

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
ESCUELA DE POSTGRADO
SECCION DE POSTGRADO EN INGENIERIA



**EFICIENCIA DE LA CONSERVACION VIAL, EMPLEANDO ADITIVOS
QUIMICOS EN SUPERFICIES DE RODADURA EN CARRETERA NO
PAVIMENTADA : ASCOPE – CONTUMAZA.**

TESIS

Para Optar el Grado de

MAESTRO EN TRANSPORTES Y CONSERVACION VIAL

AUTOR:

Bach. GERMAN SAGASTEGUI VASQUEZ

ASESOR:

Dr. FIDEL GERMAN SAGASTEGUI PLASENCIA

TRUJILLO – PERU

2016

MIEMBROS DEL JURADO CALIFICADOR

TESIS :“EFICIENCIA DE LA CONSERVACION VIAL, EMPLEANDO ADITIVOS QUIMICOS EN SUPERFICIES DE RODADURA EN CARRETERA NO PAVIMENTADA : ASCOPE – CONTUMAZA”.

Presentada por:

Bach. GERMAN SAGASTEGUI VASQUEZ

Aprobado por el jurado:

Ms.

PRESIDENTE

Ms.

SECRETARIO:

Ms.

VOCAL

Dr. FIDEL GERMAN SAGASTEGUI PLASENCIA

ASESOR

DEDICATORIA

A mis queridos Padres, Blanca y Fidel German;
Quienes me apoyaron e inculcaron Valores y
que han hecho en mí ; una persona integral.

A mis hermanos Erick y Liz Evelyn que sea
un ejemplo , para seguir con sus estudios ,
el ánimo y perseverancia hasta el final.

A mi Esposa Eliza y a mi Hija Mia
Quienes son mi aliento para seguir
superándome cada día más y más.

A mis suegros Luis y Genoveva,
a mis cuñadas Laura Y Luciana ;
quienes con sus consejos y aliento
permitieron la culminación de mi Maestría.

GERMAN

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a todos los Docentes de la Maestría de Transportes y Conservación Vial de la Universidad Privada Antenor Orrego, y en especial a mi Padre y Asesor de Tesis Dr. Fidel German Sagastegui Plasencia, quien con mucha tolerancia y predisposición en todo momento, me brindó el asesoramiento oportuno para culminar mi Tesis.

Así mismo debo agradecer a los funcionarios del Ministerio de Transportes de Trujillo y Lima y a los funcionarios de la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima; por su apoyo valioso, para realizar los trabajos de ensayos de laboratorios de determinar el tipo de aditivos que se ha empleado en la presente Tesis.

El Autor

PRESENTACION

SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO:

Dando cumplimiento al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, es grato poner a vuestra consideración, la presente Tesis titulada **“EFICIENCIA DE LA CONSERVACION VIAL, EMPLEANDO ADITIVOS QUIMICOS EN SUPERFICIES DE RODADURA EN CARRETERA NO PAVIMENTADA : ASCOPE – CONTUMAZA”** ; con el propósito de obtener el Grado de Maestro en Transportes y Conservación Vial

RESUMEN

Las carreteras no pavimentadas se deterioran más rápido con respecto a una vía pavimentada. Las partículas finas al aglutinarse con los agregados gruesos expuestos al medio ambiente pierden humedad; y con la acción física externa del tránsito vehicular genera disgregamiento superficial, convirtiéndose así en polvo particulado y posteriormente aparecen fallas superficiales como baches, ondulaciones, ahuellamientos, etc.

Para poder conservar dichas superficies y que no experimenten un deterioro acelerado en el tiempo, se propuso aplicar un aditivo químico :Cloruro de Magnesio Hexahidratado o Bischofita como alternativas de solución. Se aplicó éste aditivo in situ de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, al tipo de suelo y de dos variables determinantes para su aplicación respectiva: El Índice de plasticidad y el porcentaje de finos que pasan la malla N°200.

La construcción de estos sectores de prueba estuvo sujeta a las mismas condiciones de clima, mismas condiciones geométricas de tráfico vehicular y del mismo tipo de suelo (aporte de material de cantera). Luego de hacer el monitoreo después de aplicado, estos productos se compararán y proyectarán su desempeño en el tiempo por medio de dos indicadores: El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el Índice de Condición en Vía No Pavimentada (ICVNP).

El Cloruro de Magnesio Hexahidratado o Bischofita es una sal. Ésta posee diversas propiedades que permiten su uso potencial como estabilizador químico de capas de rodadura granulares: capacidad de absorber y retener la humedad del ambiente circundante, incrementa la tensión superficial del agua y reduce la presión de vapor del agua.

La investigación tuvo el propósito de evaluar la efectividad de la Bischofita como estabilizador químico de caminos no pavimentados, y se basa en resultados de ensayos de laboratorio y la evaluación de tramos de prueba de capas de rodadura estabilizadas con Bischofita en zonas áridas y semi-áridas de la carretera que une las provincias de Ascope (Departamento la Libertad) y Contumaza. (Departamento Cajamarca).

En general, los resultados de terreno han sido más significativos que los de laboratorio, observándose que la adición de Bischofita permite obtener una capa de rodadura estable, reduce la formación de baches, corrugaciones, pérdida de áridos y emisiones de polvo, y mejora la calidad de rodadura.

Palabras clave: Eficiencia de conservación, aditