de determinar la Deflexión Característica, la Deflexión Promedio y si requiere un aporte estructural o no.



b. Deflectograma

La introducción y generalización de las medidas de deflexiones ha permitido un aporte de interés en el campo de la mecánica de calzadas al revelar la desuniformidad de su capacidad estructural, aún en aquellas consideradas como correctamente proyectadas y construidas, lo que obliga a su estudio con criterio probabilístico.

Una primera desuniformidad, en el sentido transversal se revela en muchos casos por las mayores deflexiones de la huella externa con respecto a la interna de un mismo carril, atribuidas principalmente a una reducción del confinamiento lateral asociada a la terminación del pavimento, y a condiciones más adversas de suelo, principalmente en lo que hace a su contenido de humedad y grado de densificación.

Por este motivo, las determinaciones se han conducido en la huella externa del carril considerado crítico a una distancia del borde variable en función del ancho de la calzada, según las recomendaciones indicadas en la norma de ensayo ya citada.

La desuniformidad en el sentido longitudinal se revela en la gran dispersión de valores individuales, aún para determinaciones muy próximas entre sí (por ejemplo 20m), debido a la variabilidad de las propiedades de los materiales y del proceso constructivo.

Dado que para interpretar los resultados no se puede considerar los valores individuales, surge la necesidad de establecer una deflexión que represente adecuadamente cada sección o tramo de pavimento, y, por ende, de una evaluación estadística.

Con este propósito los resultados obtenidos se vuelcan en un Deflectograma donde se grafica los resultados obtenidos en campo, permitiendo una visión global del conjunto de datos obtenidos.

El Deflectograma constituye un elemento fundamental para el análisis de la variabilidad de la capacidad estructural. En este sentido cabe destacar que el principal objetivo de la medición de deflexiones radica en poder diferenciar secciones de distinta capacidad estructural en un mismo tramo.

Por lo tanto, es en base al deflectograma que se procede a:

- Diferenciar secciones de distinta capacidad estructural y/o comportamiento considerando deflexiones, fallas observadas y estructura del pavimento, las que son posteriormente procesadas estadísticamente.
- Eliminar valores extremos aislados, no representativos y que distorsionan los resultados.
- Obtenidos los parámetros estadísticos, ubicar las perforaciones requeridas para interpretar los resultados, en zonas representativas de buen y mal comportamiento.



- Delimitar secciones en las que se requiere intensificar los estudios o realizar estudios especiales.

El deflectograma es empleado para juzgar la capacidad portante del pavimento, cuando se dispone de los resultados de todos los estudios llevados a cabo.

3.6.3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Los estudios de deflexiones recuperables han demostrado que las deflexiones medidas en una sección de pavimento, presentan una distribución de frecuencias que se asemejan a una distribución normal.

Por ende, a partir de las deflexiones individuales, asumiendo que se hallan distribuidas de acuerdo a la ley de Gauss se han determinado la deflexión media (\bar{D}), el desvío cuadrático medio o desviación estándar (σ) y el coeficiente de variación (CV), usando las siguientes expresiones; donde n es el número de determinaciones:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{l=1}^N D_l}{n}$$

Dado que la desviación estándar aumenta con un incremento de las deflexiones, y mayores deflexiones están asociadas a pavimentos más débiles, puede concluirse que estos son en general más variables, y que la deflexión de diseño, cuando se utiliza en algún método para el cálculo del refuerzo, debe basarse tanto en la deflexión media como en la dispersión.

Para diseño se emplea la deflexión característica, valor que representa mejor a una determinada sección; siguiendo el criterio adoptado normalmente en análisis estadístico, se puede establecer como deflexión característica el valor:

$$D_c = \bar{D} + t \sigma$$

Donde:

D_c = Deflexión Característica

\bar{D} = Deflexión promedio de los valores individuales de D_o corregidos por temperatura y estacionalidad

t = Coeficiente que representa al porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica D_c

σ = Desviación Estándar

Considerando que cada deflexión media representa una cierta extensión o área de pavimento, cada valor de “t” corresponderá a un porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a las características D_c correspondiente.

En la tabla siguiente se indican los valores más frecuentes:



Tabla 3.02. Valores de Deflexión Característica

Confiabilidad (%)	Deflexión Característica (Dc)	Extensión del pavimento con $D > D_c$ (%)
50	\check{D}	50
60	$\check{D} + 0.253 \sigma$	40
70	$\check{D} + 0.524 \sigma$	30
75	$\check{D} + 0.674 \sigma$	25
80	$\check{D} + 0.674 \sigma$	20
85	$\check{D} + 1.037 \sigma$	15
90	$\check{D} + 1.282 \sigma$	10
95	$\check{D} + 1.645 \sigma$	5
98	$\check{D} + 2.054 \sigma$	2
99	$\check{D} + 2.327 \sigma$	1
99.99	$\check{D} + 3.09 \sigma$	0.1

Fuente: Elaboración propia con información de Guía AASHTO 93

En el caso del diseño de un refuerzo, el espesor deberá ser tal que solo una pequeña área resulte infra diseñada. La elección del valor de t es una decisión técnico – económica que dependerá del número de determinaciones, del grado de confiabilidad, de la relación entre costos de mantenimiento y de rehabilitación, de la variabilidad de capacidad estructural o constructiva, del tráfico, ubicación e importancia de la carretera, etc.



Figura 3.14. Medición de deflexiones
Fuente: MTC Dirección de Estudios Especiales



3.6.4 PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

➤ Deflexión de Diseño

Según artículo AUSTROAS PT-98-08, la curva 1 se aplica a todo tipo de pavimento, curvas diferentes no se proporcionan para una variedad de esfuerzos de subrasante y espesor del pavimento.

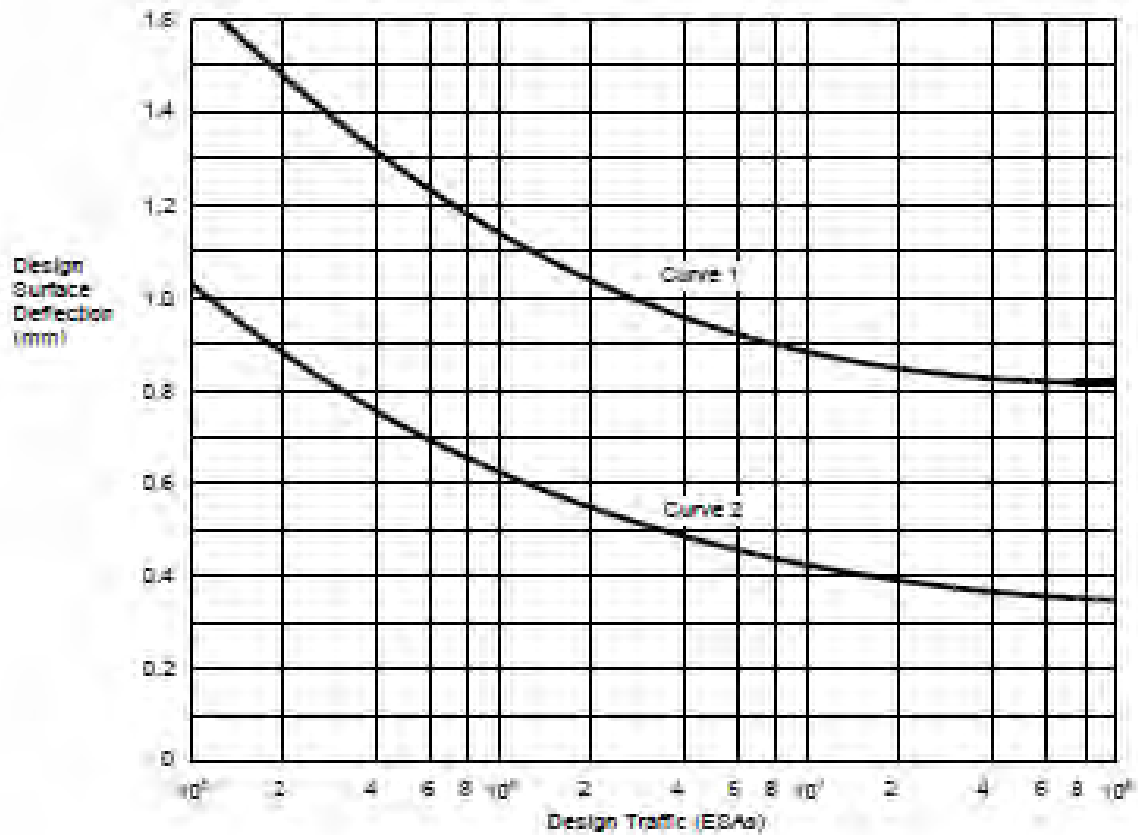


Figura 3.15. Criterio Deflexión de Diseño Austroads
Fuente: Austroads Technical Report AP-T98/08.

La curva C 1 de Austroads es la misma curva C 1 de NAASRA (1979 mostrado en la fig. 3.16) con la excepción de que la curva C 1 de NASSRA es aplicable a base no unida con superficie delgada de asfalto.

Las curvas C 2 es la misma curva C 4 de NAASRA (1979 mostrado en fig. 3.16), aplicable a base no unida con espesor de 25 – 50 mm de superficie de asfalto.

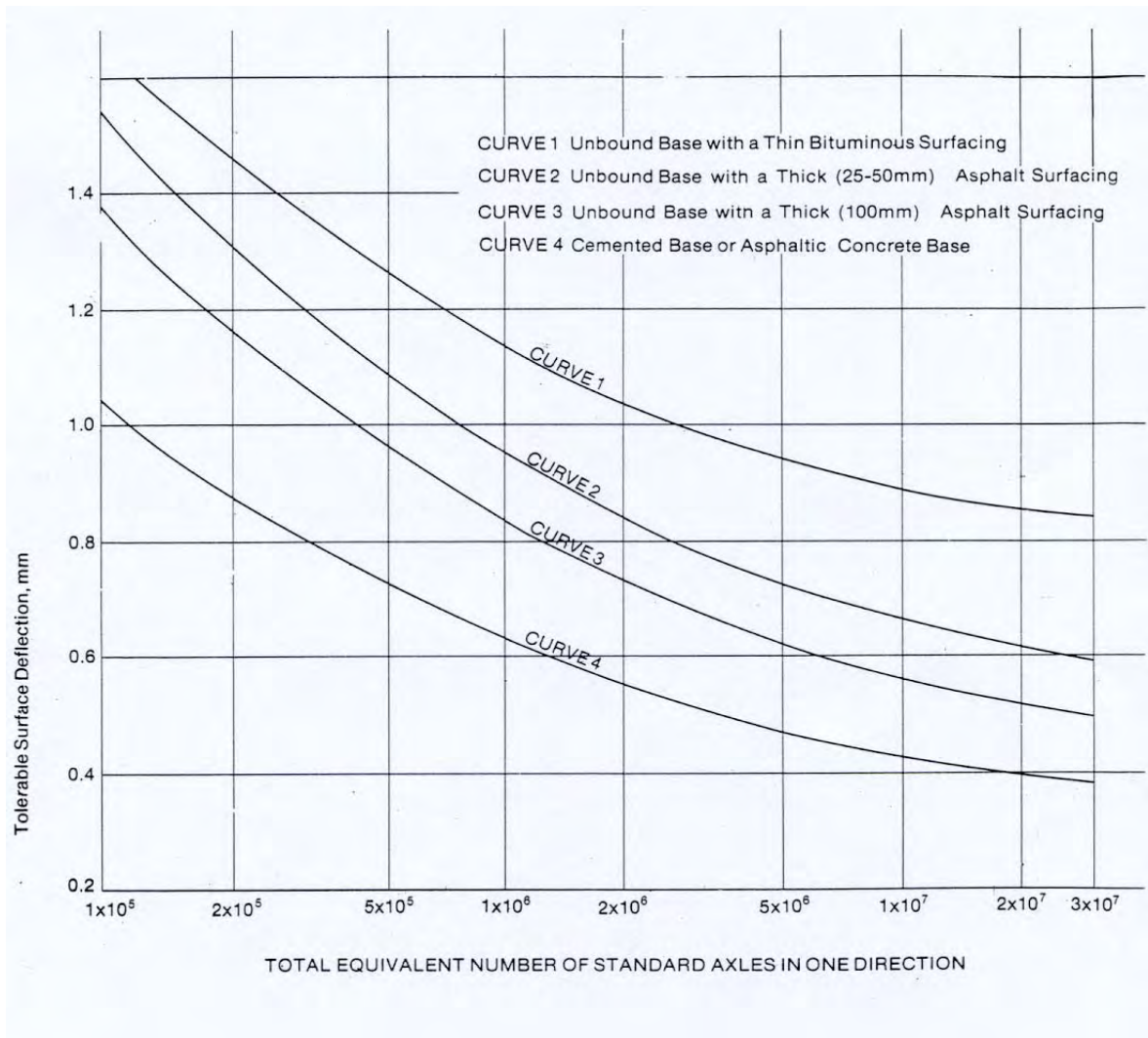


Figura 3.16. Criterio Deflexión de Diseño NASSRA (1979)
Fuente: Austroads Technical Report AP-T98/08.

a) Deflexión de Diseño depende del espesor de superficie granular y CBR de subrasante.

Según Austroads la curva deflexión de diseño de la figura 3.15 es aplicable a todos los pavimentos independientemente de espesor granular o CBR de subrasante. El concepto de curva diseño de deflexión único para todos los tipos de pavimentos está en desacuerdo con el enfoque mecanicista de diseño de Sobrecarpeta (Austroads 1994). Una investigación realizada por Scala, en el que del diseño de deflexiones de Austroads son en parte basado, se analiza a continuación en relación con este tema. Además, los hallazgos relevantes de la investigación de TRRL se revisan.

Los resultados de Scala:

En 1960, Scala deriva un método de diseño de pavimento nuevo basado en las deflexiones para complementar la investigación del CBR para el diseño de pavimento. Como es imposible medir deflexiones en un pavimento propuesto, el método de



deflexión de Scala, consistió en comparar la deflexión prevista con la deflexión de diseño. Basado en mediciones de campo de unos 200 pavimentos de Victoria, con superficies de sello rociado, Scala (1965) desarrollo relaciones para predecir deflexiones con Viga Benkelman con el CBR de subrasante y espesor granular.

Scala determina dos relaciones:

- La recta de mejor ajuste
- La línea de la estimación de las deflexiones esperada para cualquier combinación de espesor granular y CBR de subrasante.
- Relación de Deflexión media

$$\text{Log}(d) = - (0.88 - 0.0165 t) - 0.5 \log(\text{CBR})$$

Donde

d = deflexión máxima con viga Benkelman (pulgadas).

t = espesor de material granular (pulgadas).

CBR = CBR de subrasante.

Esta relación, que se representa en unidades métricas en la figura 3.17, da la deflexión esperada o promedio para un espesor granular y CBR de subrasante.

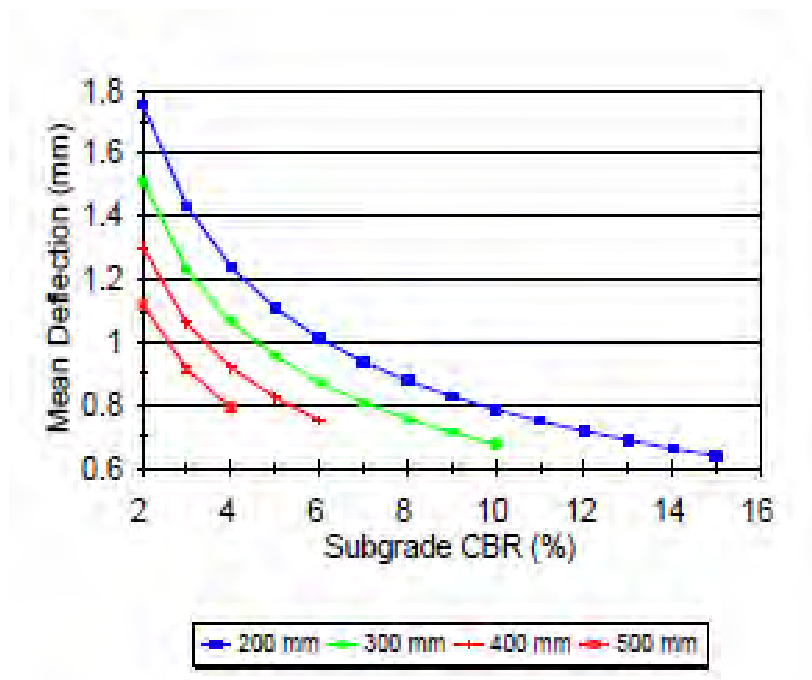


Figura 3.17. Medida de deflexión promedio con Viga Benkelman en CBR de subrasante para varios espesores granulares.

Fuente: Austroads Technical Report AP-T98/08.



“Alta” Relación de Deflexión

Como se mencionó anteriormente, Scala también desarrollo una relación para predecir la deflexión máxima esperada para cualquier combinación de subrasante de CBR y espesor granular.

Los pavimentos con deflexiones (< 0.8 mm) se excluyeron de este análisis. Esto dio lugar a menos de la mitad de los 200 pavimentos disponibles para el análisis. Con el fin de incrementar el uso de tamaño de muestra se empleó otros resultados de otros 60 sitios de otra investigación en la que las calles residenciales fueron ensayadas.

La siguiente ecuación se obtuvo de un análisis de regresión del conjunto de datos combinados:

$$\log(d) = -0,34(\ln 0.1t) - 0.7\log(\text{CBR})$$

donde:

d = máxima deflexión de viga Benkelman (pulgadas).

t = espesor de material granular (pulgadas).

CBR = CBR de subrasante.

Esta relación, que se representa en unidades métricas en la figura 3.18, permitió al diseñador de un pavimento nuevo para determinar el espesor granular necesario para que, cuando el pavimento fu construido:

“..... La estructura es 95% seguro, después de los ensayos normales con el procedimiento de viga, para tener una deflexión menor que la deflexión estándar especificada. (Scala 1965)

Tenga en cuenta que para una deflexión de diseño dado y CBR de subrasante, el aumento de espesor de los materiales granulares fueron requeridos por la relación de “alta” deflexión que por la relación de la deflexión media. Como el uso de la relación de “alta” deflexión fue considerado como un enfoque conservador para el diseño de pavimentos nuevos.

- Deflexión de diseño

Scala propuso para criterio de deflexión, utilizar:

- a) La alta deflexión de viga Benkelman, depende del espesor granular y CBR de subrasante.
- b) La relación entre la carga de diseño de tráfico para un determinado CBR de subrasante y espesor granular, obtenida a partir del espesor granular 1959 RRL y una combinación entre la categoría de tráfico y los ESAL.



La relación resultante entre “alta” deflexión y el tráfico de carga de diseño se presentan en la figura 3.18 para diferentes espesores de material granular y la figura 3.19 para varias CBRs de subrasante. Con estos datos, y en vista de los resultados de prueba de carretera AASHTO, Scala propuso el diseño de deflexiones indicadas en la Tabla 3.04. Como se mencionó anteriormente, para el tráfico de carga de menos de 10^6 ESAL, diseño de deflexiones de Scala constituyeron la base de las deflexiones de diseño de Austroads 1992. Estos diseños de deflexión de Austroads (1992) también se muestran en la figura 3.16 y figura 3.17. Es evidente que las deflexiones de diseño Austroads son las deflexiones máximas esperadas par un tráfico de diseño para todos CBR de subrasante y espesores granulares.

Cabe señalar que Scala utilizo “alta” relación de diseño en vez de la relación de deflexión media

Cuando la relación de deflexión media, se utiliza para obtener el diseño de curvas de deflexión, la relación entre la deflexión y el tráfico de carga de diseño es muy diferente, como ilustra la Figura 3.20. En este caso, existe una dependencia mucho más fuerte de la deflexión sobre el espesor granular y las deflexiones de diseño son sustancialmente inferiores a las aprobadas por Austroads para todos los espesores granulares. Esto sugiere que la curva de deflexión de Austroads (1992) sobreestima el promedio del diseño de tráfico de carga permitido. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que estas sobreestimaciones de la carga promedio, en parte, compensan los valores conservadores de la relación entre la deflexión y las cargas admisibles que resulten del uso de espesores granulares conservadores en su desviación.

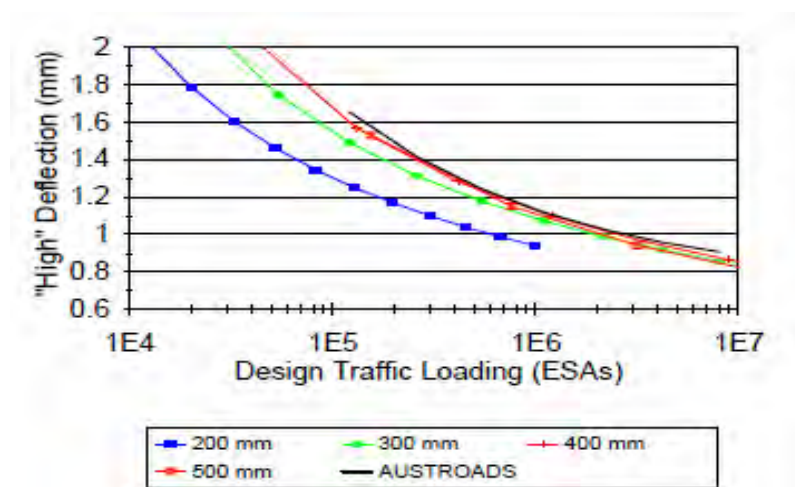


Figura 3.18. Relación entre “Alta” Deflexión con Viga Benkelman y tráfico de diseño para varios espesores granulares.

Fuente: Austroads Technical Report AP-T98/08.

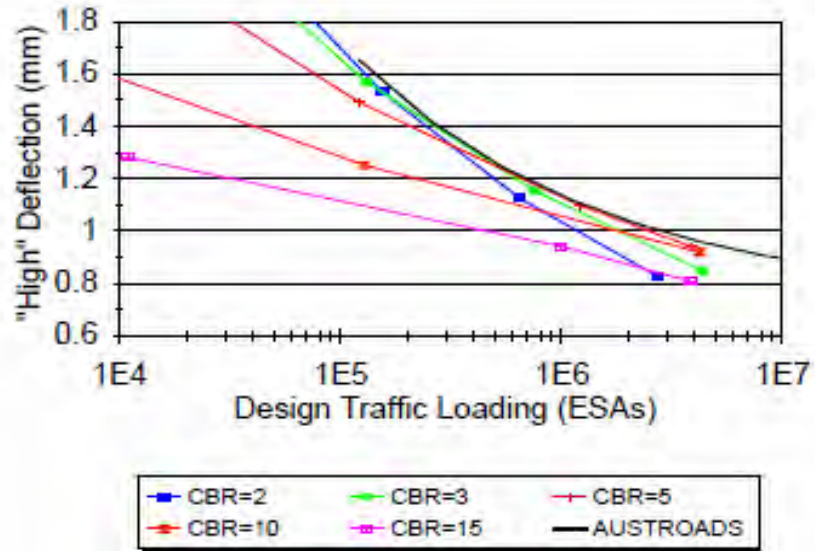


Figura 3.19. Relación entre “Alta” Deflexión con Viga Benkelman y tráfico de diseño para varios CBRs de subrasante.
Fuente: Austroads Technical Report AP-T98/08.

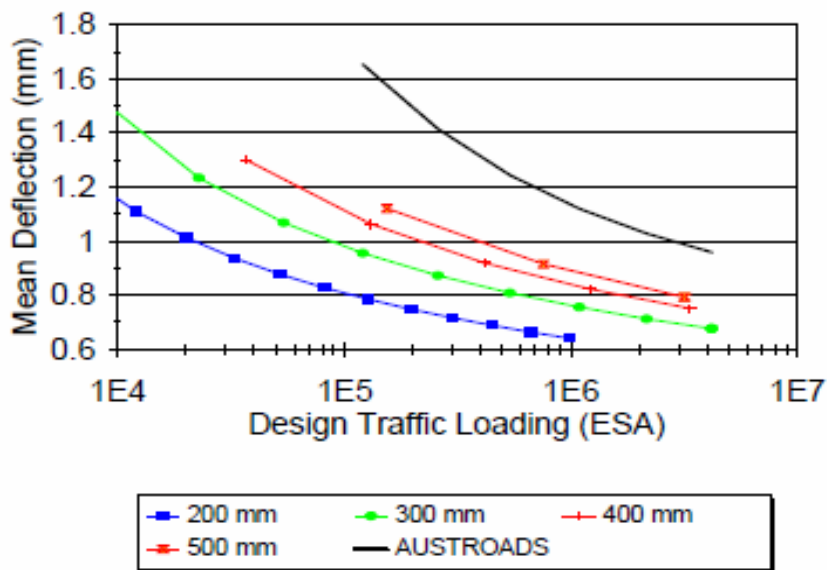


Figura 3.20. Medida de dependencia de deflexión promedio con Viga Benkelman en CBR de subrasante para varios espesores granulares.
Fuente: Austroads Technical Report AP-T98/08.



Tabla 3.03. Deflexión de diseño temprano para pavimentos granulares con sello negro

Design traffic two-way end-of-life CV/day	Design traffic one-way ESAs/20 years	1965 Scala allowable deflection (mm)	1969 NAASRA design deflection (mm)	1969 CRB Ddesign deflection (mm)	1975 CRB design deflection (mm)	1979 NAASRA design deflection (mm)
0-50	8×10^4	1.78	1.78		1.80	
50-150	3×10^5	1.40	1.40	1.27	1.30	1.36
150-450	1×10^6	1.02	1.02	1.14	1.10	1.14
450-1500	3×10^6	0.76	0.76*	1.02	1.00	0.98
1500-4500	1×10^7		0.64*	0.89	0.90	0.88
>4500	3×10^7		0.51*	0.76	0.80	0.83

Design deflections for asphalt-surfaced pavements.

Fuente: Austroads Technical Report AP-T98/08.



CAPÍTULO IV.- ESTABILIZACIÓN CON CLORURO DE MAGNESIO

4.1 INTRODUCCIÓN

En Chile, al igual que en la mayoría de los países en desarrollo, los caminos no pavimentados son el principal componente de la red vial, y están conformados por capas de rodadura de tierra o grava. Estos caminos son fundamentales para el desarrollo económico y social de tales países, ya que facilitan el acceso a zonas urbanas y rurales, y a centros de explotación de la industria forestal, minera y agrícola.

Como consecuencia de las solicitudes de tránsito y climáticas, junto a la falta de recursos para implementar programas de conservación adecuados, los caminos no pavimentados suelen deteriorarse rápidamente, generando diversos problemas, tales como:

- 1) Continuos requerimientos de conservación.
- 2) Contaminación de plantas y fuentes de agua debido a emisiones de polvo.
- 3) Dificultad para la integración social.
- 4) Deterioro de bienes públicos y privados.
- 5) Incremento de los costos de operación de los vehículos.
- 6) Disminución de la seguridad vial.

Para reducir el elevado costo social y económico asociado a los problemas generados por los caminos no pavimentados, es necesario implementar políticas que permitan mejorar gradualmente el estándar de estos caminos, siendo la estabilización química una opción factible técnica y económicamente en muchos países del mundo.

La Bischofita ha sido evaluada en diversos países como supresor temporal de polvo, técnica que consiste en aplicar un riego de salmuera (Bischofita más agua) sobre la superficie del camino, obteniéndose muy buenos resultados.

En cambio, la utilización de Bischofita como estabilizador químico (mezcla íntegra del suelo con Bischofita en todo el espesor de la capa de rodadura), ha sido evaluada en algunos países; donde se ha evaluado la efectividad en términos de su efecto sobre las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, reducción del deterioro superficial y durabilidad de caminos estabilizados con Bischofita.

4.2. ASPECTOS DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON BISCHOFITA

4.2.1 PROPIEDAD DE LA BISCHOFITA

La Bischofita es una sal cuya fórmula química es $MgCl_2 \cdot 6H_2O$. En cloruro de magnesio puro ($MgCl_2$) o en cristales de Bischofita está disponible a nivel mundial. La Tabla 4.01



muestra el análisis químico típico de la Bischofita producida en Chile, la cual tiene bajos contenidos de impurezas.

Tabla 4.01 Análisis Químico Típico de la Bischofita

Químico Chemical	Porcentaje Percentage
Mg	10,5
Cl	33,5
H ₂ O	52,0
K, Li, SO ₄ , Na, B	4,0 (máx.)

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.

El "compuesto activo" de la Bischofita es el cloruro de magnesio, el cual tiene diversas propiedades físicas que permiten su uso potencial como estabilizador químico de caminos no pavimentados, siendo las principales (3):

Delicuescencia

Es la capacidad de absorber la humedad del aire y disolverse en esta humedad para formar una solución líquida. El cloruro de magnesio absorbe agua cuando la humedad relativa es superior al 32%, proceso que cesa cuando la presión de vapor de la solución salina originada es igual a la presión de vapor de la atmósfera. Además, el cloruro de magnesio tiene la capacidad de retener la humedad absorbida por un tiempo prolongado, el cual depende de las condiciones climáticas prevalecientes. La cantidad de agua absorbida es proporcional a la superficie expuesta de la sal, a la humedad relativa del aire y a la concentración de MgCl₂ en solución.

Presión de vapor

La presión de vapor de soluciones de cloruro de magnesio es significativamente menor que la del agua a cualquier temperatura y humedad relativa, reduciendo la tasa de evaporación del agua hasta 3,1 veces.

Incremento de la tensión superficial del agua

Como se aprecia en la Figura 4.01, la adición de cloruro de magnesio al agua permite incrementar la tensión superficial de ésta hasta un 45%, lo cual reduce la tasa de evaporación del agua.

Temperatura de congelamiento

La temperatura de congelamiento de soluciones salinas es significativamente menor a la del agua pura. Esta es una de las propiedades más reconocidas de las sales, siendo por ello



ampliamente utilizadas en calles y carreteras para derretir la nieve y el hielo acumulado en la superficie de la calzada.

La Figura 4.02 muestra el diagrama de fase del cloruro de magnesio. La temperatura eutéctica es cercana a -32°C para una concentración de 22% de MgCl_2 .

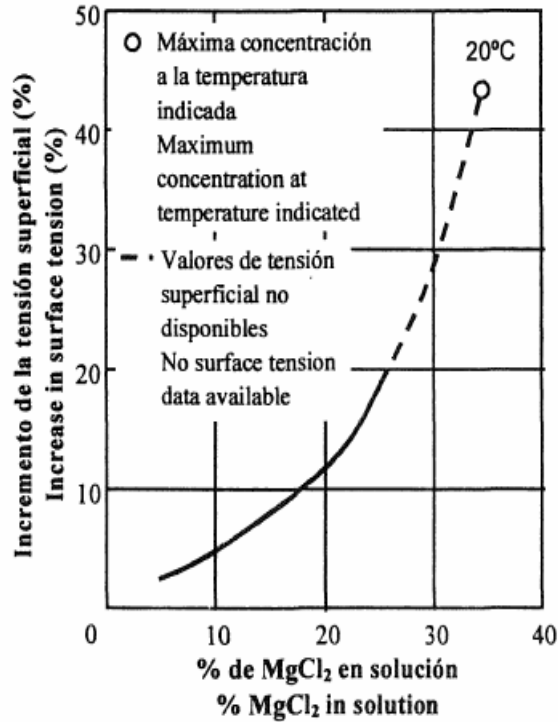


Figura 4.01: Incremento de la Tensión Superficial

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.

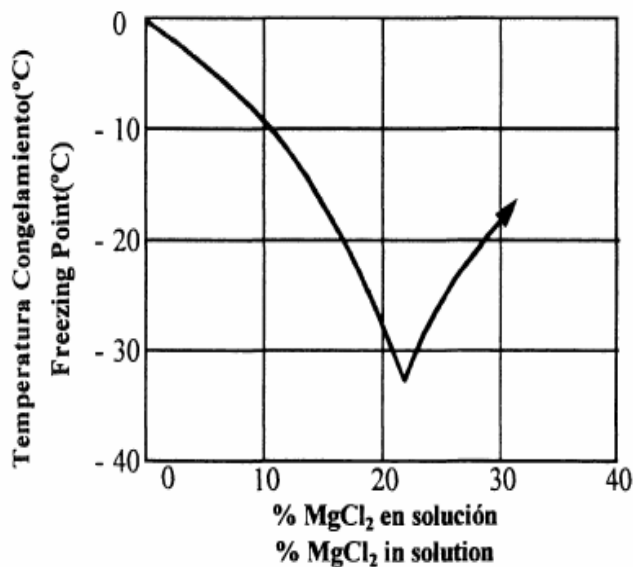


Figura 4.02: Diagrama de Fase del MgCl_2

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.



4.2.2 MECÁNISMO DE ESTABILIZACIÓN

Todas las propiedades activas del Cloruro de Magnesio ayudan a mejorar la estabilidad de las carpetas de rodado granulares y forman parte del mecanismo de estabilización. Su higroscopicidad y su presión de vapor más baja que la del agua permiten mantener la superficie húmeda, eliminando la liberación de partículas finas y la aparición de deterioros superficiales tales como: huecos, ahuellamiento, encalaminado, pérdida de áridos, y otros. Junto a esto, en climas secos, el ClMg_2 a menudo cristaliza en la fracción superior de la superficie de rodadura. Los cristales producidos cementan la superficie formando una “costra” dura que resiste la acción abrasiva del tránsito. En suelos no plásticos éste es básicamente el mecanismo de estabilización.

En suelos que contienen minerales de arcilla se produce un intercambio iónico, en que los iones de magnesio (Mg^{++}) de la solución de ClMag_2 son cambiados por iones de hidrógeno (H^+) y sodio (Na^+) presentes en estos minerales. La mejor repulsión, junto a una mayor tensión superficial que la del agua produce una amplificación de las fuerzas atractivas entre las partículas de arcilla, lo cual incrementa considerablemente la estabilidad del camino.

De acuerdo a lo indicado por Kézdi, el mecanismo de estabilización de la Bischofita consiste en:

Absorción y retención de humedad en la superficie de rodadura

La superficie de rodadura de un camino estabilizado con Bischofita absorbe el agua del aire durante las horas de mayor humedad relativa (principalmente durante la noche y en la mañana). Esta humedad es retenida durante un período de tiempo que depende de las condiciones climáticas. Así, se evita la pérdida de partículas finas en forma de polvo y la posterior pérdida de partículas más gruesas.

Cristalización de la Bischofita en la superficie de rodado

Bajo condiciones de baja humedad relativa, generalmente en la tarde en climas áridos, se produce la cristalización del cloruro de magnesio en la fracción superior de la superficie de rodado, cementando las partículas finas. Esto forma una costra dura que resiste la acción abrasiva del tránsito, y, como consecuencia, se reduce la tasa de deterioro y mejora la calidad de rodadura.

Aglomeración de partículas finas

La adición de Bischofita al suelo permite la aglomeración de las partículas finas, mecanismo que difiere si se trata de suelos no plásticos o de alta plasticidad. En suelos no plásticos y de baja plasticidad, tales como limos y arenas finas, el mecanismo de



aglomeración es consecuencia de la mayor tensión superficial de la solución salina que rodea las partículas. La película de agua que rodea las partículas finas de suelo es como un "puente elástico" que une partículas adyacentes, al agregar Bischofita al suelo mejora la resistencia de este puente elástico, ayudando a mantener unidas las partículas e incrementando la resistencia al corte.

En suelos de alta plasticidad con un alto contenido de arcillas, la adición de Bischofita produce la aglomeración de los minerales de arcilla debido al intercambio de iones. El intercambio de iones reduce la carga negativa del mineral de arcilla, y, por ende, el espesor de la película de agua adsorbida y la repulsión entre las partículas. La menor repulsión, junto a una mayor tensión superficial de la solución salina, tiene como consecuencia que las fuerzas de atracción (del tipo Van der Waals) entre las partículas se incrementen relativamente, causando su aglomeración.

Estabilidad frente ciclos de hielo/deshielo

Debido a que el cloruro de magnesio reduce el punto de congelamiento del agua del suelo, permite minimizar el daño de la capa de rodadura granular causado por los ciclos de hielo / deshielo.

4.3 EXPERIENCIA DE APLICACIÓN DE CLORURO DE MAGNESIO

La investigación fue dividida en dos partes: laboratorio y terreno.

4.3.1 INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO

Esta parte de la investigación consistió en la realización de diferentes ensayos de laboratorio para evaluar el efecto de distintas dosis de Bischofita sobre ciertas propiedades físicas y mecánicas de los suelos, obtenidos entre suelos tratados y no tratados con Bischofita. Los ensayos realizados fueron:

- 1) Límites de Atterberg.
- 2) Compactación.
- 3) Resistencia a la compresión no confinada.
- 4) Retención de humedad.

La Bischofita fue aplicada al suelo en forma de salmuera, y los contenidos de Bischofita utilizados en los ensayos fueron 3, 5 y 7% del peso del suelo seco.

Límites de Atterberg

Se ensayaron dos suelos, cuyo índice de plasticidad corresponde a 6 y 11 respectivamente. En general, no se apreciaron cambios significativos del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad debido a la adición de Bischofita. Estos resultados coinciden con los



encontrados por Singh y Das en un estudio de estabilización de suelos realizado con cloruro de sodio.

La causa de estos resultados es que la cantidad de arcilla y su plasticidad no son suficientes para que se produzca el intercambio de iones.

Compactación

La Tabla 4.02 muestra los suelos utilizados para evaluar el efecto de la Bischofita sobre la relación humedad densidad.

Los resultados del ensayo de compactación modificado son presentados en la Figura 4.03. Como se aprecia, en todos los suelos hay un incremento de la densidad máxima compactada seca (D. M. C. S.) cuando son mezclados con Bischofita, dependiendo del suelo y de la dosis de Bischofita, la magnitud del incremento varía entre 0,8 y 5,4% con respecto a la densidad del suelo no tratado.

La Bischofita afecta también el contenido de humedad óptima del suelo. La Figura 4.03 muestra una significativa reducción del contenido óptimo de humedad en suelos con Bischofita.

El incremento de la densidad y la reducción del contenido óptimo de humedad son atribuidos al efecto lubricador de la solución salina, como consecuencia de la mayor tensión superficial de la solución de Bischofita.

Tabla 4.02. Propiedades de los suelos para el ensayo de compactación

Tamiz Sieve size	Porcentaje que pasa Percent passing				
	Suelo 1 Soil 1	Suelo 2 Soil 2	Suelo 3 Soil 3	Suelo 4 Soil 4	Suelo 5 Soil 5
3"		100			
2 1/2"		96			100
2"	100	95		100	93
1 1/2"	98	94		98	90
1"	96	92	100	82	85
3/4"	93	89	99	74	83
3/8"	86	83	96	56	75
Nº4	78	75	92	46	69
Nº10	69	66	84	35	59
Nº40	47	47	48	21	33
Nº200	28	24	16	9	13
Límite Líquido (%) Liquid Limit (%)	24	19	---	27	---
Límite Plástico (%) Plastic Limit (%)	12	15	---	14	---
Índice de Plasticidad Plasticity Index	12	4	NP	13	NP
Clasificación/Classification					
AASHTO	A-2-6	A-1-b	A-1-b	A-2-6	A-1-b
USCS	SC	SM - SC	SM	GW - GC	SM

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.



Resistencia a la compresión no confinada (CNC)

El propósito de este ensayo fue evaluar indirectamente y en forma relativa el efecto de distintos contenidos de Bischofita sobre la capacidad de soporte del suelo.

Cómo la Bischofita actúa básicamente sobre la fracción fina de los suelos, sólo se utilizaron suelos bajo el tamiz ASTM N° 4. En la Tabla 4.03 se indican las principales características de los suelos ensayados.

Se prepararon probetas de suelo sin Bischofita, y con dosis de 3, 5 y 7% de Bischofita. Para un mismo suelo, las probetas fueron preparadas con el mismo contenido de humedad y al 93% de la D.M.C.S. del suelo sin Bischofita, esto con el propósito de minimizar el efecto de estas variables sobre la resistencia a la CNC del suelo.

Las probetas fueron ensayadas después de un período de curado a 0,7 y 14 días en una cámara climatizada a una temperatura de $20 \pm 1,0$ °C y humedad relativa de $26 \pm 6\%$. La Figura 4.04 muestra las curvas de tendencia de resistencia para distintos contenidos de Bischofita de probetas a 14 días de curado. En éstas se aprecia que en todos los suelos se produce un incremento de la resistencia para un cierto contenido de Bischofita. Como se observa no hay una relación clara entre la magnitud del incremento de la resistencia y las propiedades del suelo.

Además, se observa que existe poca variabilidad en la resistencia a la CNC para las distintas dosis de Bischofita, especialmente para 3 y 5% de Bischofita.

Tabla 4.03. Propiedades de los suelos para el ensayo CNC

Tamiz Sieve size	Porcentaje que pasa Percent passing						
	Suelo - Soil						
ASTM	1	2	3	4	5	6	7
N°4	100	100	100	100	100	100	100
N°10	92	97	94	98	98	97	94
N°40	50	58	63	25	42	26	61
N°200	15	25	36	15	25	15	35
Límite Líquido (%) Liquid Limit (%)	---	---	---	25	25	26	26
Límite Plástico (%) Plastic Limit (%)	---	---	---	19	19	15	15
Índice de Plasticidad Plasticity Index	NP	NP	NP	6	6	11	11
Clasificación - Classification							
AASHTO	A-1-b	A-2-4	A-4	A-1-b	A-1-b	A-2-6	A-2-6
USCS	SM	SM	SM	SM - SC	SM - SC	SC	SC

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.

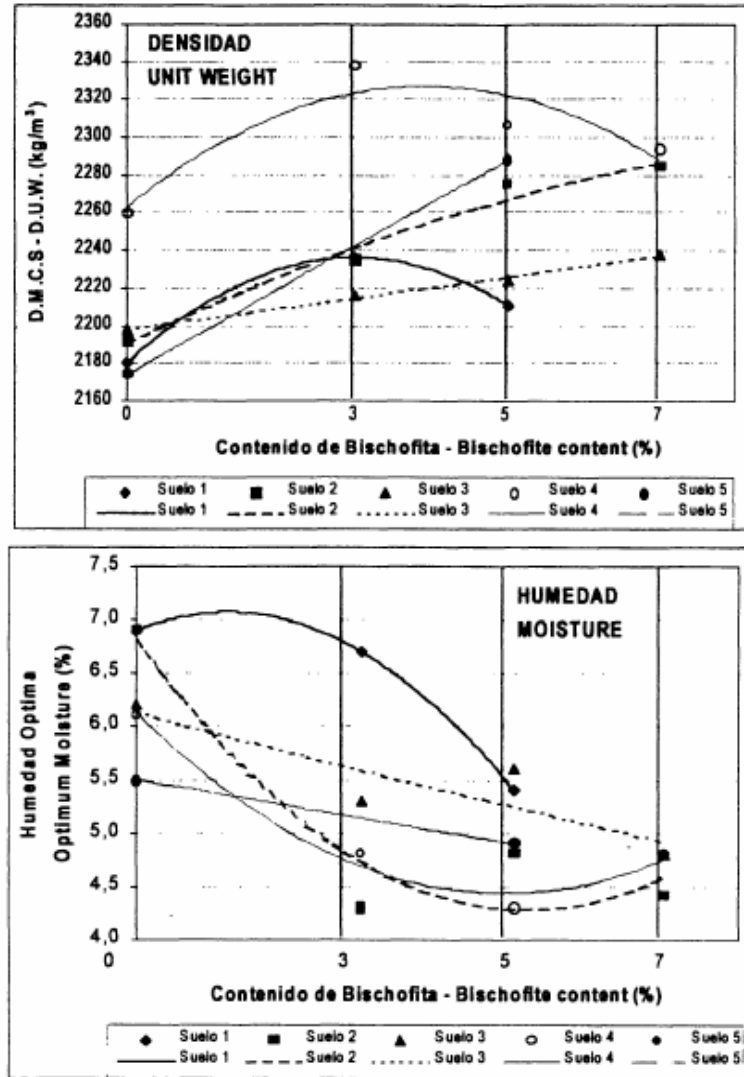


Figura 4.03: Resultados del ensayo de compactación

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.

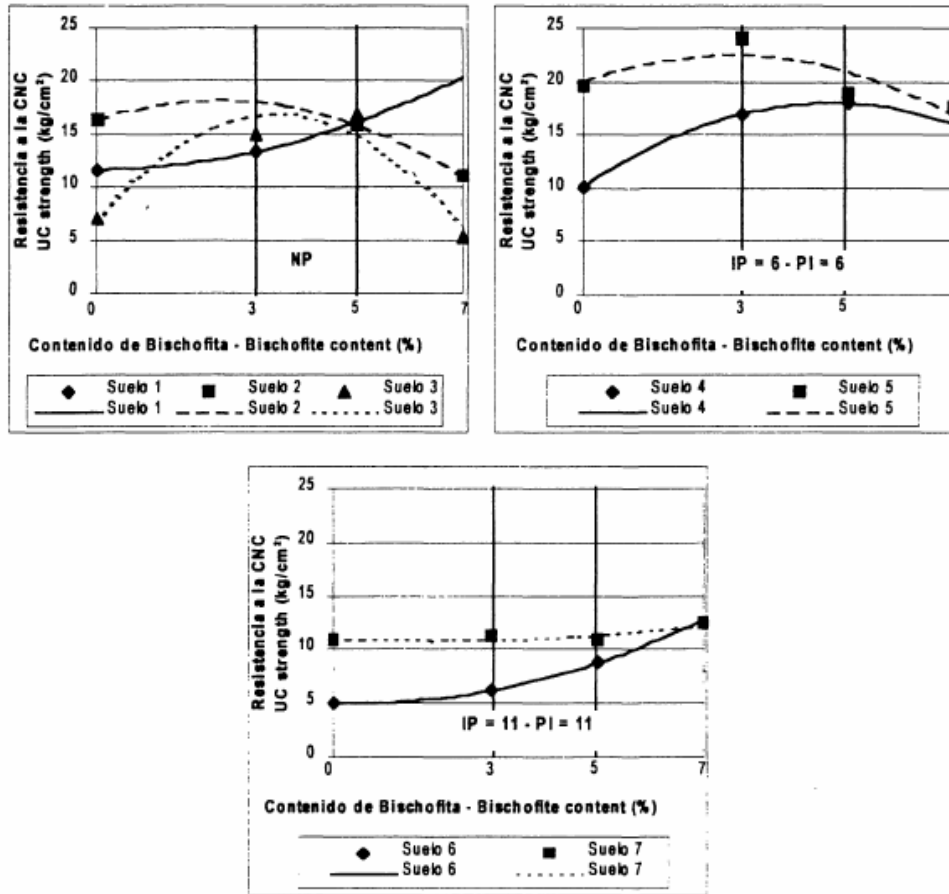


Figura 4.04: Resistencia a la compresión no confinada (14 días de curado)

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.

Retención de humedad

La Figura 4.05 muestra el contenido de humedad de los mismos suelos utilizados en el ensayo de CNC después de un período de curado de 14 días. Se observa que suelos tratados con Bischofita presentan un mayor contenido de humedad que los suelos sin Bischofita y que el contenido de humedad es mayor, mientras mayor es la dosis de Bischofita. Esto muestra la capacidad de la Bischofita de retener la humedad, incluso bajo condiciones de humedad relativa muy baja. Este hecho se debe principalmente a la menor presión de vapor de una solución de Bischofita.

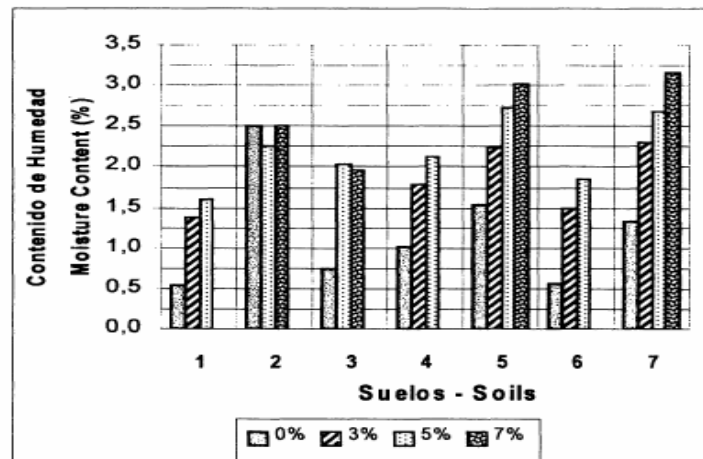


Figura 4.05: Contenido de humedad de los suelos (14 días de curado)

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.

4.3.2 INVESTIGACIÓN EN TERRENO

La investigación en terreno consistió en evaluar periódicamente proyectos de caminos y tramos de prueba estabilizados con Bischofita. El propósito de estas evaluaciones fue determinar el comportamiento funcional y estructural en terreno de capas de rodadura estabilizadas con Bischofita bajo distintas condiciones climáticas, utilizando diferentes tipos de suelos y dosis de Bischofita.

Proyectos de caminos estabilizados con Bischofita

Descripción

Los proyectos de caminos estabilizados con Bischofita corresponden a caminos de grava, construidos utilizando principalmente el material de la superficie de rodado existente y dosis de Bischofita cercanas al 5%.

Se estudiaron tres proyectos:

. Camino Internacional San Francisco (50 km): construido hace dos años, se ubica en un clima árido, donde la humedad relativa promedio es superior al 70%, pero durante la tarde puede ser tan baja como 30%. El volumen de tránsito es cercano a 200 veh/día, y está conformado por un alto porcentaje de vehículos pesados (superior al 35%). La capa de rodadura está constituida por un suelo A-1 (SW-SM), y tiene un espesor de 15 cm.

. Camino Barranquilla (32 km) y Camino Puerto Viejo (38 km): fueron construidos hace un año. Están ubicados en un clima árido costero, donde la humedad relativa promedio es superior al 70%. El tránsito está constituido por vehículos ligeros (150 veh/día). La capa de rodadura tiene un espesor de 10 cm, y está conformada por distintos tipos de suelos (A-1-b,



A-2-4 y A-2-6). La velocidad de operación de los vehículos era menor a 50 km/h en la situación original (camino no estabilizado con Bischofíta).

Evaluación

El comportamiento de todos los proyectos de caminos estabilizados con Bischofíta ha sido excelente, casi en toda su extensión presentan una carpeta de rodado estable, sin liberación de polvo ni formación de baches, corrugaciones y pérdida de material, presentando, además, una excelente calidad de rodadura que permite una velocidad de circulación de 100 km/h.

La estabilización con Bischofíta del camino Internacional San Francisco fue efectiva por más de 2 años sin ningún tipo de conservación. Después de este periodo, el 80% del camino se ha comportado como un camino de grava sólo estabilizado mecánicamente.

Durante 1 año, la Bischofíta ha sido efectiva en los caminos de Barranquilla y Puerto Viejo. Estos, sólo presentan algunos tramos con baches y pérdida de material (menos del 10% de la extensión total). Estos deterioros son atribuidos a la variabilidad de un proceso constructivo poco controlado (dosificación de Bischofíta, homogeneización del suelo, compactación, otros).

El efecto de las lluvias (hasta 40 mm al año) fue evaluado. Se observó que tramos conformados por arcilla presentaron un tipo particular de deterioro: la fracción superior de la capa de rodadura, en un espesor menor a 10 mm, se saturó con agua y el material era removido por los neumáticos de los vehículos (Figura 4.06). Pero, en ningún caso, las lluvias afectaron la estabilidad estructural de la capa de rodadura, sin embargo, la superficie se tomó resbaladiza. En tramos conformados por suelos no plásticos, el deterioro descrito no se manifestó, y la lluvia tampoco afectó la estabilidad estructural.

Hay que notar que los tramos deteriorados en los caminos de Barranquilla y Puerto Viejo no producen emisiones de polvo. Y aunque afectan moderadamente la calidad de rodadura, la velocidad de operación segura es superior a 80 km/h. De acuerdo a la situación descrita, los autores estiman que la efectividad de la Bischofíta se prolongará por 8 meses o más.



Figura 4.06: Material fino suelto en suelos arcillosos

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.

Tramos de Prueba

Descripción

Corresponden a capas de rodadura estabilizadas con Bischofita cuya extensión es de 500 m. Además se construyeron tramos patrones (no estabilizados con Bischofita) para comparar el comportamiento funcional y estructural. Se construyeron cuatro tramos de prueba en un año: Los Choros, Ray Rock, San Pedro de Atacama y Chiu-Chiu. Dependiendo del tramo de prueba, el ancho de calzada variaba entre 6 y 7 m, y el espesor de la capa de rodadura entre 10 y 15 cm.

Los tramos de prueba de Los Choros y Ray Rock presentan una alta humedad relativa promedio, aunque durante la tarde ésta puede ser inferior al 40%. Los tramos de San Pedro y Chiu-Chiu están localizados a gran altitud y en una zona de muy baja humedad relativa en el día y la noche.



Tabla 4.04. Características de los tramos de prueba

ASTM	Tramo de prueba/Test road section			
	Los Choros	Ray Rock	San Pedro	Chiu-Chiu
	Porcentaje que pasa/Percent passing			
2"	100			
1 1/2"	98	100	100	100
1"	82	99	94	99
3/4"	74	97	90	98
3/8"	56	91	78	91
Nº4	46	77	58	81
Nº10	35	62	51	71
Nº40	21	41	37	49
Nº200	9	14	28	18
Límite Líquido/Liquid Limit	27		27	
Límite Plástico/Plastic Limit	14		13	
Índice de Plasticidad/Plasticity Index	13	NP	14	NP
Clasificación/Classification				
AASHTO	A-2-6	A-1-b	A-2-6	A-1-b
USCS	GW - GC	SM	GC	SM
Contenido Bischofita (%) Bischofite content (%)	4,5	4,5	2,0 / 3,3	4,5
Características del tránsito/Characteristic of traffic				
Volumen (veh/día)/Volume (veh/día)	< 50/ > 150 ⁽¹⁾	> 250	45	80
Tipo	Ligero	Ligero/Pesado	Ligero	Ligero
Type	Light	Light/Heavy	Light	Light
Clima/Weather⁽²⁾				
Tipo	Semi-árido	Árido costero	Árido	Árido
Type	Semi-arid	Arid-marine	Arid	Arid
Lluvia/Rain (mm)	103,4	4,2	3,3	0,0
Temperatura Promedio (°C) Average Temperature (°C)	13,6	15,0	10,0 ⁽³⁾	10,4 ⁽³⁾
Humedad Relativa Promedio (%) Average Relative Humidity (%)	83 ⁽⁴⁾	78 ⁽⁴⁾	25	23
NOTAS/NOTES:				
(1) Flujo vehicular: 150 veh/día Octubre-Marzo. 50 veh/día el resto del año Volume of vehicles: 150 veh/day October-March. 50 veh/day the rest of year				
(2) La lluvia, temperatura promedio y humedad relativa promedio corresponden al periodo entre la fecha de construcción y la evaluación final Rain, average temperature and average relative humidity correspond to time between the construction date and the final evaluation date				
(3) Variación de temperatura entre el día y la noche es cercana a 20°C Variation of temperature between day and night is near to 20°C				
(4) En verano, humedad relativa desciende a menos de 40% durante la tarde In summer, relative humidity descends to less than 40% during the afternoon				

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.

La Tabla 4.05 presenta la evaluación de los distintos tramos de prueba estabilizados con Bischofita y tramos patrones. Esta evaluación se basa en una escala de 0 (ausencia del deterioro) a 5 (deterioro severo que causa una considerable reducción de la velocidad de circulación) para cada tipo de deterioro.



En la Tabla 4.05 se observa que en todos los tramos de prueba, la utilización de Bischofita permite eliminar la liberación de polvo, encalaminado y textura gruesa, y reducir la formación de huecos y pérdida de material.

En cambio los tramos patrones presentan estos deterioros con distintos niveles de severidad.

En los tramos de Chiu-Chiu y San Pedro de Atacama (localizados en un clima muy seco) se produjo el agrietamiento de la superficie de rodadura del tramo de prueba (Figura 4.07). La causa probable del agrietamiento es la retracción del material granular debido al incremento de la tensión superficial junto a una muy baja humedad relativa prevaleciente en estos lugares.

En estos tramos, aunque no existe la humedad suficiente para que la superficie de rodadura la absorba, no hay liberación de polvo, baches ni corrugaciones.

Esto es consecuencia del mecanismo de cementación de partículas finas en la superficie de rodadura (por cristalización de la Bischofita).

Todos los tramos de prueba presentan una excelente calidad de rodadura que permite circular a una velocidad de 100km/h.

Tabla 4.05. Evaluación de los tramos de prueba y tramo patrón

		Tramo Road Section	Tipo de deterioro/ Type of deterioration ⁽¹⁾				
			Baches Potholes	Calaminas Corrugations	Material suelto Loose material	Polvo Dust	Textura gruesa Coarse Texture
Prueba Test	Los Choros	----	2	0	0	0	0
	Ray Rock	----	1	0	0	0	0
	San Pedro de Atacama	1 ⁽²⁾	2	0	1	0	0
		2 ⁽³⁾	1	0	0	0	0
	Chiu-Chiu	----	1	0	0	0	0
Patrón Control	Los Choros	⁽⁴⁾	3	1	3	3	2
	Ray Rock	----	----	----	----	----	----
	Sn. Pedro de At.	----	2	0	1	0	0
	Chiu-Chiu	----	3	3	3	4	2

NOTAS/NOTES:

- (1) Período en servicio de cada tramo antes de la evaluación / Time in service of each road section before evaluation
 Los Choros: 12 meses / months - Ray Rock: 9 meses / months - San Pedro de Atacama: 6 meses / months - Chiu-Chiu: 5 meses / months
- (2) Dosis de Bischofita igual a 2% - Bischofite content equal to 2%
- (3) Dosis de Bischofita igual a 3,3 % - Bischofite content equal to 3,3%
- (4) Tramo patrón con imprimación (MC-30) - Control road section with prime coat (MC-30)

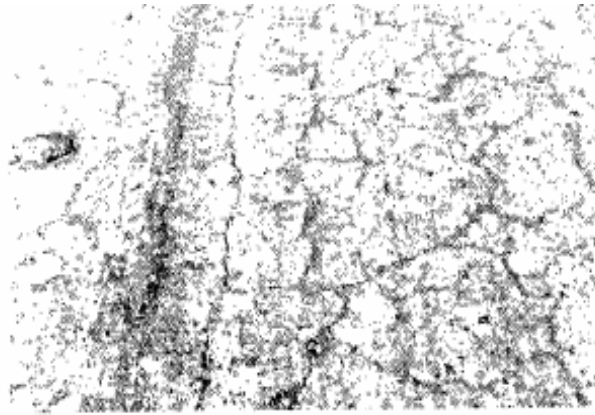


Figura 4.07: Agrietamiento de la superficie de rodadura

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.

Como ejemplo, la Figura 4.08 muestra el tramo de prueba y patrón de Los Choros después de 1 año en servicio, en general la situación es similar para el resto de los tramos de prueba y proyectos de caminos estabilizados.

De acuerdo a la situación de los tramos de prueba al momento de la evaluación, los autores esperan que la efectividad de la Bischofita se prolongará, al menos, por un año más.

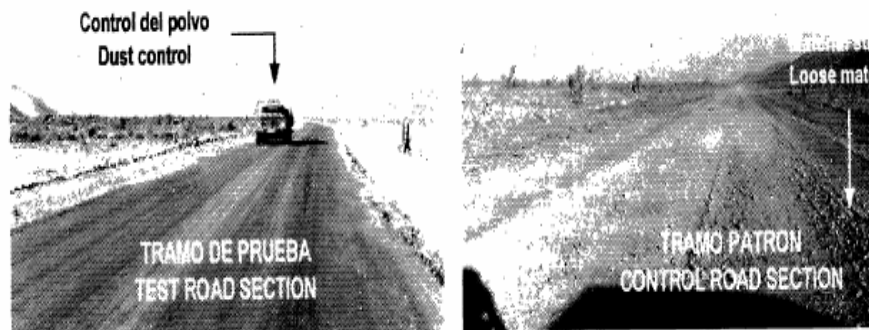


Figura 4.08: Estado del tramo de prueba y tramo patrón

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.

4.3.3 OTROS RESULTADOS

Como consecuencia de las investigaciones de terreno y laboratorio se obtuvieron otros resultados importantes, los principales son:

Dosis de Bischofita

La dosis de Bischofita depende de las propiedades plásticas y contenido de finos del suelo. De acuerdo a los ensayos de laboratorio de resistencia a la CNC, la dosis óptima de Bischofita para la mayoría de los suelos estudiados debería ser 3 a 5%. Por otro lado, los



resultados de terreno muestran una tendencia a que suelos no plásticos se comportan bien con dosis de Bischofita cercanas al 5%, independiente del porcentaje de finos del suelo.

Los suelos más plásticos se mantienen mejor con dosis de Bischofita cercanas al 3%. En éstos se aprecia una tendencia a que con mayor contenido de finos se requieren dosis más bajas de Bischofita. Este hecho es debido a que suelos más plásticos poseen la cohesión necesaria para mantener la capa de rodado estable en climas áridos. En este caso, el uso de la Bischofita permite mantener la superficie húmeda, de tal manera que se reduce la tasa de deterioro del camino.

No se encontró una relación clara entre porcentaje de finos y dosis de Bischofita para suelos plásticos, por ello, la Tabla 4.06 muestra las dosis de Bischofita recomendadas solamente de acuerdo al índice de plasticidad del suelo.

Banda granulométrica

De acuerdo a las especificaciones existentes para materiales granulares que conforman capas de rodadura, y a los resultados de la presente investigación, se estableció la banda granulométrica recomendada para ser utilizada en capas de rodadura granulares estabilizadas con Bischofita, la cual se muestra en la Tabla 4.07.

El límite líquido máximo recomendado es 35%. El índice de plasticidad máximo igual a 15 para climas muy áridos, y 6 para climas húmedos.

Tabla 4.06. Dosis de Bischofita

IP PI	Dosis de Bischofita (%) Bischofite content (%)
NP - 3	4 - 5
4 - 8	3 - 5
9 - 15	3 - 4

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.



Tabla 4.07. Granulometría recomendada para superficies granulares de rodado

Tamiz (mm) Sieve size (mm)	Porcentaje que pasa Percent passing
50,0	100
25,0	80-100
10,0	50-100
4,75	35-85
2,00	25-70
0,425	15-45
0,080	8-25

Fuente: Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.

4.4 COMO AGENTE ESTABILIZADOR EN SUPERFICIE DE RODADURA GRANULAR

La estabilización con Cloruro de Magnesio consiste básicamente en preparar una dilución de cloruro de magnesio con agua, formándose de este modo una solución (salmuera) la cual es mezclada con el suelo y conformar la superficie de rodadura. Los caminos estabilizados con Cloruro de Magnesio se caracterizan por presentar una superficie de color oscuro en presencia de humedad y tránsito.

La estabilización es recomendable realizarla en espesores de rodadura compactada entre 10 a 25 cm.

El espesor sin duda, va a depender de las condiciones del tránsito solicitante, es decir del volumen TMDA y de su composición estratigráfica; estas dos variables sumadas a las características del suelo de subrasante, serán la entrada para el diseño estructural de este tipo de carpetas, lo que en definitiva entregará el espesor adecuado para el flujo vehicular proyectado en su vida útil.

Para el diseño estructural, actualmente existen métodos o guías de Diseño, tales como AASHTO, AUSTRROADS, TRL, USACE y MTC. La funcionalidad de este tipo de solución es obtenida a través de la cohesión y propiedades que otorga el Cloruro de Magnesio.

El Cloruro de Magnesio mejora en el tiempo la estabilidad del camino y proporciona una superficie firme muy bien cohesionada con una excelente funcionalidad otorgando una superficie de rodadura suave, muy parecida a la de los caminos pavimentados, obteniendo un IRI entre 3 y 4, que en algunos casos puede ser menor dependiendo de la calidad del operador de motoniveladora.



Para el mantenimiento rutinario de esta superficie, se requiere de un riego anual con salmuera bien dosificada, de modo que permita restituir el lavado de la sal que se genera en algunos milímetros de la superficie de la carpeta, producto de precipitaciones. El espesor del lavado depende de la intensidad de las precipitaciones anuales y la corrección se efectúa con una cantidad de salmuera que varía entre 2 a 5 litros por metro cuadrado, con concentraciones cercanas al punto de saturación es decir rica en Bischofita ($\text{Cl}_2\text{Mg}\cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Este sistema de mantenimiento permite la superficie bien cohesionada para evitar la eliminación de los finos a través del polvo y desprendimientos de material que desmejora la funcionalidad de la superficie de rodadura.

Posterior al mantenimiento rutinario se deben efectuarse mantenimientos periódicos con una frecuencia de entre 3 a 5 años. Estos mantenimientos se deben realizar cuando existe desprendimiento de material generando una superficie irregular que desmejora la funcionalidad, debiendo ser intervenida a fin de evitar un deterioro mayor y su destrucción. La intervención que se realiza consiste en escarificar la carpeta existente y recebar con material granular adecuado que restituya la granulometría e incluso en algunos casos la mejore para evitar el desprendimiento. Posterior a estas operaciones se debe homogenizar el material, luego se riega con riegos sucesivos de salmueras con una concentración suficiente para obtener la dosificación requerida, lo que sin dudas requiere de menor contenido respecto a la cantidad requerida en la construcción de la carpeta de rodado. En este sentido es necesario hacer presente que el Cloruro de Magnesio a diferencia de los asfaltos no degrada por lo que se reactiva sólo con el riego permitiendo ser reciclada.

Terminado el riego y la homogenización se debe extender para conformar la geometría transversal y longitudinal del camino, posteriormente se compacta hasta lograr la densidad especificada, quedando recuperada la carpeta en condiciones similares o superiores a la construcción.

La aplicación del Cloruro de Magnesio debe efectuarse a materiales que sean mecánicamente estables.

La granulometría según ROADMAG (Cloruro de Magnesio Hexahidratado) debe cumplir con lo indicado en la tabla 4.08. En suelos que no cumplen estos requerimientos se deben realizar pruebas de terreno para evaluar su comportamiento para ver si es factible aplicarla o corregir la granulometría con la finalidad de obtener una carpeta acorde a las expectativas de los usuarios.



Tabla 4.08. Granulometría

TAMIZ (mm)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
25	100
19	85 – 100
9.5	65 – 90
4.75	55 – 85
2.00	40 – 70
0.425	25 – 45
0.075	10 – 25

Fuente: ROADMAG

La dosis de Bischofita se aplica como porcentaje en peso del suelo seco, varía entre 3 y 7 por ciento, dependiendo de las características del material granular, decir, del porcentaje de finos, del Índice Plasticidad y de las condiciones climáticas.

La tabla 4.09 indica las dosis promedio de acuerdo a la plasticidad del material granular, el extremo superior de las dosis corresponde a los suelos con mayor contenido de finos.

Tabla 4.09. Dosis de Bischofita

PLASTICIDAD (IP)	DOSIS (% EN PESO)
NP	3.5 – 4.5
IP < 6	2.5 – 3
6 ≤ IP ≤ 15	1.6 – 2.5

Fuente: ROADMAG

4.5 VENTAJAS ESTABILIZACIÓN CON BISCHOFITA

Las propiedades del Cloruro de Magnesio proveen varios beneficios al utilizarla como agente estabilizador de carpetas de rodado, tanto en la etapa de construcción como durante la vida de servicio del camino. A continuación se dan algunas ventajas más destacables:

4.5.1 TRABAJABILIDAD DEL MATERIAL GRANULAR

La mayor tensión superficial que tiene una solución de Cloruro de Magnesio comparada con el agua mejora la lubricación de las partículas del suelo y por ende su trabajabilidad, permitiendo obtener mayores densidades con el mismo esfuerzo de compactación que cuando se usa solamente agua. Además, como el CIMag2 posee moléculas de agua que se disuelven en la solución, la humedad óptima de compactación se reduce. La M.D.S. de



todos los suelos tratados con Cloruro Magnesio es mayor a la del suelo no tratado, en general la humedad óptima disminuye con el aumento de la dosis de Cloruro de Magnesio un material dado.

Estas características del CIMag2 permiten que se realice un menor esfuerzo de compactación o menor número de pasadas de rodillo para lograr obtener la densidad especificada. Esto, junto con la reducción de la cantidad requerida de agua de compactación, genera ahorros que permiten compensar en cierta medida el costo adicional que involucra la utilización del CIMag2.

4.5.2 CONTROL DE LA HUMEDAD ÓPTIMA

Como resultado de su capacidad higroscópica, menor presión de vapor y mayor tensión superficial que la del agua, la solución de Cloruro de Magnesio inhibe la evaporación y mantiene la humedad óptima por más tiempo.

4.5.3 UNIFORMIDAD DE LA SUPERFICIE DE RODADO

La superficie de rodadura de caminos estabilizados con Cloruro de Magnesio permanece húmeda gran parte del día cuando las condiciones atmosféricas son favorables ($HR > 30\%$). Al pasar los vehículos producen una acción de compactación adicional que densifica más el material de la superficie, formando una “costra superficial” similar a la que se origina por cristalización de las sales. Esto mejora la resistencia a la acción abrasiva del tránsito y el clima. Por consiguiente, se obtiene una superficie cuya calidad de rodado es más suave, muy similar a la de caminos pavimentados, reduciendo los costos de operación de los vehículos.

4.5.4 SUPRESIÓN DEL POLVO GENERADO POR EL PASO DE LOS VEHÍCULOS.

Al permanecer la superficie del camino húmeda las partículas finas no son liberadas en forma de polvo. La reducción del polvo supera el 95 por ciento, siendo en la mayoría de los casos eliminado por completo, de esta manera se mejoran los niveles de visibilidad.

4.5.5 MEJORA LA CALIDAD DE VIDA EN LA ZONA ALEDAÑA AL CAMINO

Con la disminución del polvo, la contaminación en las cercanías del camino es prácticamente casi nula, esto conlleva a disminuir las enfermedades respiratorias como la neumoconiosis a las personas diariamente deben inhalar el polvo generado por los vehículos, disminuye el daño a los bienes inmuebles, muebles y artículos electrónicos, disminuye en menor grado el ruido y en general la contaminación ambiental contribuyendo al desarrollo de la agricultura y la vegetación, etc.



4.5.6 REDUCE EL DETERIORO DEL CAMINO.

Como la adición de Cloruro de Magnesio permite obtener una superficie de rodadura firme y estable, la formación de deterioros superficiales disminuye considerablemente, por lo que la frecuencia de las intervenciones se reduce considerablemente, al igual que todos los costos asociados a la conservación del camino.

4.5.7 CONTRIBUYE A REDUCIR EL PUNTO DE CONGELACIÓN DEL AGUA

Como el cloruro de magnesio reduce el punto de congelación del agua presente en el suelo, la aplicación de CIMag2 sirve para minimizar los daños derivados del cambio de volumen del suelo generado por los ciclos de hielo – deshielo.

4.6 DESVENTAJAS EN LA APLICACIÓN DE LA BISCHOFITA

En general el CIMag2 aplicada en la estabilización de carpetas granulares no presenta desventajas que sean claramente definidas y que puedan afectar seriamente su funcionalidad. A continuación se citan algunos de estos efectos:

4.6.1 BAJA CORROSIÓN

Esta sal al igual que otras, es bastante menos corrosiva que el cloruro de sodio, lo que se puede observar en el nivel de oxidación de los metales al estar en contacto con ella. Pero si se toma en cuenta la concentración que se distribuye en una superficie de rodadura en no más del 4,5 % en peso y que después de aplicado prácticamente es casi inofensiva para los vehículos.

4.6.2 SUPERFICIE RESBALADIZA

En los momentos que la humedad ambiente sea alta alrededor del 90 % la superficie de los caminos que contienen Cloruro de Magnesio pueden tornarse resbaladizos dependiendo de la granulometría empleada para la confección de la carpeta, sobre todo si presentan un grado de plasticidad superior a 5%. Para controlar el efecto resbaladizo se debe restringir el tráfico y en climas lluviosos se debe colocar un sello protector para evitar el efecto resbaladizo.

4.6.3 EFECTOS EN LA SALUD DE LAS PERSONAS

Respecto a la salud, no se sabe los efectos de esta sal en las personas, pero la experiencia en otros países indica que aun usando mayores concentraciones de cloruro de sodio que concentraciones de Cloruro de Magnesio no ha sido dañino para la salud.



4.7 RESUMEN DE BONDADES DE ESTABILIZACIÓN CON CLORURO DE MAGNESIO

De la información presentada en este capítulo como estabilización con Cloruro de Magnesio en caminos no pavimentados, se establecen las siguientes bondades:

- En proyectos donde se ha empleado el Cloruro de Magnesio, con un adecuado proceso constructivo, la superficie granular de rodadura se ha mantenido efectiva por mas de 2 años, sin ningún tipo de conservación.
- En proyectos donde el cloruro de magnesio se ha mantenido efectiva durante 1 año, se ha debido a los deterioros presentados en la superficie de rodadura, atribuibles a una variabilidad de un proceso constructivo poco controlado, tales como: dosificación de Cloruro de Magnesio, homogenización de la capa granular, compactación, otros.
- La aplicación de Cloruro de Magnesio como estabilizador en caminos no pavimentados, permite eliminar liberación de polvo, encalaminado y reducir la formación de huecos y pérdida de material superficial.
- El Cloruro de Magnesio produce el mecanismo de cementación de las partículas finas en la superficie de rodadura (por cristalización de la sal).
- Los caminos donde se ha empleado Cloruro de Magnesio, presentan una excelente calidad de rodadura, que permite circular cuando no hay un control adecuado hasta 100 km /h.
- En caminos estabilizados, con una adecuada calidad del operador de la motoniveladora se han obtenido valores de IRI entre 3 y 4 (excelente funcionalidad).
- Como mantenimiento rutinario de la superficie de rodadura estabilizada con Cloruro de Magnesio, se requiere un riego anual con una dosificación entre 2 a 5 litros por metro cuadrado, de modo que permite restituir el lavado de la sal que se genera en la superficie producto de las precipitaciones.
- El mantenimiento periódico se debe efectuar con una frecuencia de 3 a 5 años, lo cual se debe realizar cuando existe desprendimiento de material generando una superficie irregular, que afecta la funcionalidad de la vía.



CAPÍTULO V.- APLICACIÓN Y MONITOREO

5.1 METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE SUPERFICIE ESTABILIZADA

5.1.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad no existe una metodología de evaluación de superficie de rodadura estabilizada, correspondiente a una carretera no pavimentada en nuestro medio; por lo cual el tema de tesis propone y aplica una metodología de evaluación, mediante el monitoreo de evaluación ejecutado a la superficie estabilizada en la Vía de Acceso a Caral tramo km 5+000 – km 15+000.

A continuación se pasa a detallar la metodología de evaluación, la cual consiste en una evaluación funcional y estructural de la superficie de rodadura.

5.1.2 EVALUACIÓN FUNCIONAL

Evaluación de deficiencias que afectan condición o estado de la superficie de rodadura y por ende la serviciabilidad y los costos del usuario; mediante parámetros de la Rugosidad y Relevamiento de Fallas.

a) Rugosidad

Para la medición de la Rugosidad (IRI) se ha empleado el equipo Merlin (figura 5.02), designado como un equipo de clase 2, para lo cual se siguen los siguientes pasos:

- Paso 1. Para la ejecución de ensayo se requiere de 02 personas, el operador que conduce y realiza lecturas y un auxiliar que las anota.
- Paso 2. Las mediciones se efectúan siguiendo la las huellas externa y interna de los carriles de la vía y la Rugosidad se calcula con la siguiente expresión: $Rugosidad = 0.593 + 0.0471 * D$.

El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad aproximada de 2 km /h.

- Paso 3. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio de la vía en ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar (ver figura 5.01).

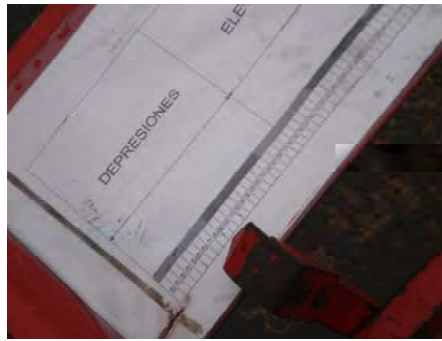


Figura 5.01: Tablero de equipo Merlin

- Paso 4. El operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar la 200 lectura.

- Paso 5. Las 200 lecturas son anotadas en la planilla de rugosidad, tal como se muestra en la figura 5.10.

- Paso 6. Luego se procede a calcular el rango “D” el cual es el ancho del histograma obtenido en la planilla de rugosidad; para lo cual se descarta 10% de datos que corresponden a posiciones del puntero poco representativas; en la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior y 5% (10 datos) del extremo superior.

De la figura 5.10, cada cuadrado equivale a 5 mm, por lo tanto $D = 18 \cdot 5 + 1/5 \cdot 5 = 91$ mm.

- Paso 7. Se calcula el Factor de Corrección de D

La ecuación de correlación entre la rugosidad y D, ha sido desarrollada para una relación de brazos de 1 a 10. Esta relación en la práctica suele variar, y depende del desgaste que experimenta el patín del brazo móvil del instrumento, y, se necesita un factor de corrección que permita llevar los valores a condiciones estándar.

Para determinar el factor de corrección se hace uso de un disco circular de bronce de aproximadamente 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor, y se procede de la siguiente manera:

1. Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm. El espesor se calculará como el valor promedio considerando 4 medidas diametralmente opuestas. Por ejemplo: el espesor medido es 6.2 mm

2. Se coloca el rugosímetro sobre una superficie plana (un piso de terrazo, por ejemplo) y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el



patín móvil se encuentra sobre el piso (por ejemplo, Lectura=25). Se levanta el patín y se coloca la pastilla de calibración debajo de él, apoyándola sobre el piso. Esta acción hará que el puntero sobre el tablero se desplace, asumiendo una relación de brazos estándar de 1 a 10, una distancia igual al espesor de la pastilla multiplicado por 10 (es decir: $6.2 \times 10 = 62$ mm), lo que significa, considerando que cada casillero mide 5 mm, que el puntero se ubicará aproximadamente en el casillero 12, siempre y cuando la relación de brazos actual del equipo sea igual a la asumida. Si no sucede eso, se deberá encontrar un factor de corrección (F.C.) usando la siguiente expresión:

$$F.C. = (EP \times 10) / [(LI - LF) \times 5] \quad (4)$$

Donde:

EP : Espesor de la pastilla

LI : Posición inicial del puntero

LF : Posición final del puntero

Por ejemplo:

Si la posición inicial del puntero fue 25 y la final fue 10.5 entonces el Factor de Corrección será:

$$FC = (6.2 \times 10) / [(25 - 10.5) \times 5] = 0.92$$

- Paso 8. Se calcula el D corregido: $D = 91 \times 0.92 = 83.72$ mm
- Paso 9. Se calcula la rugosidad, de la figura 5.10, $IRI = 0.593 + 0.0471 \times 83.72 = 4.53$ mm/km.

La rugosidad se calcula como el promedio de las rugosidades por carril de las secciones.

- Parámetros de Rugosidad para carreteras no pavimentadas:

Cuadro 5.01. Estado vial según la Rugosidad

Estado	Pavimentadas	No pavimentadas
	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < IRI \leq 2.8$	$IRI \leq 6$
Regular	$2.8 < IRI \leq 4.0$	$6 < IRI \leq 8.0$
Malo	$4.0 < IRI \leq 5.0$	$8 < IRI \leq 10$
Muy malo	$5 < IRI$	$10 \leq IRI$

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras MTC

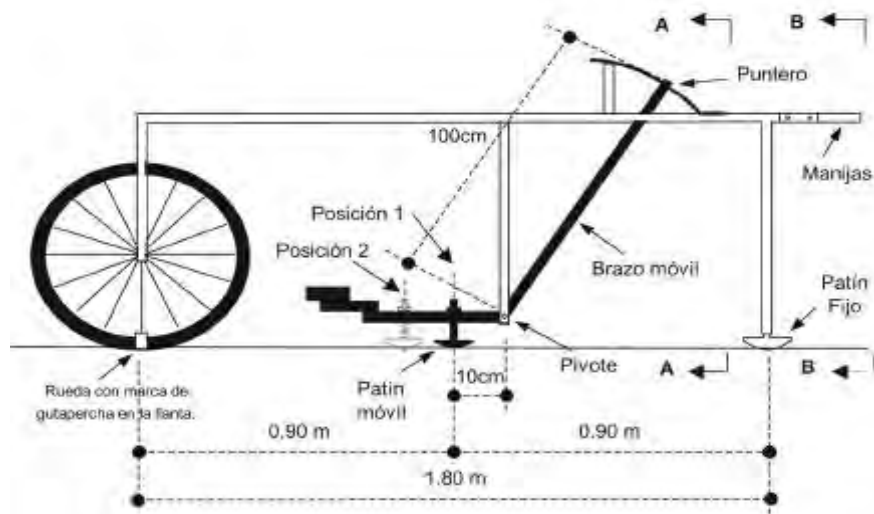


Figura 5.02. Esquema del Rugosímetro MERLIN

b) Relevamiento de fallas

Para el relevamiento de fallas, se ha empleado la metodología URCI del Technical Manual (TM-526) Unsurfaced Road Maintenance Management del Department of The Army (USA).

El URCI (Índice de Condición de Carretera no Pavimentada) es una unidad de medida racional y objetiva que califica la condición de la vía, basada en los daños observados en la superficie de rodadura. En resumen, sirve como base para determinar las necesidades de Mantenimiento y Reparación, así como las prioridades; para determinar el URCI se siguen los siguientes pasos:

- Paso 1. Establecer la sección o secciones de carretera.
- Paso 2. Establecer la unidad de muestra, en nuestro caso se ejecutó la demarcación con pintura en la carretera cada 50 m, en ambos extremos y con un ancho de superficie estabilizada de 6.00 m, dando un área de unidad de muestra de carretera de 300 m².
- Paso 3. Para el relevamiento se emplea la guía de fallas establecida por la metodología y los tipos de falla son:

81. Inadecuada Sección Transversal.	82. Inadecuado Drenaje.
83. Polvo.	84. Huecos.
85. Ahuellamiento.	86. Pérdida de Agregado.
- Paso 4. El relevamiento de fallas en cada unidad de muestra se ejecuta en una planilla, como se muestra en la figura 5.11.
- Paso 5. En la planilla señalada, se identificaron el tipo de falla y severidad los cuales son: 86 L y 87 L.



- Paso 6. Luego se procede a calcular la densidad, $D (\%) = \text{Cantidad} / \text{Área} * 100$
Tipo de falla 86, $D = 13 / 300 * 100 = 4.3\%$
Tipo de falla 87, $D = 86 / 300 * 100 = 28.7\%$
- Paso 7. Luego utilizando las curvas de valor deducido, se calculan los valores deducidos de los tipos de falla:
 - a) Tipo de falla 86 L, se ubica en la figura 5.04 la densidad en el eje horizontal, trazándose una vertical hacia la curva de baja severidad, luego a la izquierda en sentido horizontal a la intersección del eje, lo que da un valor de 6.2.
 - b) Tipo de falla 87 L, se ubica en la figura 5.05 la densidad en el eje horizontal, trazándose una vertical hacia la curva de baja severidad, luego a la izquierda en sentido horizontal a la intersección del eje, lo que da un valor de 13.
- Paso 8. Encontrar el Valor Total Deducido (TDV) y el valor “q”. Calcular el TDV sumando todos los valores deducidos. El valor q es el número de valores deducidos individuales superiores a 5.
 - a) $TDV = 6.2 + 13 = 19.2$
 - b) $Q = 2$
- Paso 9. Encontrar el Índice de Condición de Carretera n Pavimentada (URCI).
 - a) En la figura 5.06, el TDV es 19.2 y q es 2, por lo que la curva URCI muestra que el URCI es de 86. De la figura 5.03, la calificación es “Excelente”.
 - b) Esta es la calificación para una unidad de muestra.

La calificación de la sección es el promedio de todas las unidades de muestra en la sección de carretera.

- Parámetros de calificación.

100	URCI
85	Excelente
70	Muy bueno
55	Bueno
40	Regular
25	Pobre
10	Muy pobre
0	Fallado

Figura 5.03. Clasificación URCI

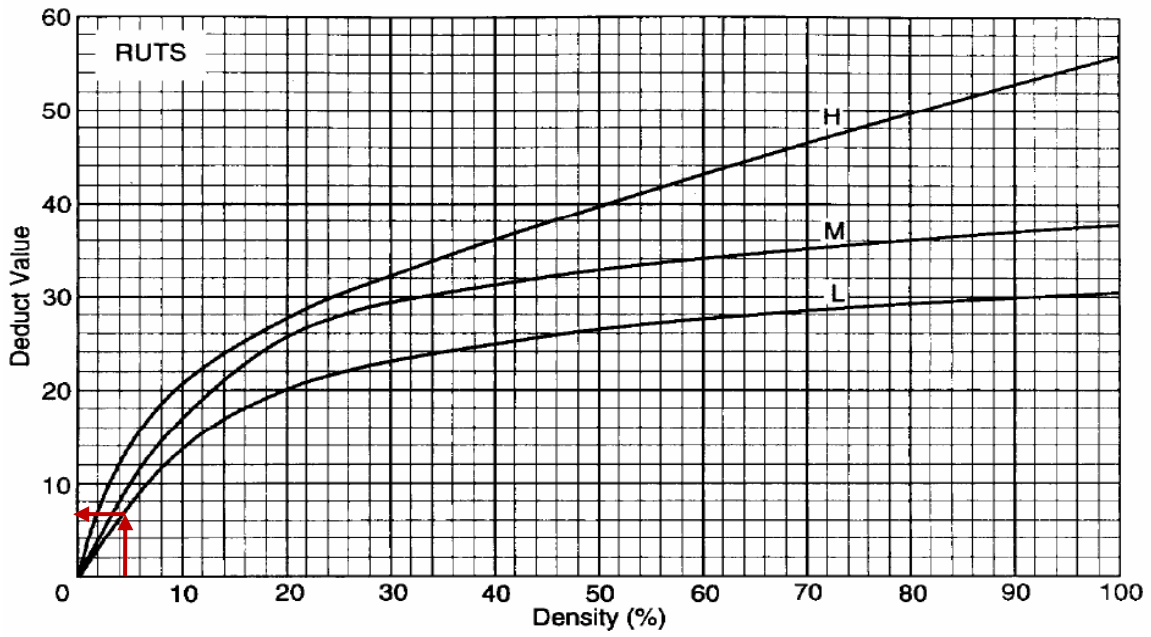


Figure C-6. Distress 86-ruts deduct values (English or metric units).

Figura 5.04. Valor Deducido de Ahuellamiento

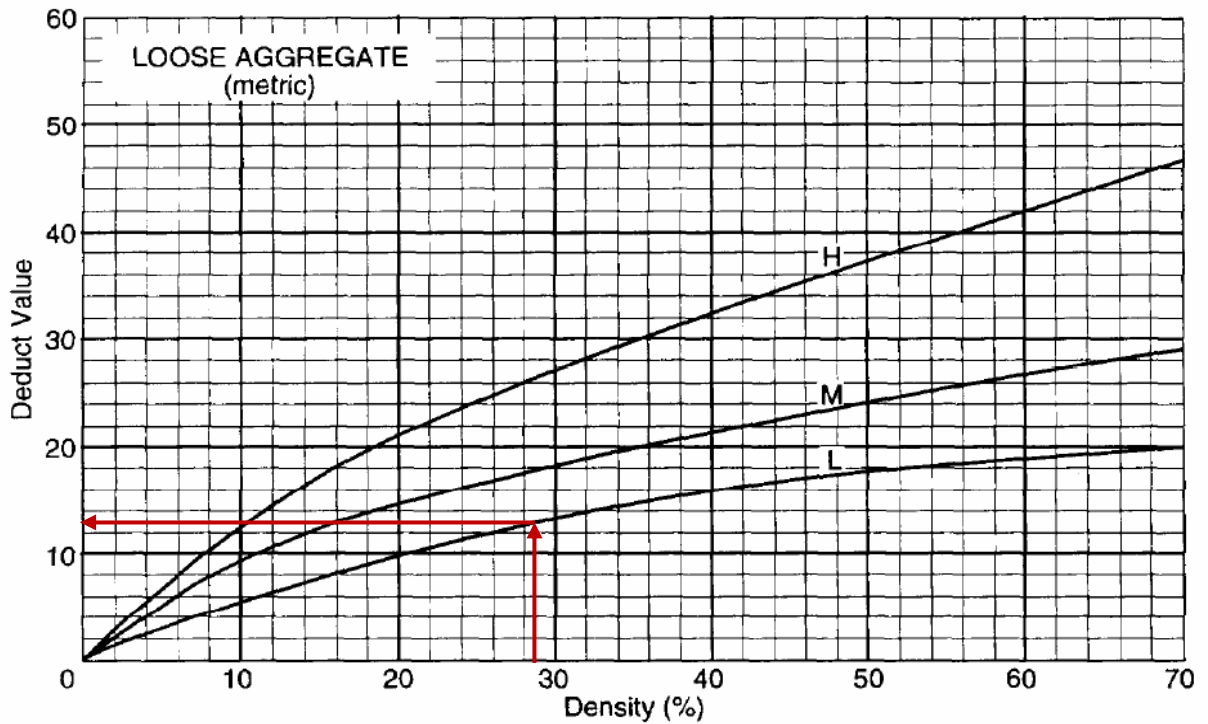


Figure C-7. Distress 87-loose aggregate deduct values (English and metric units)

Figura 5.05. Valor Deducido de Pérdida de Agregado

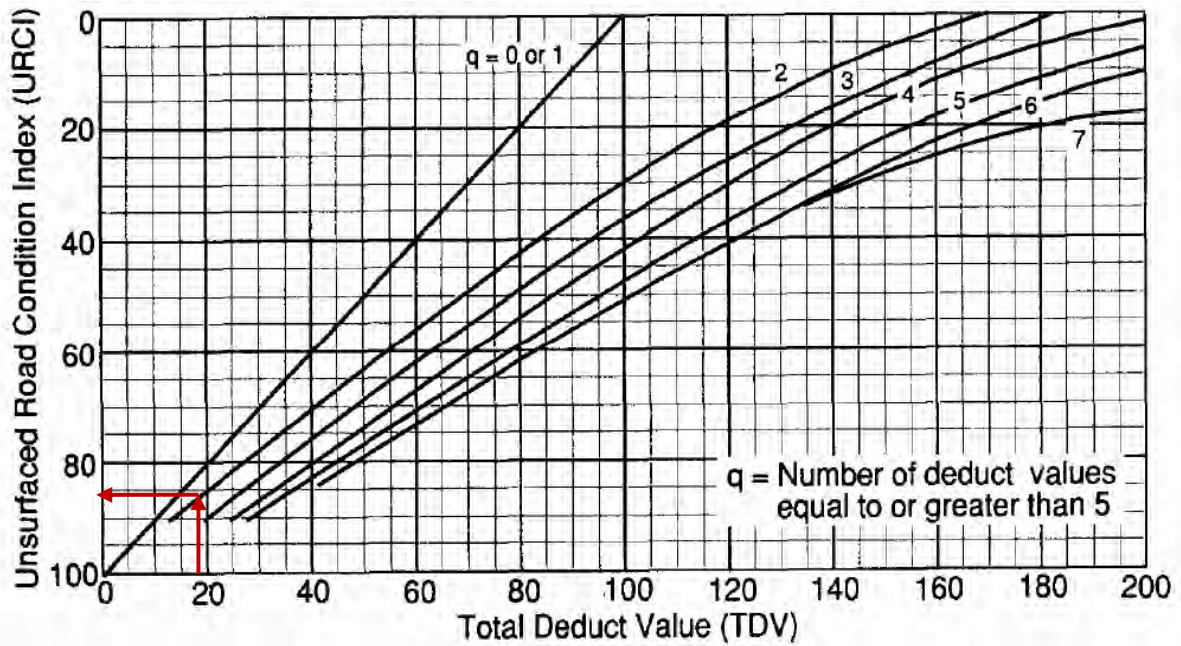


Figure C-8. URCI curves (English or metric units).

Figura 5.06. Curvas de URCI

5.1.3 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Se realizó con viga Benkelman (figura 5.09), con la característica que en los cálculos no se ha considerado espesor de carpeta y corrección por temperatura, ya que se trata de una superficie granular de rodadura; para la medición de deflexiones se siguen los siguientes pasos:

- . Paso 1. Para la ejecución del ensayo se requiere de tres operadores: un técnico calificado que lea y dicte las lecturas, un operador que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y a la vez de aviso al técnico que realiza las lecturas, cuando la varilla adosada al camión vaya coincidiendo con las marcas hechas en la viga.
- Paso 2. Pesar camión cargado, con eje trasero simple de 18000 libras igualmente distribuidas en un par de llantas dobles infladas a un a presión de 80 psi.
- Paso 3. Demarcación de la vía cada 50 m en ambos extremos de la vía.
- Paso 4. En la zona de ensayo con la viga y camión se realiza la siguiente operación para determinar las marcas para las lectura de deflexiones:
 - a) Se coloca la Viga en la posición como si estuviera entre las llantas pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión (ver figura 5.07),



se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.

- b) Luego se hacen marcas para la lectura de deflexiones, en este caso a 25 cm 40 cm y 70 cm.

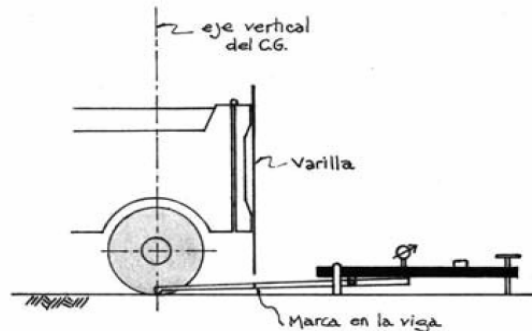


Figura 5.07. Configuración geométrica de la carga

- Paso 5. Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la varilla vertical y la marca inicial (ver figura 5.08), se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión.
- Paso 6. Se pondrá el dial del extensómetro en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con las marcas existentes en el brazo móvil de la viga y una lectura final (máxima) cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento.
- Paso 7. Todas las lecturas de deflexiones se anotan en la planilla señalada en la figura 5.12.
- Paso 8. Se calcula las deflexiones, por ejemplo para la lectura $L_{25} = 2$ (10^{-3} pulg), la deflexión es igual $D = 2 * L_{25} * FE = 2 * 2 * 1.2 * 2.54 = 12.12$ (10^{-2} mm); así se calculan para la deflexión máxima. El Factor de Estacionalidad considerado es de 1.2.
- Paso 8. Con todas las deflexiones máximas se calcula la deflexión promedio por carril, para cada sección.
- Parámetro de evaluación; la deflexiones promedios de las secciones se comparara con la Deflexión Admisible la cual se calcula según AUSTROAD, empleando la siguiente expresión:



$$\log(d) = -0,34(\text{un } 0.1t) - 0.7\log$$

donde:

d = máxima deflexión de viga Benkelman (pulgadas)

t = espesor de material granular (pulgadas)

CBR= subrasante

Para nuestro caso: CBR de subrasante (15%) y espesor igual a 15 cm (6 pulg)

Entonces $D_{adm} = 1.09 \text{ mm}$

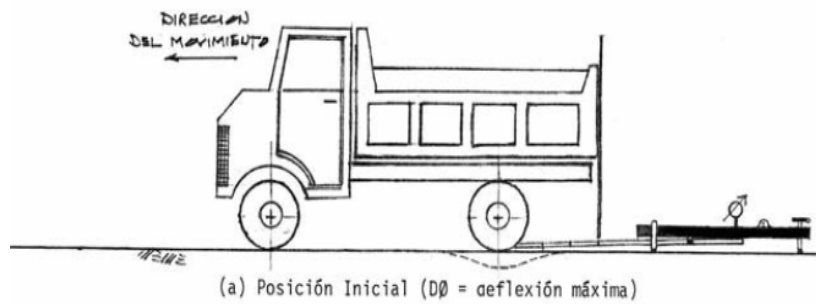


Figura 5.08. Posición Inicial de la viga

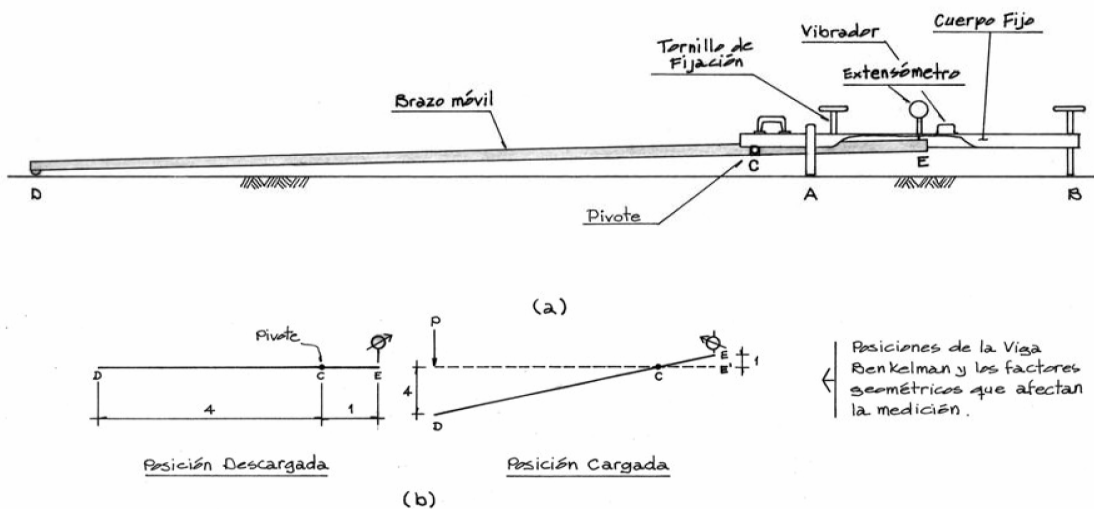


Figura 5.09. Esquema y principio de operación de viga Benkelman



5.2 APLICACIÓN

5.2.1 INTRODUCCIÓN

La aplicación de la innovación metodológica para la evaluación de superficie estabilizada, se llevó a cabo en la Vía de Acceso a Caral tramo km 5+000 – km 15+000, la cual tiene las siguientes características técnicas:

- Ubicación :	Departamento de Lima - Provincia Barranca – Distrito Caral
- Inicio de Tramo:	Desvío Ambar km 184+400 de la carretera Panamericana Norte
- Fin de Tramo :	Localidad de Caral
- Longitud de Tramo:	24.96 km
- Altitud promedio:	38 a 385 msnm
- Ancho de explanaciones:	8 a 10 m
- Ancho de Superficie de rodadura:	7.2 m
- Superficie de Rodadura	Afirmado
- Velocidad Directriz promedio	40 km/h
- IMDA	237 (a octubre del 2007)
- Clasificación jurisdiccional	Carretera de 3ra categoría

- Datos del diseño de pavimento:

a) Trafico.- Número de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 ton igual a $EAL = 1.52 \times 10^4$, para un periodo de diseño de 10 años.

b) CBR de diseño igual a 15%.

c) Espesor de capa granular de rodadura igual a 15 cm.

- **Mantenimiento.**- en el proyecto se propone un mantenimiento a los 4 años de servicio, con adición de $\frac{1}{4}$ de dosis inicial.



5.2.2 COSTOS CARRETERA ESTABILIZADA CON CLORURO DE MAGNESIO VERSUS CONVENCIONAL

Cuadro 5.02. Comparación de Costos por km - Año

AÑO	TIPO DE INTERVENCIÓN	AFIRMADO MEJORADO S/.	AÑO	TIPO DE INTERVENCIÓN	AFIRMADO CONVENCIONAL S/.
INICIAL	Mejora/km	183,978.00	INICIAL	Const/km	113,834
1	-	-	1	MR/km	7080
2	-	-	2	MP/km	24,285
3	-	-		MR/km	7080
4	MP/km	20,500.00	3	MR/km	7080
	-	-	4	MP/km	24,285
5	-	-		MR/km	7080
6	-	-	5	MR/km	7080
7	-	-	6	MP/km	24,285
8	MP/km	20,500.00		MR/km	7080
	-	-	7	MR/km	7080
9	-	-	8	MP/km	24,285
10	-	-		MR/km	7080
TOTAL		224,978.00	9	MR/km	7080
			10	MR/km	7080
Ahorro S/.		56,796.19	TOTAL		281,774.19

Ahorro por año S/.

5,679.62

Total de km	Ahorro por Km*Año S/.	Ahorro Total Anual S/.	Total de Ahorro * 10 Años en S/.
24.96	5,679.62	141,763.29	1,417,632.90

5.2.3 CARACTERÍSTICAS DEL ESTABILIZADOR CLORURO DE MAGNESIO

Cuadro 5.03. Especificaciones Técnicas del Cloruro de Magnesio

Características	Limites	Resultado	Unidad	Método de ensayo
Cloruro de Magnesio (MgCl ₂)	Min. 110	142.73	g/l	CMEF001
Sulfatos (como CaSO ₄)	Min. 1.0	0.55	g/l	CMEF002
Densidad	Min.: 28	28.40	oBe	CMEF003
Ph	6.5-8.5	6.8		CCLPT005
Aspecto	Líquido transparente exento de partículas en suspensión.			

Fuente: QUIMPAC S.A.



5.3 MONITOREO

El monitoreo de evaluación se ejecutó a la superficie estabilizada en la Vía de Acceso a Caral tramo km 5+000 – km 15+000; la cual se pasa a desarrollar.

5.3.1 EVALUACIÓN FUNCIONAL

Se ejecutaron ensayos de los parámetros de Rugosidad y Relevamiento de Fallas.

a) Rugosidad

Para la medición de la Rugosidad se ha empleado el equipo Merlin, designado como un equipo de clase 2; desarrollándose las siguientes actividades:

➤ Trabajo de Campo

La información de campo se ha obtenido cada 430 m, aproximadamente por carril en huella interna y externa y en ambos carriles, tal como se muestra planilla (figura 5.10):

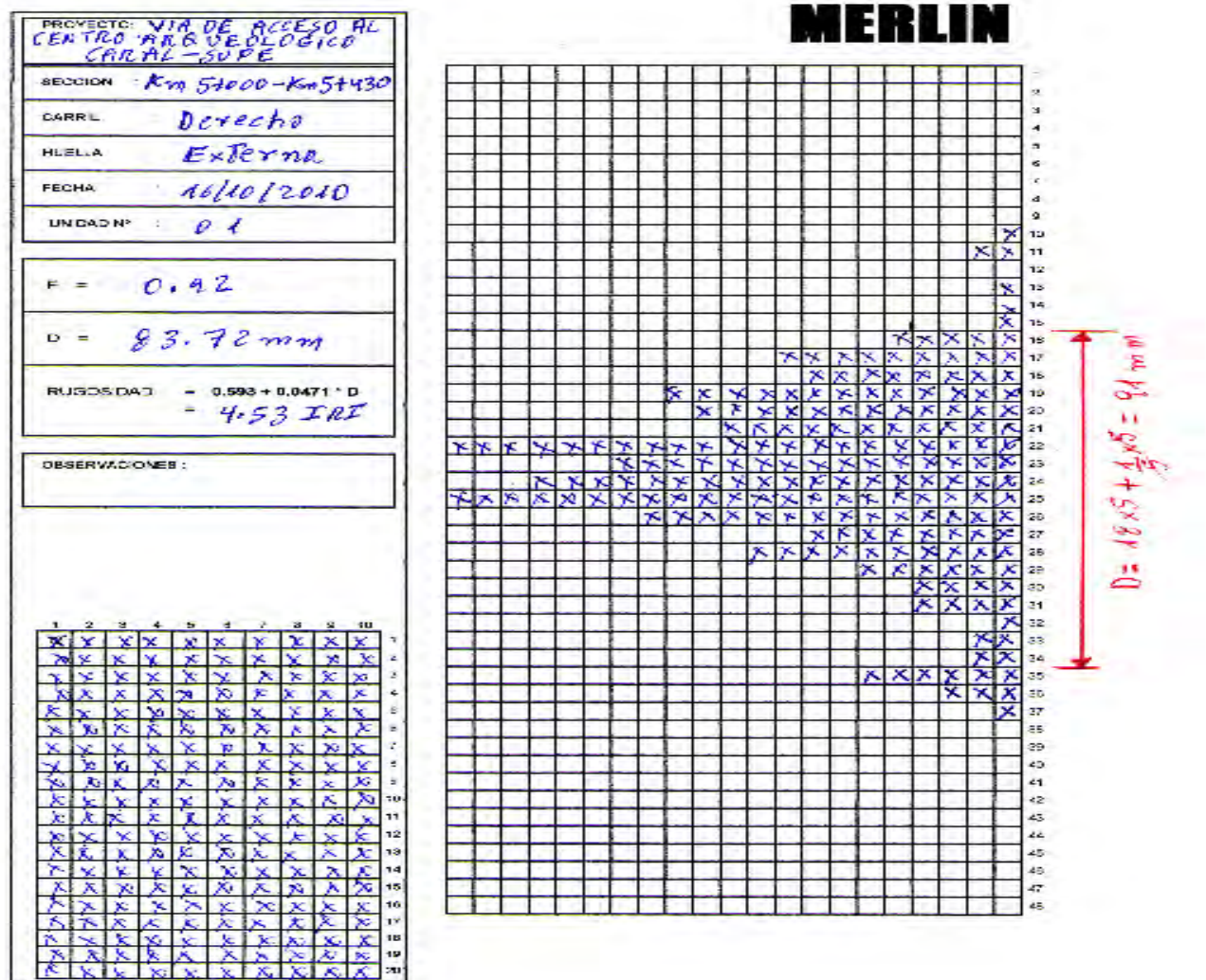


Figura 5.10. Planilla de Rugosidad



➤ **Trabajo de Gabinete**

Con la información de campo se ha procesado el caculo de los valores IRI cada 430 m promedio ambos carriles, en los 03 sectores, y en los cuales se ha calculado el IRI promedio.

Por tratarse de una vía de bajo volumen la confiabilidad adoptada es de 50%, lo cual corresponde a la deflexión promedio.

Se presentan cuadros estadístico y grafico de Evolución de Rugosidad promedio obtenidos durante el monitoreo de evaluación.

Cuadro 5.04. Rugosidad 1^{er} Monitoreo

CARRIL IZQUIERDO										
Progresivas (Km)		Huella	PARAMETROS ESTADISTICOS							
			POR HUELLA					AMBAS HUELLAS		
			Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Mínimo	CV	Desviación Estandar	Promedio	Característica
05+000	07+400	Externa	0.19	3.5	4.1	3.4	0.05	0.4	3.7	
		Interna	0.04	2.9	2.9	2.9	0.01			
07+400	11+900	Externa	0.35	3.6	4.3	3.4	0.10	0.5	3.7	
		Interna	0.78	3.8	4.8	2.9	0.21			
11+900	15+000	Externa	0.71	3.9	5.0	3.3	0.18	0.6	3.6	
		Interna	0.47	3.2	4.6	3.7	0.15			

CARRIL DERECHO										
Progresivas (Km)		Huella	PARAMETROS ESTADISTICOS							
			POR HUELLA					AMBAS HUELLAS		
			Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Mínimo	CV	Desviación Estandar	Promedio	Característica
05+000	07+400	Externa	0.43	3.8	4.6	3.5	0.11	0.5	3.5	
		Interna	0.43	3.2	4.2	3.1	0.12			
07+400	11+900	Externa	0.52	3.6	4.7	3.3	0.12	0.6	3.5	
		Interna	0.56	3.4	4.8	3.1	0.14			
11+900	15+000	Externa	0.87	3.4	5.7	3.1	0.20	0.7	3.6	



AMBOS CARRILES

Progresivas (Km)		CARRIL	Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Mínimo	CV
05+000	07+400	Ambos	0.44	3.6	4.6	2.9	0.12
07+400	11+900	Ambos	0.54	3.6	4.8	2.9	0.15
11+900	15+000	Ambos	0.64	3.6	5.7	3.1	0.18

Cuadro 5.05. Rugosidad 2^{do} Monitoreo

CARRIL IZQUIERDO

Progresivas (Km)		Huella	PARAMETROS ESTADISTICOS						
			POR HUELLA					AMBAS HUELLAS	
			Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Mínimo	CV	Desviación Estandar	Promedio
05+000	07+400	Externa	0.29	3.7	4.0	3.4	0.08	0.4	3.5
		Interna	0.14	2.9	2.9	2.9	0.05		
07+400	11+900	Externa	0.35	3.9	4.4	3.4	0.09	0.5	3.9
		Interna	0.78	3.8	4.8	2.9	0.21		
11+900	15+000	Externa	0.71	4.3	5.0	3.3	0.17	0.6	4.3
		Interna	0.47	4.2	4.6	3.7	0.11		

CARRIL DERECHO

Progresivas (Km)		Huella	PARAMETROS ESTADISTICOS						
			POR HUELLA					AMBAS HUELLAS	
			Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Mínimo	CV	Desviación Estandar	Promedio
05+000	07+400	Externa	0.43	3.9	4.5	3.5	0.11	0.5	3.7
		Interna	0.43	3.5	4.2	3.1	0.12		
07+400	11+900	Externa	0.52	4.3	4.8	3.3	0.12	0.6	4.1
		Interna	0.56	3.9	4.8	3.1	0.14		
11+900	15+000	Externa	0.87	4.3	5.7	3.1	0.20	0.7	4.1
		Interna	0.38	4.0	4.7	3.6	0.10		

AMBOS CARRILES

Progresivas (Km)		CARRIL	Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Mínimo	CV
05+000	07+400	Ambos	0.44	3.6	5.1	2.9	0.12
07+400	11+900	Ambos	0.54	4.0	5.6	2.9	0.13
11+900	15+000	Ambos	0.64	4.2	7.0	3.1	0.15



Cuadro 5.06. Rugosidad 3^{er} Monitoreo

CARRIL IZQUIERDO									
Progresivas (Km)		Huella	PARAMETROS ESTADISTICOS						
			POR HUELLA					AMBAS HUELLAS	
			Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Mínimo	CV	Desviación Estandar	Promedio
05+000	07+400	Externa	0.49	4.1	4.7	3.4	0.12	0.5	3.8
		Interna	0.32	3.6	4.2	3.3	0.09		
07+400	11+900	Externa	0.77	4.2	5.1	3.2	0.18	0.7	4.2
		Interna	0.76	4.3	5.1	3.1	0.18		
11+900	15+000	Externa	0.74	5.3	6.5	4.5	0.14	0.6	5.4
		Interna	0.54	5.4	6.3	4.8	0.10		

CARRIL DERECHO									
Progresivas (Km)		Huella	PARAMETROS ESTADISTICOS						
			POR HUELLA					AMBAS HUELLAS	
			Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Mínimo	CV	Desviación Estandar	Promedio
05+000	07+400	Externa	0.34	4.6	5.1	4.1	0.07	0.5	4.3
		Interna	0.55	4.0	5.0	3.6	0.14		
07+400	11+900	Externa	0.48	4.7	5.5	3.8	0.10	0.7	4.5
		Interna	0.80	4.4	5.6	3.3	0.18		
11+900	15+000	Externa	0.90	5.2	7.0	4.4	0.17	0.8	5.0
		Interna	0.59	4.9	5.5	3.9	0.12		

AMBOS CARRILES							
Progresivas (Km)	CARRIL	Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Mínimo	CV	
05+000	07+400	Ambos	0.55	4.1	5.1	3.3	0.13
07+400	11+900	Ambos	0.71	4.4	5.6	3.1	0.16
11+900	15+000	Ambos	0.70	5.2	7.0	3.9	0.13

Cuadro 5.07. Rugosidad 4^{to} Monitoreo

CARRIL IZQUIERDO									
Progresivas (Km)		Huella	PARAMETROS ESTADISTICOS						
			POR HUELLA					AMBAS HUELLAS	
			Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Mínimo	CV	Desviación Estandar	Promedio
05+000	07+400	Externa	0.66	5.0	6.2	4.3	0.13	0.7	5.0
		Interna	0.79	5.0	6.2	4.2	0.16		
07+400	11+900	Externa	1.09	5.4	7.2	3.6	0.20	1.1	5.3
		Interna	1.14	5.2	6.4	3.4	0.22		
11+900	15+000	Externa	0.85	7.9	9.3	7.1	0.11	0.8	7.8



CARRIL DERECHO									
Progresivas (Km)		Huella	PARAMETROS ESTADISTICOS						
			POR HUELLA				AMBAS HUELLAS		
			Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Mínimo	CV	Desviación Estandar	Promedio
05+000	07+400	Externa	1.08	5.6	7.3	4.6	0.19	1.0	5.4
		Interna	1.05	5.3	6.8	4.2	0.20		
07+400	11+900	Externa	0.96	5.2	6.5	3.7	0.18	1.0	5.2
		Interna	1.11	5.1	6.6	3.4	0.22		
11+900	15+000	Externa	0.96	6.8	7.9	5.0	0.14	1.2	7.1
		Interna	1.38	7.4	9.4	6.0	0.19		

AMBOS CARRILES							
Progresivas (Km)	CARRIL	Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Mínimo	CV	
05+000	07+400	Ambos	0.88	5.2	7.3	4.2	0.17
07+400	11+900	Ambos	1.04	5.2	7.2	3.4	0.20
11+900	15+000	Ambos	1.04	7.5	9.4	5.0	0.14

Cuadro 5.08. Evolución de la Rugosidad

FECHA DE EVALUACION	MESES	MESES ACUMULADO	AÑOS	SECTOR I (Km 05+000 - Km 07+400)	SECTOR II (Km 07+400 - Km 11+900)	SECTOR III (Km 11+900 - Km 15+000)
Jul-09	0.0	0.0	0.0	-.-	-.-	-.-
Sep-09	2.1	2.1	0.2	3.6	3.6	3.6
Feb-10	5.1	7.2	0.6	3.6	4.0	4.2
Oct-10	8.1	15.2	1.3	4.1	4.4	5.2
Jul-10	9.1	24.3	2.0	5.2	5.2	7.5

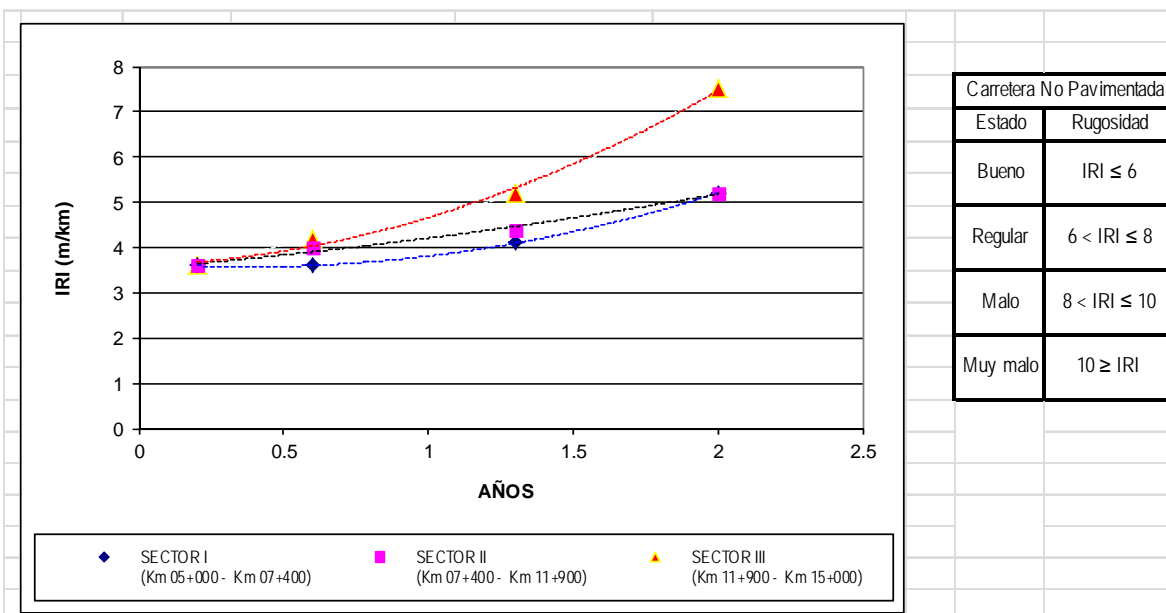


Figura 5.11. Evolución de la Rugosidad



➤ **Análisis**

- De los resultados obtenidos y en concordancia a Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras MTC, señalado en el cuadro 5.01; los sectores I y II se encuentran a 2 años de servicio en buen estado de comodidad y el tramo III en regular estado de comodidad.
- El sector III en el cuarto monitoreo pasa de un valor de IRI de 5.2 a 7.5, de un estado de bueno a regular; lo cual es un indicativo que amerita un trabajo de mantenimiento periódico de acuerdo a la normativa existente, con el propósito de devolverle las condiciones iniciales de servicio (buen estado).
- El tramo I y II de acuerdo con la información del proyecto, está cumpliendo con la tendencia establecida en el proyecto, el cual indica ejecutar un monitoreo en el año 4.

b) Relevamiento de fallas

Para la ejecución del relevamiento de fallas (deterioros), se ha empleado la metodología URCI del Technical Manual (TM-526) Unsurfaced Road Maintenance Management del Department of The Army (USA); desarrollándose las siguientes actividades:

➤ **Trabajo de Campo**

- Para establecer la unidad de muestra se ejecutó la demarcación con pintura en la carretera cada 50m, en ambos extremos, dando un área de unidad de muestra de carretera de 350 m².
- Luego se procedió a ejecutar el relevamiento de fallas en cada unidad de muestra en la planilla correspondiente, como se muestra en figura 5.12:



PLANILA EVALUACIÓN DE URCI								
Carretera: <i>Via de Acceso al centro Arqueológico de Caral</i>				Sección: <i>Km 11+800 - Km 11+850</i>				
Fecha: <i>16/10/2010</i>				Unidad de muestra:				
Ejecutado por:				Área de muestra: <i>300 m²</i>				
Tipos de Falla								
81. Inadecuada sección transversal (m)								
82. Inadecuado drenaje (m)								
83. Fncalaminado (m2)								
84. Polvo								
85. Huecos (numero)								
86. Ahuellamiento (m2)								
87. Perdida de agregado (m)								
Cantidad de Falla y severidad								
Tipo		81	82	83	84	85	86	87
Cantidad y Severidad	L						<i>13</i>	<i>86</i>
	M							
	H							
Calculo URCI								
Tipo de Falla	Densidad (%)	Severidad	Valor deducido	Esquema:				
<i>86</i>	<i>4.3</i>	<i>L</i>	<i>6.2</i>					
<i>87</i>	<i>28.7</i>	<i>L</i>	<i>13</i>					
Valor deducido total: <i>19.2</i>		q= <i>2</i>	URCI: <i>86</i>		Condición: <i>Excelente</i>			

Figura 5.12. Planilla de URCI

- Detalle de fallas:

81. Inadecuada Sección Transversal: No se presenta esta falla.

82 Inadecuado drenaje: este tipo de falla se presenta en algunas secciones localizadas, siendo su severidad en todos los casos leve.



83. Encalaminado: no se presenta este tipo de falla.



84. Polvo: no se presenta este tipo de falla.



85 Huecos: no se presenta este tipo de falla.



86 Ahuellamiento: este tipo de falla se presenta en varias secciones en la vía, generalmente en el carril derecho, siendo su severidad para todos los casos leve (menor a 25 mm).



87 Perdida de agregado: este tipo de falla se ha observado en la vía desde el segundo monitoreo, donde la severidad era leve en todas las unidades de muestreo.



➤ Trabajo de Gabinete - Resultados

Con la información de campo se ha procesado el caculo del URCI para cada unidad de muestra, para luego proceder a calcular el URCI promedio para los tres sectores considerados.

Del relevamiento de fallas se obtiene los siguientes cuadros estadísticos de falla y Evolución de los valores URCI:



Cuadro 5.09. Resumen estadístico Porcentaje de Fallas respecto a la longitud total

SECTOR	LONGITUD (%)	PERDIDA DE AGREGADOS (%)			AHUELLAMIENTO (%)			SIN DETERIORO (%)
		87L	87M	87H	86L	86M	86H	
I : Km 05+000 - Km 07+400	24	23.2	0.0	0.0	0.7	0.1	0.0	0.0
II : Km 07+400 - Km 11+900	45	33.1	0.5	0.0	0.5	0.0	0.0	10.9
III : Km 11+900 - Km 15+000	31	23.3	7.5	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0

Cuadro 5.10. Resumen estadístico Porcentaje de Fallas por cada sector

SECTOR	LONGITUD (%)	PERDIDA DE AGREGADOS (%)			AHUELLAMIENTO (%)			SIN DETERIORO (%)
		87L	87M	87H	86L	86M	86H	
I : Km 05+000 - Km 07+400	24	96.7	0.0	0.0	3.0	0.3	0.0	0.0
II : Km 07+400 - Km 11+900	45	73.6	1.1	0.0	1.1	0.0	0.0	24.2
III : Km 11+900 - Km 15+000	31	75.2	24.2	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0

Cuadro 5.11. Evolución de los Valores URCI

FECHA DE EVALUACION	AÑOS	SECTOR I (Km 05+000 - Km 07+400)	SECTOR II (Km 07+400 - Km 11+900)	SECTOR III (Km 11+900 - Km 15+000)
Jul-09	0			
Sep-09	0.2	100	100	100
Feb-10	0.6	96	95	97
Oct-10	1.3	92	90	93
Jul-11	2	88	87	90

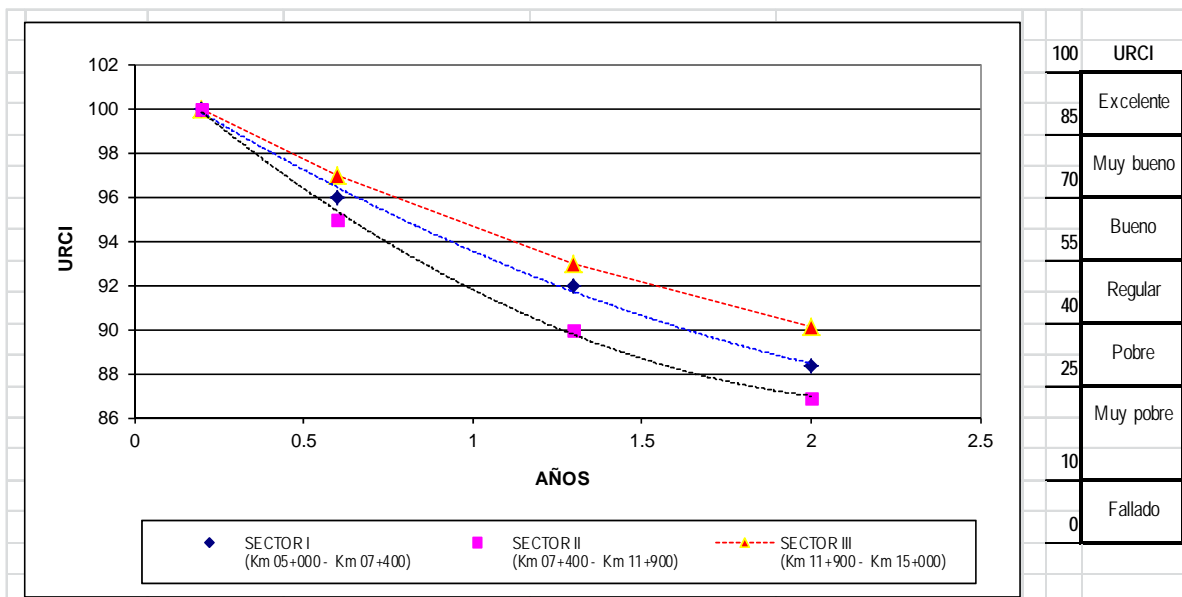


Figura 5.13. Evolución de URCI



➤ **Análisis**

- Los valores URCI obtenidos en los 03 Sectores: I, II y III, indican una excelente condición de la superficie de rodadura y la no prioridad de mantenimiento vial.
- En el Manual Técnico de Mantenimiento Periódico para la Red Vial Departamental no Pavimentada del MTC; se indica la ejecución de mantenimiento periódico en más de un año, como política de mantenimiento vial.
- En el Sector III, el porcentaje de falla de pérdida de agregado de severidad media (87 M), en un porcentaje de 24.2%, es un indicativo que necesita un mantenimiento periódico.
- Dada la política de mantenimiento vial del MTC, se utilizara la Tabla B.02 como una guía para seleccionar el método adecuado de mantenimiento, en función al tipo de falla y severidad, para el Sector III.
- En la Tabla 4.01 (Anexo B) dado el tipo de falla y severidad 87 M, se considera el código C que indica añadir material y compactar; lo cual equivale en nuestra normativa a la actividad de mantenimiento periódico.

5.3.2 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Se ejecutó con viga Benkelman; desarrollándose las siguientes actividades:

➤ **Trabajo de Campo**

La información de campo se ha obtenido cada 50 m por carril en la parte externa, tal como se puede apreciar en la planilla correspondiente, como se muestra:



Via de Acceso al Centro Arqueológico Caral - Supe (carril derecho)

Estaca	Lectura de Campo (10-3 pulg)				Espesor	Ahuellamiento			Temp [°C]
	L25	L40	L70	Lmax		Ahuell1	Ahuell2	Promed	
5+000	2	3	7	12		10		10	
5+050	1	2	4	5		12	10	11	
5+100	1	3	4	7		10		10	
5+150	1	2	3	5		11		11	
5+200	1	3	5	6		9		9	
5+250	1	4	6	7		5		5	
5+300	1	4	8	12		11		11	
5+350	1	3	5	7					
5+400	2	4	6	10		10		10	
5+450	1	2	5	10		9		9	
5+500	1	3	7	10		8		8	
5+550	1	3	6	8		10		10	
5+600	1	2	4	6					
5+650	1	4	5	9					
5+700	1	3	5	9		12		12	
5+750	1	4	8	10		22		22	
5+800	1	3	5	8		15		15	
5+850	1	3	8	10		9		9	
5+900	1	3	4	5		15		15	
5+950	1	3	5	7		9	10	9.5	
6+000	1	2	3	5		16		16	
6+050	1	2	3	5		7		7	
6+100	1	2	3	5		7		7	
6+150	1	2	4	5					
6+200	1	2	5	7					
6+250	1	3	4	5					
6+300	1	2	3	5		14		14	
6+350	1	2	3	4		9		9	
6+400	1	2	3	4					
6+450	1	2	4	5					
6+500	1	2	3	5		7		7	
6+550	1	3	5	7					
6+600	1	2	3	4		7		7	
6+650	1	2	3	4					
6+700	1	2	3	4					
6+750	1	3	8	10					
6+800	1	2	3	7					
6+850	1	3	5	8					
6+900	1	3	5	6		6		6	
6+950	1	2	4	8					
7+000	1	2	4	10					
7+050	1	2	4	7		19		19	
7+100	1	3	4	6		8	18	13	
7+150	1	2	3	6		13		13	
7+200	1	2	4	7					

Figura 5.14. Planilla de Lecturas con viga Benkelman



Fotos



➤ Trabajo de Gabinete - Resultados

Con la información de campo se ha procesado el caculo de la deflexión promedio; la cual corresponde a la confiabilidad de 50% recomendado por la AASHTO para caminos de bajo volumen de tránsito.

Se presentan cuadros de resumen estadísticos y grafico de Evolución promedio obtenidos durante el monitoreo de evaluación.

Cuadro 5.12. Deflexiones 1^{er} Monitoreo

CARRIL IZQUIERDO						
Progresivas (Km)		Desviación Estandar	Deflexiones Corregidas (10 ² mm)			CV
			Promedio	Máximo	Mínimo	
5+000	7+400	41.4	60.0	158.5	18.3	0.69
7+400	11+900	27.7	57.7	140.2	24.4	0.48
11+900	15+000	20.9	52.7	97.5	24.4	0.40

CARRIL DERECHO						
Progresivas (Km)		Desviación Estandar	Deflexiones Corregidas (10 ² mm)			CV
			Promedio	Máximo	Mínimo	
5+000	7+400	23.9	44.6	115.8	24.4	0.53
7+400	11+900	43.4	74.9	268.2	30.5	0.58
11+900	15+000	19.9	58.4	128.0	30.5	0.34



Cuadro 5.13. Deflexiones 2^{do} Monitoreo

CARRIL IZQUIERDO						
Progresivas (Km)		Desviación Estandar	Deflexiones Corregidas (10 ² mm)			CV
			Promedio	Máximo	Mínimo	
5+000	7+400	13.0	45.6	86.4	25.4	0.28
7+400	11+900	26.8	62.1	142.2	25.4	0.43
11+900	15+000	17.2	42.8	116.8	20.3	0.40

CARRIL DERECHO						
Progresivas (Km)		Desviación Estandar	Deflexiones Corregidas (10 ² mm)			CV
			Promedio	Máximo	Mínimo	
5+000	7+400	11.0	35.7	61.0	20.3	0.31
7+400	11+900	21.9	54.4	132.1	25.4	0.40
11+900	15+000	14.6	36.3	106.7	20.3	0.40

Cuadro 5.14. Deflexiones 3^{er} Monitoreo

CARRIL IZQUIERDO						
Progresivas (Km)		Desviación Estandar	Deflexiones Corregidas (10 ² mm)			CV
			Promedio	Máximo	Mínimo	
5+000	7+400	25.9	52.8	146.3	24.4	0.49
7+400	11+900	29.3	62.2	1189.0	24.4	0.47
11+900	15+000	14.2	49.9	79.2	24.4	0.28

CARRIL DERECHO						
Progresivas (Km)		Desviación Estandar	Deflexiones Corregidas (10 ² mm)			CV
			Promedio	Máximo	Mínimo	
5+000	7+400	14.7	40.0	67.1	12.2	0.37
7+400	11+900	23.9	51.2	121.9	24.4	0.47
11+900	15+000	19.2	43.1	103.6	24.4	0.45

Cuadro 5.15. Deflexiones 4^{to} Monitoreo

CARRIL IZQUIERDO						
Progresivas (Km)		Desviación Estandar	Deflexiones Corregidas (10 ² mm)			CV
			Promedio	Máximo	Mínimo	
5+000	7+400	23.0	47.5	140.2	24.4	0.48
7+400	11+900	26.9	61.8	170.7	30.5	0.44
11+900	15+000	19.4	50.7	97.5	24.4	0.38



CARRIL DERECHO						
Progresivas (Km)		Desviación Estandar	Deflexiones Corregidas (10^{-2} mm)			CV
			Promedio	Máximo	Mínimo	
5+000	7+400	15.8	41.5	73.2	24.4	0.38
7+400	11+900	30.2	57.6	140.2	24.4	0.52
11+900	15+000	14.4	45.0	85.3	24.4	0.32

Cuadro 5.16. Evolución de las Deflexiones

FECHA DE EVALUACION	AÑOS	SECTOR I (Km 05+000 - Km 07+400)	SECTOR II (Km 07+400 - Km 11+900)	SECTOR III (Km 11+900 - Km 15+000)
Jul-09	0			
Sep-09	0.2	52.3	66.3	55.6
Feb-10	0.6	40.8	58.3	47.4
Oct-10	1.3	46.4	56.7	46.5
Jul-11	2	44.4	59.7	47.9

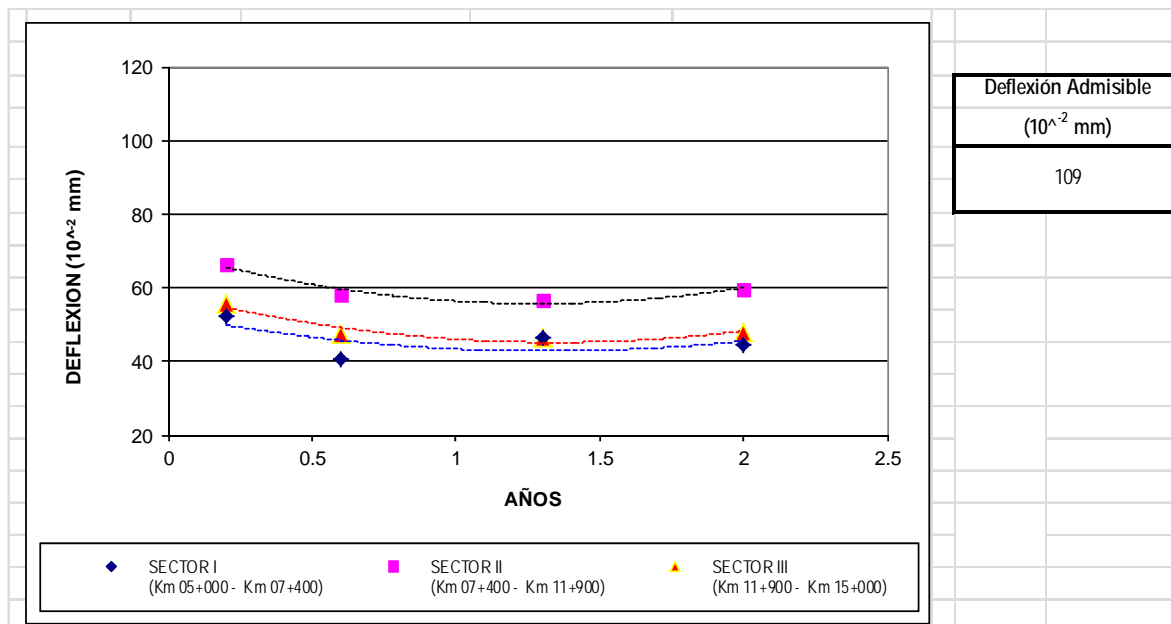


Figura 5.15. Evolución de deflexiones

➤ **Análisis**

- Para el análisis de deflexiones se ha considerado información establecida por la agencia Austroads, aplicable a carreteras no pavimentadas.
- La deflexión de diseño de Austroads es la máxima deflexión esperada de un determinado tráfico de diseño, sobre todos los CBRs de subrasante y espesores granulares.



- Los valores de deflexiones promedio, de los tres los sectores son inferiores a la deflexión admisible, lo cual es un indicativo de un buen comportamiento estructural.



CONCLUSIONES:

- a) La aplicación de la metodología de evaluación a la estabilización de superficie estabilizada con cloruro de magnesio; nos permite establecer la condición funcional y estructural de la vía, con el propósito de tomar las decisiones de actividades de mantenimiento oportunamente, para lograr la permanente transitabilidad, la seguridad, la economía y la comodidad en la circulación vial.
- b) La metodología de evaluación desarrollada, es aplicable en general a carreteras no pavimentadas existentes en nuestra red vial.
- c) La ventajas de estabilización con cloruro de magnesio, son:
 - Supresión de polvo generado por el tránsito vehicular.
 - Uniformidad de la superficie de rodadura muy similar a la de caminos pavimentados.
 - Se reduce el deterioro del camino.
 - Mejora la calidad de la población lugareña.

La desventaja es que cuando existe presencia de agua de lluvia, se vuelve un poco resbaladiza.

- d) De los resultados de evaluación funcional y estructural de la vía, en los sectores I y II durante los 2 años de servicio, se tiene un buen comportamiento de la superficie de rodadura y se estima la tendencia de su permanencia hasta el cuarto año de servicio, establecido en el proyecto, para ejecutar el primer mantenimiento periódico.
- e) De los resultados de la evaluación funcional, en el sector III a los 2 años de servicio, la rugosidad ha pasado de un estado bueno a regular y se tiene fallas de pérdida de agregado de severidad media (87 M) en un porcentaje 24.2%; estableciéndose que requiere mantenimiento periódico y según el Manual de Conservación de carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Transito del MTC, corresponde a la actividad de Reconformación de la Capa de Rodadura.
- f) El deterioro de la superficie de rodadura del sector III, se debe a deficiencias en el proceso constructivo (inadecuada homogenización de los agregados, presencia de agregados mayores a 2", etc.).

RECOMENDACIONES:

- a) Continuar con el monitoreo, por parte del ente ejecutor Provias Descentralizado durante el periodo de mantenimiento concebido para el proyecto y el cual puede ser motivo de otro tema de tesis.
- b) En las siguientes investigaciones se debe considerar la medición del polvo, con equipo como por ejemplo DUSTMATE u otro.



- c) Se debe ejecutar en las siguientes investigaciones, la evaluación de terrenos de cultivo aledaños a la carretera, para determinar si existe un efecto nocivo por parte de la sal, al suelo de cultivo.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Aguayo, O. (2007). *Seminario Soluciones Básicas para Caminos de Bajo Tránsito*. Obtenida el 20 de Agosto de 2011, de http://www.mtc.gob.pe/portal/consultas/cid/Boletines_CID/25_AGOSTO/ARCHIVO/transporte/MTC.pdf
- [2] Alzubaidi, H. (1999). *Operation and maintenance of Gravel Roads A literature study. Swiden: Swedish National Road Administration*. Obtenida el 28 de Agosto de 2011, de <http://www.rahiran.ir/data/reports/reports1/vti/way%20and%20vehicle/operation%20and%20maintenance%20of%20gravel%20roads/M852A.pdf>
- [3] Campos, D.G y Espinosa, O.E. (2006). *Análisis Comparativo de la Eficiencia de Supresores de Polvo Mediante el Uso del Equipo Dustmate y el Efecto Económico para la Conservación Rutinaria y Periódica de Carpetas Granulares*. Obtenida el 28 de Agosto de 2011, de <http://seia.sea.gob.cl/archivos/20080528.203316.pdf>
- [4] Garnica, A.P.I, Pérez, S.A., Gómez, L.J.A., y Obil, V.E.Y. (2006). *Estabilización de Suelos con Cloruro de Sodio para su Uso en las Vías Terrestres*. Obtenida el 28 de Agosto de 2011, de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt201.pdf>
- [5] Hodges, J. (1993). *A Guide To The Structural Design of Bitumen Surfaced Roads in Tropical and Sub – Tropical*. Obtenida el 28 de Agosto de 2011, de http://www.transport-links.org/transport_links/filearea/publications/1_716_Microsoft%20Word%20-%20Overseas%20Road%20Note%2031%20edit1.pdf
- [6] Jameson, G. (2008). *Thecnical Basis of Austroads Guide to Pavement Technology Par 2: Pavement Structural Design..* Obtenida el 25 de Agosto de 2011, de <https://www.onlinepublications.austroads.com.au/collections/agpt/research-technical/?page=6>
- [7] Jameson, G. (2004). *Technical Basis of Austroads Pavement Design Guide*. Obtenida el 25 de Agosto de 2011, de <https://www.onlinepublications.austroads.com.au/collections/agpt/research-technical/?page=6>



-
- [8] Jameson, G. (2006). *Investigation of the Load Damage Exponent of Unbound Granular Materials under Accelerated Loading*. Obtenida el 29 de Setiembre de 2011, de <https://www.onlinepublications.austroads.com.au/collections/agpt/research-technical/?page=6>
- [9] Marcelo G.B., G.M., y Cordo, V.O. (2008). *Experiencia en la Aplicación de Cloruro de Magnesio Hexaidratado (Bischofita) para la Conservación de Caminos Enripiados en la Provincia de San Juan – Argentina*. Argentina: VIALTEC S.A. Obtenida el 20 de Agosto de 2011, de <http://xa.yimg.com/kq/groups/13240622/1196419917/name/A-68-Experiencia+Estabilizadores+Quimicos+en+SJ+Bustos+y+otros+CAVT+2009.pdf>
- [10] Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2008). *Manual de Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito*. Obtenida el 27 de Agosto de 2011, de http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manuales.htm
- [11] Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2007). *Especificaciones Técnicas Generales Para la Conservación de Carreteras*. Obtenida el 27 de Agosto de 2011, de http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manuales.htm
- [12] Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2007). *Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Transito*. Obtenida el 27 de Agosto de 2011, de http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manuales.htm
- [13] Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2004). *Estabilización química de suelos – caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado*. Perú: MTC E 1109 –2004 NORMA TÉCNICA DE ESTABILIZADORES QUÍMICOS DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES DGC y F-PERÚ
- [14] Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2006). *Manual Técnico de Mantenimiento Periódico para la Red Vial Departamental no Pavimentada*. Obtenida el 27 de Agosto de 2011, de http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manuales.htm



- [15] Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2007). *Manual para la Conservación de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Transito*. Obtenida el 27 de Agosto de 2011, de http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manuales.htm
- [16] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008). *Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial*. Obtenida el 27 de Agosto de 2011, de http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manuales.htm
- [17] Moreno, P.M. (2001). *Trabajo Final de Grado: Estabilización de Suelos para Pavimento Flexible con el Sistema Consolid*. Bolivia: Universidad Privada de Santa Cruz de la Sierra.
- [18] PRADENA, M., MERY, J.-P. y NOVOA, É. (2010). *Estabilización y mantenimiento de caminos no pavimentados sometidos a condiciones de hielo-nieve en zona de montaña*. Obtenida el 24 de Agosto de 2011, de <http://www.scielo.cl/pdf/rconst/v9n2/art10.pdf>
- [19] Quinche, G.W., Caraguay, C.W., Cartuche, M.A., Zuñiga, A., y Serrano R. (2007). *Estabilización de Suelos para el Uso en Vías Terrestres*. Obtenida el 24 de Agosto de 2011, de http://www.utpl.edu.ec/ucg/images/stories/Investigaciones/quinche_caraguay_cartuche_zu%F1iga_serrano.pdf
- [20] Sullivang, G.R. (1995). *Technical Manual – Unsurfaced Road Maintenance Management*. USA: Department Of The Army. Obtenida el 30 de Julio de 2011, de <http://armypubs.army.mil/eng/index.html>
- [21] Thenoux, G. y Vera, S. (2001). *Evaluación de la Efectividad del Cloruro de Magnesio Hexahidratado (Bischofita)*. Obtenida el 25 de Agosto de 2011, de http://www.google.com.pe/search?sourceid=navclient&hl=es&ie=UTF-8&rlz=1T4ADRA_esPE409PE409&q=Evaluaci%c3%b3n+de+la+efectividad+de+l+cloruro+de+magnesio+hexahidratado+%28Bischof%c3%adta%29+como+esta+bilizador+qu%c3%admico+de+capas+de+rodadura+granulares
- [22] Thenoux, G. y Vera, S. (2003). *Guía para la Aplicación de ROADMAG como Estabilizador de Caminos No Pavimentados*. Obtenida el 15 de Agosto de 2011, de <http://www.salmag.com/>



- [23] Thenoux, G. y Vera, S. (2003). *Guía para la Aplicación de ROADMAG como Supresor de Polvo de Caminos No Pavimentados*. Obtenida el 15 de Agosto de 2011, de
https://www.e-seia.cl/archivos/a00_20090113.152945.pdf
- [24] Thenoux, G., Halles, F.A., Gonzáles, Á.V., Barrera, E.G. y Miranda, J.C.A. (2002). *Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Transito*. Obtenida el 15 de Agosto de 2011, de
http://www2.udec.cl/~provincial/trabajos_pdf/06ThenouxDise%F1oBajotransito.pdf
- [25] Torres, T.R. (2011). *Situación de la Red Vial Nacional*. Obtenida el 25 de Agosto de 2011, de
http://www.proviasnac.gob.pe/Archivos/file/Documentos de Interes/taller capacitacion_cvns/01%20Raul%20Torres%20-%20Taller_28abril2011%20%5BModo%20de%20compatibilidad%5D.p
- [26] SALMAG (2005). *Proyecto Evaluación de Bischofita como Riego Supresor de Polvo*. Obtenida el 25 de Agosto de 2011, de
https://www.e-seia.cl/archivos/PRES_SIMIN_BISCHOFITA.pdf
- [27] SALMAG (2006). *Prueba de Estabilización y Control de Polvo*. Obtenida el 01 de Agosto de 2011, de
<http://seia.sea.gob.cl/archivos/20080528.182146.pdf>
- [28] Walker, D., T.I.C. (2002). *Pavement Surface Evaluation and Rating – Gravel PASER Manual*. Obtenida el 01 de Agosto de 2011, de
<http://www.dot.state.il.us/blr/p022.pdf>



ANEXOS:

ANEXO A MANUAL PASER

A.1 INTRODUCCIÓN

El Manual de Grava PASER presenta una metodología para evaluar visualmente y clasificar las condiciones de carreteras existentes. Se basa en la comprensión de las condiciones y los deterioros (fallas) más comunes en caminos de grava. Para establecer una clasificación para evaluar la magnitud de los deterioros en la carretera y las reparaciones necesarias o la reconstrucción necesaria a ejecutar.

➤ **Condiciones de superficie y defectos**

Es útil para separar diferentes condiciones comunes de las carreteras de grava. Cinco condiciones de la carretera se pueden utilizar para evaluar y clasificar las carreteras de grava, las cuales son:

1.- Superficie de rodadura

Altura y el estado de la superficie de rodadura, y una pendiente de la carretera libre desde el centro hacia los hombros de las zanjas de drenaje.

▶ Excellent crown.
No restriction to
water flow from
centerline to ditch.



Flat crown with
poor grading has
created secondary
ditch preventing
free drainage into
▼ roadside ditch.



▲ Poorly graded crown traps water causing it to run down center of road.

2.- Drenaje

La capacidad de las cunetas y alcantarillas en la carretera, para llevar el agua lejos de la carretera.



◀ Excellent drainage with wide deep ditches.

Partial drainage. Ditch and new culvert being added on left. Little or no drainage on right.





▲ Good ditches.



3. Capa de Grava

Espesor adecuado y la calidad de la grava para soportar las cargas de tráfico.



▶ Excellent gravel layer.



◀ Little or no gravel layer.



◀ Little or no gravel layer.

4. Deformación superficial

Ondulaciones, baches y ahuellamientos.

a) Ondulaciones

▼ Moderate washboarding in center of road.





▶ Severe washboarding traps water.

b) Huecos



◀ Small, isolated potholes. Routine regrading should eliminate them.
▶ Series of moderate potholes require scarification and regrading.



▶ Potholes at bridge may require scarification and hand patching. Gravel and debris should be cleaned off bridge deck.



◀ Severe potholes covering most of road need additional gravel and regrading.

c) Ahuellamientos



▲ Rut in wheel path needs regrading to eliminate ponding and prevent further road deterioration.

Numerous ruts and very poor drainage create soft roadbed conditions and need major regrading and new aggregate.





5. Defectos en superficie

Polvo y pérdida de agregado.

a) Polvo



◀ Heavy dust obscures vision and causes loss of roadway fine material. A dust control chemical may be advisable in areas of heavy traffic.

b) Pérdida de agregado



▲ Loose aggregate over most of road. Light grading and compaction during wet weather would improve stability and develop a surface crust.



► Heavy accumulation of loose aggregate on outside of roadway. Regrading and possibly new aggregate are needed.



Calificación de condición de superficie de la carretera:

Surface rating	Visible distress*	General condition/treatment measures
5 Excellent	No distress. Dust controlled. Excellent surface condition and ride.	New construction—or total reconstruction. Excellent drainage. Little or no maintenance needed.
4 Good	Dust under dry conditions. Moderate loose aggregate. Slight washboarding.	Recently regraded. Good crown and drainage throughout. Adequate gravel for traffic. Routine grading and dust control may be needed.
3 Fair	Good crown (3"-6"). Adequate ditches on more than 50% of roadway. Gravel layer mostly adequate but additional aggregate may be needed in some locations to correct washboarding or isolated potholes and ruts. Some culvert cleaning needed. Moderate washboarding (1"-2" deep) over 10%-25% of the area. Moderate dust, partial obstruction of vision. None or slight rutting (less than 1" deep). An occasional small pothole (less than 2" deep). Some loose aggregate (2" deep).	Shows traffic effects. Regrading (reworking) necessary to maintain. Needs some ditch improvement and culvert maintenance. Some areas may need additional gravel.
2 Poor	Little or no roadway crown (less than 3"). Adequate ditches on less than 50% of roadway. Portions of the ditches may be filled, overgrown and/or show erosion. Some areas (25%) with little or no aggregate. Culverts partially full of debris. Moderate to severe washboarding (over 3" deep) over 25% of area. Moderate rutting (1"-3"), over 10%-25% of area. Moderate potholes (2"-4") over 10%-25% of area. Severe loose aggregate (over 4").	Travel at slow speeds (less than 25 mph) is required. Needs additional new aggregate. Major ditch construction and culvert maintenance also required.
1 Failed	No roadway crown or road is bowl shaped with extensive ponding. Little if any ditching. Filled or damaged culverts. Severe rutting (over 3" deep), over 25% of the area. Severe potholes (over 4" deep), over 25% of area. Many areas (over 25%) with little or no aggregate.	Travel is difficult and road may be closed at times. Needs complete rebuilding and/or new culverts.

* Individual road sections will not have all of the types of distress listed for any particular rating. They may have only one or two types.



ANEXO B

TECHNICAL MANUAL TM 5-626 UNSURFACED ROAD MAINTENANCE MANAGEMENT

En este manual se explica cómo llevar a cabo en una inspección la toma de datos de campo de la superficie granular y como determinar el Índice de Condición de Carretera No Pavimentada (URCI). Es esencial tener un conocimiento completo de trabajo del URCI y técnicas de inspección de la condición superficial. Un importante componente del sistema de gestión de mantenimiento de carreteras sin pavimentar es la condición de la superficie y los procedimientos de calificación. Los datos obtenidos de estos procedimientos son la base principal para la determinación las necesidades de Mantenimiento y Reparación así como las prioridades.

➤ Condición de calificación de un camino sin pavimentar

El estado de la superficie está relacionado con varios factores, incluyendo la integridad estructural, la capacidad estructural, rugosidad, y la tasa de deterioro. La medición directa de todos estos factores requiere de costosos equipos y personal altamente capacitado. Sin embargo, estos factores pueden ser evaluados mediante la observación y la medición de los deterioros de la superficie.

b) URCI. El Índice de Condición de Carretera No Pavimentada es un indicador numérico basado en una escala de 0 a 100.

El URCI indica la integridad de carretera y condición operacional de la superficie. Su escala y calificaciones se muestran en la figura 3-1 y es idéntico al Índice de Condición del Pavimento (PCI) para superficies de carreteras.

c) Determinación del URCI se determina mediante la medición de los deterioros de la superficie. El método ha sido probado y ha demostrado ser un instrumento útil para la determinación de Mantenimiento y Reparación y necesidades prioritarias.

➤ Unidad de muestra

Una unidad de muestra es un área de identificación de la sección de carretera de no pavimentada; es el componente más pequeño de la red de carreteras no pavimentadas. Cada sección sin pavimentar se divide en unidades de muestreo con el propósito de una inspección de estado. Para carreteras no pavimentadas una unidad de muestra se define como un área aproximada de 2,500 pies cuadrados (\pm 100 pies cuadrados) ó 230 metros cuadrados (\pm 90 metros cuadrados).



URCI	RATING
100	Excellent
85	Very Good
70	Good
55	Fair
40	Poor
25	Very Poor
10	Failed
0	

Figure 3-1. URCI scale and condition rating.

(distress 86). The units of measure are shown in

➤ Tipos de Fallas

Los tipos de Fallas son las indicadas abajo y mostradas en la figura 4-1.

1. 81- Inadecuada Sección Transversal
2. 82- Inadecuado Drenaje
3. 83- Encalaminado
4. 84- Polvo
5. 85- Huecos
6. 86- Ahuellamiento
7. 87- Perdida de Agregado

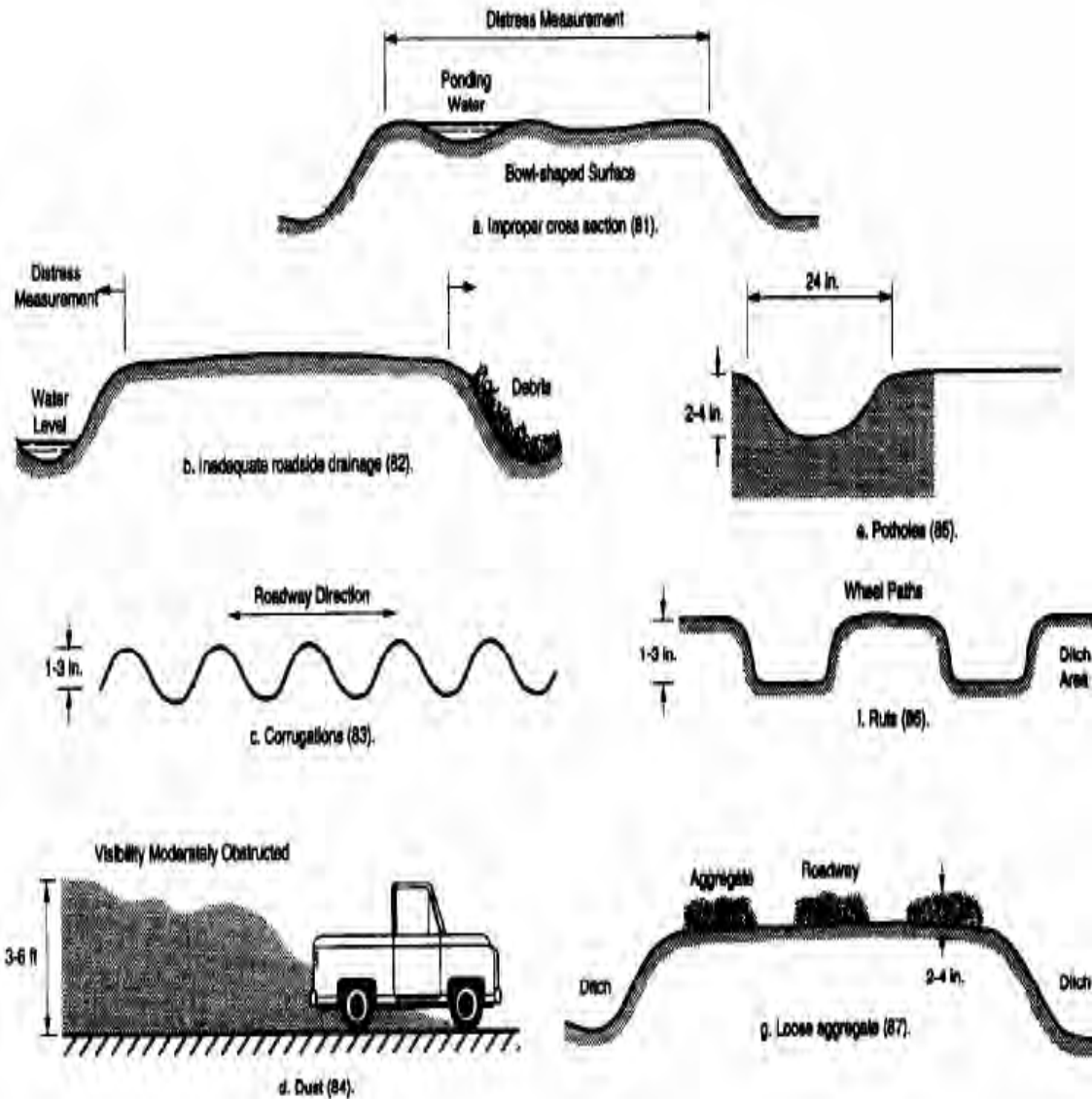


Figure 4-1. Medium severity distresses (English units).

➤ Descripción de Tipos de Fallas

1. Falla Tipo 81. Inadecuada Sección Transversal

Descripción. Un camino de tierra debe tener una superficie con una pendiente suficiente de la línea central al hombro para drenar toda el agua de la superficie de la carretera. No hay corona se utiliza en las curvas, ya que son por lo general en bancos. La sección transversal inapropiada cuando la superficie de la carretera no está en condiciones o mantenida para llevar agua a las acequias.

b. Niveles de severidad.

(1) Nivel de severidad baja L.



- (a) pequeñas cantidades de agua estancada o de pruebas de encharcamiento de agua en la superficie de la carretera.
 - (b) La superficie de la carretera es totalmente plano (no pendiente transversal).
- (2) Nivel de severidad media M.
- (a) Las cantidades moderadas de agua estancada o pruebas de encharcamiento de agua en la superficie de la carretera.
 - (b) La superficie de la carretera en forma de cuenco.
- (3) Nivel de severidad alto H.
- (a) Grandes cantidades de agua estancada o pruebas de encharcamiento de agua en la superficie de la carretera.
 - (b) La superficie de la carretera contiene depresiones severas.
- c. Cómo medir. La sección transversal inapropiada se mide en metros lineales (metros lineales) por muestra unidad (a lo largo de la línea central o en paralelo a la línea central). La sección transversal se extiende desde el exterior del quiebre del hombro en un lado de la carretera hacia fuera del quiebre del hombro en el otro lado. Diferentes niveles de severidad pueden existir dentro de la unidad de muestra.
- Por ejemplo, podría ser de 60 pies (18 metros) con severidad media y 40 pies (12 metros) conde escasa severidad. La longitud máxima será iguala la longitud de la unidad de muestra.

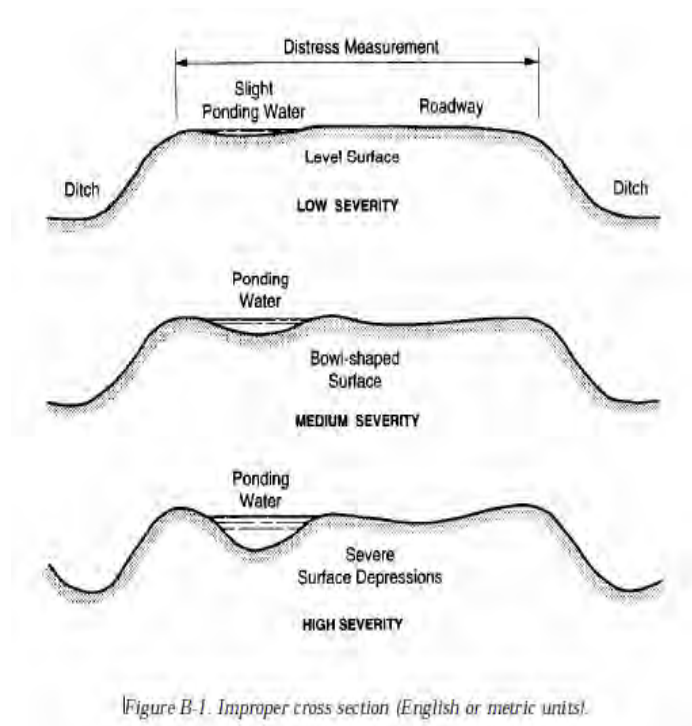


Figure B-1. Improper cross section (English or metric units).



Figure B-2. High severity example of improper cross section.

2. Tipo de Falla 82. Inadecuado drenaje

a. Descripción. Mal drenaje hace que el agua estanque. El drenaje se convierte en un problema cuando las zanjas y las alcantarillas no están en condiciones suficientemente buenas para llevar el agua de escorrentía debido a inadecuada forma o de mantenimiento.

b. Niveles de gravedad.

(1) Nivel de severidad baja L, pequeñas cantidades de las siguientes circunstancias:

- (a) Encharcamiento de agua o evidencia de encharcamiento agua en las zanjas.
- (b) El crecimiento excesivo o desechos en las zanjas.

(2) Nivel de severidad media M, cantidades moderadas de las siguientes circunstancias:

- (a) Encharcamiento de agua o las pruebas de encharcamiento agua en la superficie de la carretera.
- (b) El crecimiento excesivo o desechos en las zanjas.
- (c) la erosión de las zanjas en los hombros o carreteras.

(3) Nivel de severidad alto H, grandes cantidades de las siguientes circunstancias:

- (a) Encharcamiento de agua o las pruebas de encharcamiento de agua en las zanjas.
- (b) El agua corriendo a través del camino.
- (c) El crecimiento excesivo o desechos en las zanjas.
- (d) La erosión de las zanjas en los hombros o carretera.

c. ¿Cómo medir. Problemas de drenaje se mide en metros lineales (metros lineales) por sección paralelo a la línea central. La longitud máxima es de dos veces la longitud de la unidad de muestra (dos zanjas para la longitud total de la unidad de muestra), para ejemplo, una unidad de muestra puede tener 120 pies (36 metros), con baja gravedad y 35 pies (10,5 metros) con alta severidad.

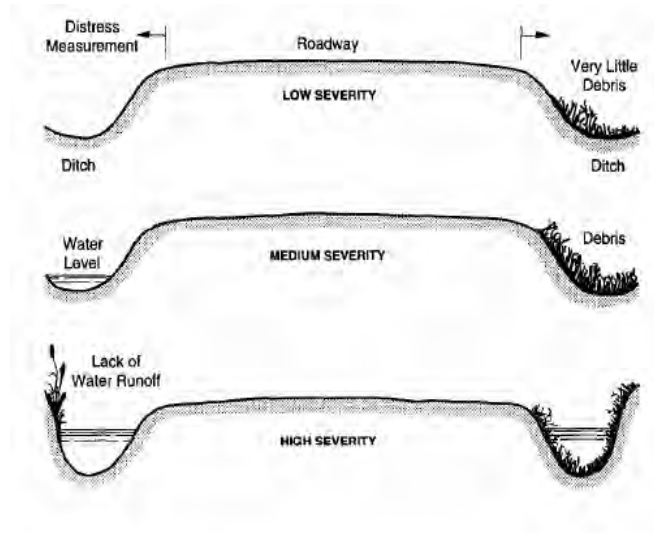


Figure B-3. Inadequate roadside drainage severity levels (English or metric units).



Figure B-4. High severity example of inadequate roadside drainage.

3. Tipo de Falla 83. Encalaminado

a. Descripción. Encalaminado (también conocido como ondulaciones) son las crestas muy próximas entre simas y los valles (ondas) a intervalos más o menos regular. Las crestas son perpendiculares a la dirección del tráfico. Este tipo de falla es generalmente causada por el tráfico y pérdida de agregado. Estos encalaminados usualmente se forman en las montañas, en curvas, en las zonas de aceleración o desaceleración, o en las zonas donde la carretera es floja o con huecos.

b. Niveles de severidad.

(1) Nivel de severidad baja L, ondulaciones son menos de 1 pulgada (2,5 centímetros) de profundidad.

(2) Nivel de severidad media M, entre las ondulaciones son 1 y 3 pulgadas (2,5y 7,5centímetros) de profundidad.



(3) Nivel de severidad alta H, corrugaciones más de 3 pulgadas (7,5centímetros).

c. Cómo medir. Ondulaciones, se miden en metros cuadrados (metros cuadrados) de área de superficie por muestra de unidad. La cantidad no puede exceder el total de área de la unidad de muestra. Por ejemplo, una unidad de muestra puede tener 230 metros cuadrados (21metros cuadrados) con severidad moderada y 50metros cuadrados (4,6metros cuadrados) con una severidad alta.

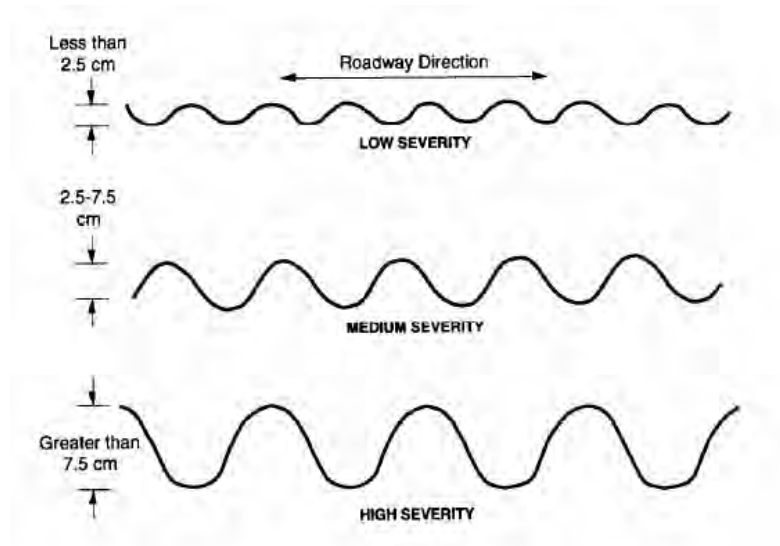


Figure B-5. Severity Levels of corrugations (English and metric units).



Figure B-6. Medium severity example of corrugations.

4. Tipo de Falla 84. Polvo

a. Descripción. El desgaste de tráfico en caminos de tierra con el tiempo se afloja las partículas más grandes de la carpeta del suelo. Como pasa el tráfico, nubes de polvo crean



un peligro para los vehículos y causar problemas ambientales significativos.

b. Niveles de gravedad.

(1) Nivel de severidad baja L, el tráfico normal produce un polvo fino que no obstruye la visibilidad.

(2) Nivel de severidad media M, el tráfico normal produce una nube de espesor medio que parcialmente obstruye la visibilidad y hace al tráfico reducir la velocidad.

(3) Nivel de severidad alta H, el tráfico normal produce una nube muy espesa que obstruye gravemente la visibilidad y hace al tráfico disminuir la velocidad de manera significativa o detenerse.

c. Cómo medir. Conducir un vehículo a 25 millas por hora (40kilómetros por hora) y ver la nube de polvo. El polvo se mide como bajo, medio o de alta severidad de la unidad de muestra.

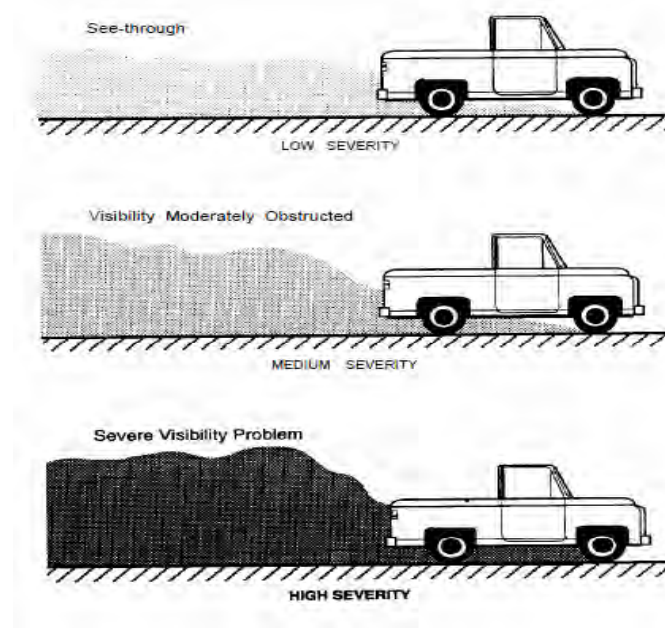


Figure B-7. Dust severity levels (English or metric units)



Figure B-8. High severity example of dust.

5. Tipo de Falla 85. Huecos

a. Descripción. Los Huecos son depresiones en forma de cuenco en la superficie de la carretera. Por lo general son menos de 3 pies (1 metro) de diámetro. Los huecos se producen cuando el tráfico desgasta pequeñas piezas de la superficie de la carretera. Crecen más rápido cuando el agua se acumula dentro del agujero. Luego el camino continúa desintegrándose por la pérdida del material superficial o puntos débiles en los suelos subyacentes.

b. Niveles de gravedad. Los niveles de severidad de huecos se basan tanto en el diámetro y la profundidad del hueco de acuerdo a la tabla B-1 a continuación:

Table B-1. Pothole severity levels

Maximum depth	Average diameter			
	Less than 1 foot (0.3 meter)	1-2 feet (0.3-0.6 meter)	2-3 feet (0.6-1 meter)	More than 3 feet ¹ (1 meter)
1/2-2 inches (1.5-5 cm)	L	L	M	M
2-4 inches (5-10 cm)	L	M	H	H
4+ inches (10+ cm)	M	H	H	H

¹If the pothole is over 3 feet (1 meter) in diameter, the area should be determined in square feet (square meters) and divided by 7 to find the equivalent number of potholes.

c. Cómo medir. Los huecos se miden contando el número que son de baja, media y de alta severidad en una unidad de muestra y su registro separado por nivel de gravedad. Por ejemplo, puede ser 14 huecos de severidad media y 8 huecos de severidad baja.

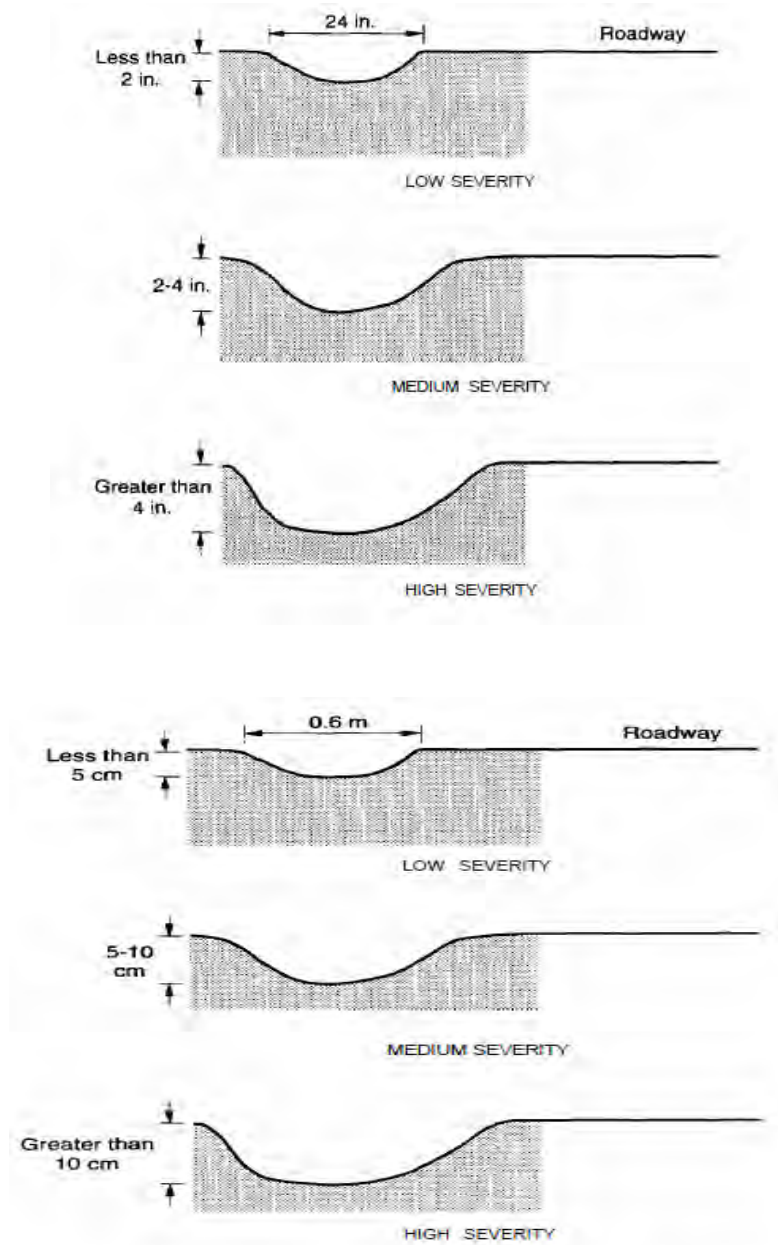


Figure B-9. Severity levels of potholes (English and metric units)



Figure B-10. High severity example of potholes.

6. Tipo de Falla 86. Ahuellamiento.

a. Descripción. Un Ahuellamiento es una depresión en la superficie en la trayectoria de la rueda que es paralela a la línea central del camino. Ahuellamientos son causados por una deformación permanente en cualquiera de las capas de la carretera o la subrasante. Son el resultado de pases repetidos del vehículo, especialmente cuando la carretera es débil. Ahuellamiento significativo puede destruir la carretera.

b. Niveles de severidad.

(1) Nivel de severidad baja L, Ahuellamientos son menos de 1 pulgada (2,5 centímetros) de profundidad.

(2) Nivel de severidad media M, los Ahuellamientos se encuentran entre 1 y 3 pulgadas (2,5 a 7,5 centímetros) de profundidad.

(3) Nivel de severidad alta H, Ahuellamientos más profundos de 3 pulgadas (7,5 centímetros).

c. Cómo medir. Ahuellamientos se miden en pies cuadrados (metros cuadrados) de superficie por cada unidad de muestra. Por ejemplo, una unidad de muestra puede tener 75 pies cuadrados (7 metros cuadrados) con alta severidad y 240 pies cuadrados (23 metros cuadrados) con severidad media.

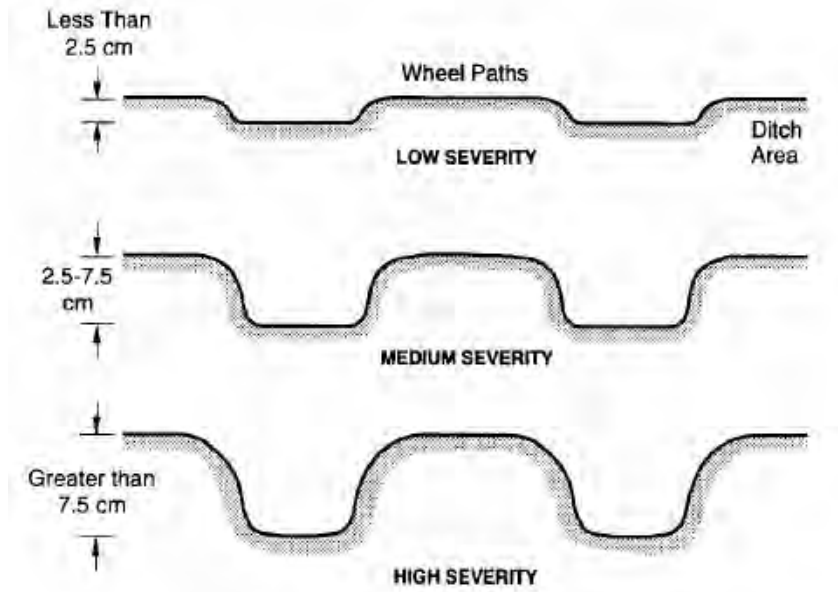


Figure B-11. Severity levels of ruts (English and metric units).



Figure B-12. Low severity example of ruts.



7. Tipo de Falla 87. Perdida de agregado.

a. Descripción. Es el desgaste de tráfico en caminos de tierra con el tiempo, de las partículas más grande de la carpeta del suelo. Esto nos lleva perder las partículas de agregado en la superficie de la carretera o el hombro. El tráfico se mueve y suelta partículas de agregado lejos de la ruta de la rueda normal de la carretera y forma bermas en el centro o a lo largo del hombro (las zonas menos transitadas).

b. Niveles de severidad.

(1) Nivel de severidad baja L, agregado suelto en la superficie de la carretera, o una berma de agregado (menos de 2 pulgadas [5centímetros] de profundidad) en el hombro o zona menos transitada.

(2) Nivel de severidad media M, agregado moderado en berma (entre 2 y 4 pulgadas [5y10 centímetros] de profundidad) en el hombro o la zona menos transitada. Una gran cantidad de partículas finas del suelo se encuentra generalmente sobre la superficie de la carretera.

(3) Nivel de severidad alta H, gran cantidad de agregado en berma (más de 4 pulgadas [10 centímetros] de profundidad) en el hombro o en la zona menos transitada.

c) Cómo medir. La pérdida de agregado se mide en metros lineales paralelos a la línea central en una unidad de muestra. Cada berma se mide por separado. Por ejemplo, si una unidad de muestra que tiene 100 pies (30metros) de largo tiene tres bermas de perdida de de agregado de severidad media a cada lado y en el centro - entonces la medida sería de 300pies (90metros) en el de severidad media.

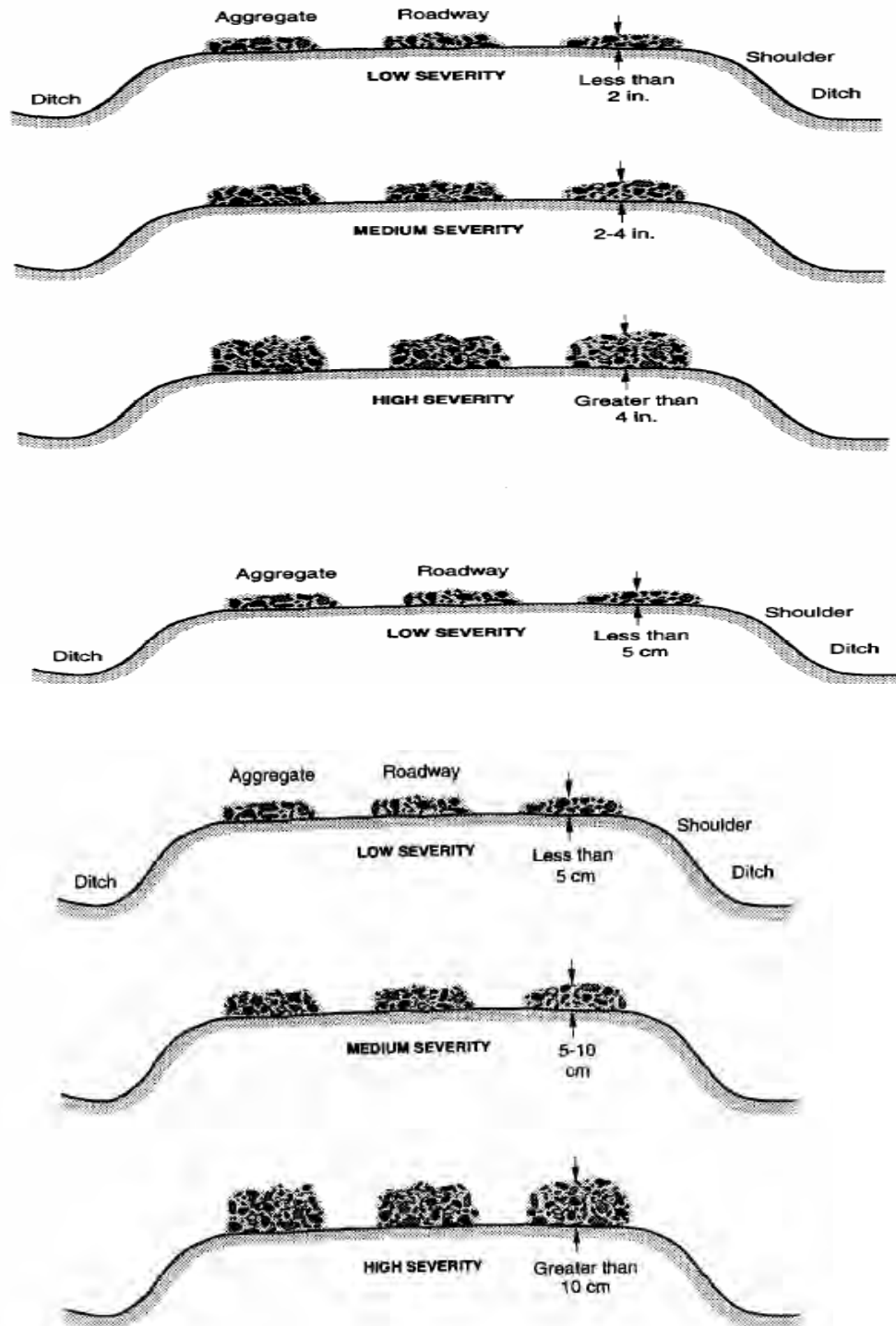


Figure B-13 Loose aggregate severity levels (English and metric units).

Cómo medir. La pérdida de agregados se mide en metros lineales paralelos a la línea central en una unidad de muestra. Cada berma se mide por separado. Por ejemplo, si una unidad de muestra que viene con los pies (30metros) de largo tiene tres bermas de



severidad media acumulada sueltos uno a cada lado y uno por la mitad entonces la medida sería de 300 pies (90 metros) en el de severidad media.

➤ **Mantenimiento y Reparación**

Requerimientos y prioridades de Mantenimiento y Reparación, están muy relacionados con el URCI, ya que el URCI se determina por la información de fallas.

El examen de los tipos específicos de fallas, severidad, y las cantidades presentes en una sección de carretera puede ayudar a identificar la causa del deterioro de la superficie, su condición y finalmente su requerimiento de mantenimiento y reparación.

Programa de mantenimiento integral

A continuación se presentan cinco pasos para establecer un programa de mantenimiento integral para carreteras no pavimentadas.

1. Reconocimiento de la red vial (paso uno).
 2. El establecimiento de un índice de condiciones de la carretera (paso dos).
 3. Establecimiento de prioridades de mantenimiento.(paso tres).
 4. La determinación de las alternativas de mantenimiento (paso cuatro).
 5. Cálculo de los costos reales de mantenimiento (paso cinco).
- a). **Primer paso.-** evaluación de la red de carreteras. Evaluación de todas las carreteras de la red y dividir las en ramas, secciones y unidades de muestra. Las ramas son una sola área, como una carretera o un estacionamiento. Una sección es una división de una rama con características constantes como sigue.
- 1.- Estructura.
 - 2.- Transito.
 - 3.- Historia de construcción.
 - 4.- Rango de carretera.
 - 5.- de drenaje y los hombros
 - 6.-Una unidad de muestra, la división más pequeña, por lo general de 100 pies de largo “30 metros de largo”) del segmento de una sección y es la zona constantemente estudiada y usado para determinar la condición estado de las carreteras. Idealmente, un inspector debe realizar una "inspección del parabrisas" de toda la red vial, una vez en cada estación ósea cuatro veces al año), y una inspección detallada de las unidades de muestreo anualmente. (Nota: División de la red de carreteras es un requisito de una sola vez, después de lo cual se realizan pequeños ajustes según sea necesario).



b. Paso dos. Establecer los índices de condiciones de carretera no pavimentada (URCI). La Tasa de la muestra de unidad con las siete fallas y el nivel de severidad, bajo, medio o alto de cada uno. Las cuales se enumeran a continuación:

- (1) 81- inadecuada sección transversal.
- (2) 82- inadecuado drenaje.
- (3) 83- encalaminado.
- (4) 84- polvo.
- (5) 85- huecos.
- (6) 86- ahuellamiento.
- (7) 87 pérdida de agregado.
- (8) El URCI se utiliza para determinar el alcance y la magnitud de los problemas de carreteras y el Mantenimiento y Reparación requerido.

c. Paso tres. Establecer prioridades para el mantenimiento mediante el uso de la figura 3.37. El mantenimiento de prioridad se establece por la combinación del URCI y la cantidad de tráfico diario en la carretera.

1. Categoría I carretera tiene más de 200 vehículos por día.
2. Categoría II tiene 100 a 199 vehículos por día.
3. Categoría III tiene 50 a 99 vehículos por día.
4. Categoría IV tiene 0-49 vehículos por día.
5. Buscar la calificación de la carretera evaluada de los valores URCI en el lado izquierdo de la figura 4-2, cuanto más bajo sea el URCI y cuanto mayor sea el volumen de tráfico, la prioridad es más grande. Si la calificación URCI es inferior a la línea continua para la categoría de tráfico, la prioridad es más alta. Todos los caminos dentro de la red puede ser clasificado como de prioridad baja, medio o alto, de acuerdo a la categoría de carretera, el presupuesto, y la práctica local.

El mantenimiento de una carretera con una alta calificación de URCI es menos costosa que la reconstrucción de una carretera fallada.

6. Los criterios para establecer prioridades para tramos de carretera donde la rutina de Mantenimiento y Reparación es requerido, son diferentes de los utilizados para las secciones que necesitan mayor Mantenimiento y Reparación.

(7) Las prioridades de las secciones que requieren de rutina de Mantenimiento y Reparación es una función de tipos de fallas individuales existentes y severidad. Un método solo es usualmente aplicado para un área determinada, que puede consistir de muchos sectores, en lugar de los diferentes métodos de Mantenimiento y Reparación de



una sección. Fallas que pueden tener un considerable efecto negativo sobre el performance operacional de la sección son usualmente corregidas primero. Por ejemplo, de mediana y alta severidad, corrugaciones, y huecos por lo general reciben alta prioridad

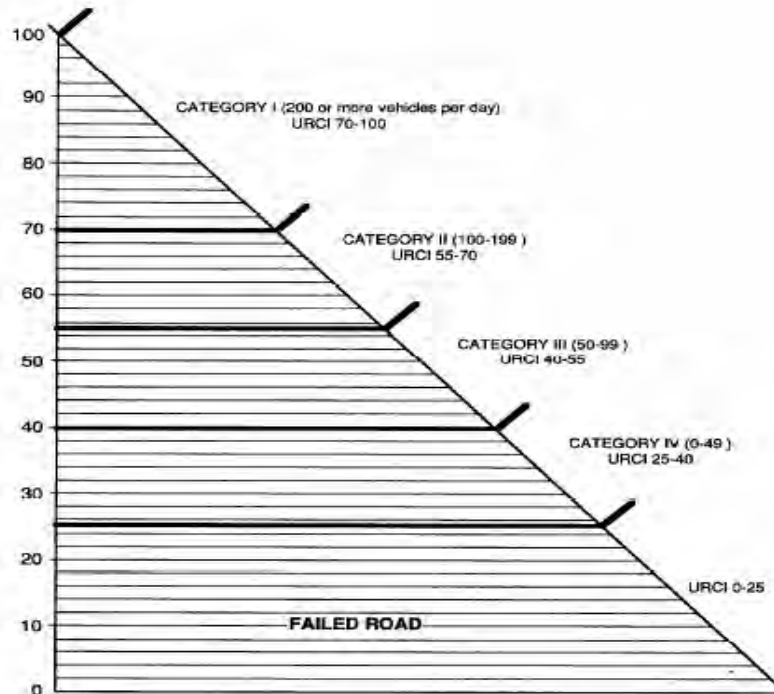


Figure 4-2. Maintenance priority graph

d. Paso cuatro. Determinar las alternativas de mantenimiento. En el proceso de selección de alternativas viables, una de las hipótesis principales es que la estrategia se aplicará en 2 años. El proceso de selección de posibles alternativas de M & R se describe a continuación.

(1) Determinar la estrategia de Mantenimiento y Reparación.

(a) El propósito de este paso es identificar los tramos de carretera que requieren un análisis integral.

Los datos necesarios para la identificación son el URCI, fallas, categoría de carreteras, uso de las carreteras, el tráfico y gestión de políticas.

(b) En base a estos datos, una limitación de valor URCI es establecido para cada tipo de carretera: por ejemplo, 70 para carreteras principales con el volumen de tráfico superior a 200 vehículos por día. Si la carretera tiene un URCI por encima del valor límite, la continuación de políticas de mantenimiento existentes es recomendable a menos que la revisión de los datos de fallas indican que la mayoría de la fallas es causada por la



inadecuada resistencia de la carretera o si la tasa de deterioro de la superficie se piensa que será alta, o ambas.

(c) Si la decisión de la estrategia de Mantenimiento y Reparación es continuar con las políticas de mantenimiento existentes, la información en la tabla 4.-01 se utiliza como una guía para seleccionar el método adecuado mantenimiento. Esta tabla presenta los métodos posibles de mantenimiento para cada tipo de fallas para un nivel de severidad dado.

2) Determinar las alternativas de mantenimiento. Hacer esto buscando el tipo de falla y la severidad de código en la tabla 4-01.

(a) El problema o la falla aparece en la columna de la izquierda. Es seguido por el nivel de severidad. Basta con localizar la falla aplicable y el nivel de severidad y siguiendo a través de la página la columna de la descripción. Las alternativas de mantenimiento se dan allí.

La guía de costos es útil para determinar la cantidad de mano de obra, material o equipos necesarios para cada alternativa. Una descripción de los costos involucrados en cada código se encuentra al final de la tabla.

b) Por ejemplo, utilizar la entrada de huecos de la tabla 4-1. Baja severidad – grado sólo - costo código B, indica los costos de mano de obra, equipo y gastos generales.

c) Es importante reconocer que los problemas de drenaje son generalmente la causa básica de un número de fallas. Encalaminados, huecos y ahuellamiento, mientras que corregido por la clasificación, puede haber sido creado por un camino que no drena adecuadamente. Por lo tanto, un drenaje adecuado, tanto en el, y al lado, del camino debe ser dirigida a eliminar o disminuir fallas futuras y reducir la cantidad de calificaciones necesarias para mantener adecuadamente una carretera. El drenaje adecuado es siempre necesario.

d) Paso cinco. Calcular los costos reales de mantenimiento.

Un registro anual de mantenimiento debe ser completo. Un formato de ejemplo se da en la figura 4-3, lista de todos los caminos por orden de prioridad con la primera alta prioridad hasta la última. Para la carretera 1 (máxima prioridad) muestra el total de fondos disponibles. Muestra el costo estimado para mejorar la carretera. Restando la cantidad necesaria de la cantidad disponible, usted puede fácilmente ver el saldo restante. Ese equilibrio ahora se convierte en el total disponible para la siguiente carretera. Poner esa cantidad para la segunda carretera. Poner el costo estimado para reparar la segunda carretera y restar de nuevo. El nuevo equilibrio se muestra como los fondos disponibles para la tercera carretera. Repita este proceso hasta que todos los fondos disponibles se utilicen.



Cuando el saldo es de \$ 0.00, todo el mantenimiento requerido que se encuentra actualmente sin fondos es fácil de ver. Esto permite la asignación de dinero con mayor eficacia y, si es necesario, la justificación de las solicitudes de otros fondos

Tabla 4-1. Maintenance alternatives

<i>Distress</i>	<i>Severity code</i>	<i>cost code¹</i>	<i>Description</i>
81-Improper cross section	L	B	Grade only.
	M	B/C	Grade only/grade and add material (water or aggregate or both), and compact. Bank curve. Adjust transitions.
	H	C	Cut to base, add aggregate, shape, water, and compact.
82-Improper roadside drainage	L	B	Clear ditches every 1-2 years.
	M	A	Clean out culverts.
		B	Reshape, construct, compact or flare out ditch.
	H	C	Install underdrain, larger culvert, ditch dam, rip rap, or geotextiles.
83-Corrugations	L	B	Grade only.
	M	B/C	Grade only/grade and add material (water or aggregate or both), and compact.
84-Dust stabilization	H	C	Cut to base, add aggregate, shape, water, and compact.
	L	C	Add water.
	M	C	Add stabilizer.
	H	C	Increase stabilizer use. Cut to base, add stabilizer, water, and compact. Cut to base, add aggregate and stabilizer, shape, water, and compact.
85-Potholes	L	B	Grade only.
	M	B/C	Grade only/grade and add material (water, aggregate, or 50/50 mix of calcium chloride and crushed gravel), and compact.
86-Ruts	H	C	Cut to base, add aggregate, shape, water, and compact.
	L	B	Grade only.
	M	B/C	Grade only/grade, add material, and compact.
87-Loose aggregate	H	C	Cut to base, add aggregate, shape, water, and compact.
	L	B	Grade only.
	M	B/C	Grade only/grade, add material, and compact.
	H	C	Cut to base, add aggregate, shape, water, and compact.

¹Cost code guide: A = labor, overhead; B = labor, equipment, overhead, C = labor, equipment, materials, overhead.



<u>Road</u>	<u>Total Funds Available for Maintenance</u>	<u>Estimated cost to Upgrade Road</u>	<u>Balance</u>
1. Eaton Road	\$ 50,000	\$ 2,500	\$ 47,500
2. Beaucham Road	47,500	16,500	31,000
3. Gerard Road	31,000	4,000	27,000
4. Lebraun Lane	27,000	20,000	7,000
5. Roberts Road	7,000	12,000	-5,000
6. Glenn Road	0	9,000	Unfunded
7. Leland Lane	0	10,000	Unfunded

Figure 4-3. Sample yearly maintenance record.



 QUIMPAC S.A.	MANUAL DE ESPECIFICACIONES TECNICAS DE PRODUCTO TERMINADO	Código : SHEFCM01 Revisión : 00 Aprobado : GC
	CLOURURO DE MAGNESIO	Fecha : 02/02/09 Página : 1 de 1

Copia Nro.	
Asignada a:	

1. **Producto:** Quimmag 26
2. **Fórmula química:** MgCl₂
3. **Otras Denominaciones:** Cloruro de Magnesio
4. **Especificaciones Técnicas**

Características	Límites	Unidad	Métodos de Ensayo
Cloruro de Magnesio (como MgCl ₂)	Min. 110	g/l	CMEF001
Sulfatos (como CaSO ₄)	Max. 1.0	g/l	CMEF002
Densidad (a 25° C)	Min. : 28	°Be	CMEF003
PH	6.5 – 8.5		CCLPT005
Aspecto	Líquido transparente exento de partículas en suspensión.		

5. **Presentaciones**
 - Líquido a granel en carro – tanque o sistema
6. **Tiempo de vida**
 3 años a partir de la fecha de producción.

Elaborado por	Revisado por	Aprobado por
Jefe Acogimiento de la Calidad Ing. Las Gamas O	Superintendente Salinas Huelmo Ing. Robert Gutierrez de la Cruz	Dir. Prod. Div. Sal. Ing. José Aranguen

Prohibido Reproducir sin Autorización de la Superintendencia de las Salinas Huelmo



QUIMPAC S.A.

PLANTA: SALINAS HUACHO
Panamericana Norte Km 130
TELEFONO: (511) 6142000 Anexo 1480
AV. Nestor Gambeta N° 8583-8586 - Callao



CERTIFICADO DE CALIDAD

N° 0025

El que suscribe, certifica que en nuestro Laboratorio de Control de Calidad, se han efectuado las pruebas analíticas.

PRODUCTO : QUIMMAG 28
CLIENTE : KEROMETALIC
TRANSPORTE : Transportes Serpico
CHOFER : Eduardo Soto Chávez
PLACA : YI 7528 -ZG5589
CANTIDAD : 30.0 TM
G.REMIS. / ALB. : 002 - 100728
HORA DE EMISION : 11:50 p.m.

RESULTADOS DE ANALISIS

			METODOS DE ENSAYO
CLORURO DE MAGNESIO (Como MgCl ₂)	g/l	142.73	CMEF001
SULFATOS (Como CaSO ₄)	g/l	0.55	CMEF002
DENSIDAD	*Be	28.40	CMEF003
PH		6.80	CCLPT005

Huacho 18 JUNIO 2009

OBSERVACION:

FECHA DE ANALISIS: 18/06/09



Ing. Luis Garcia
Control de Calidad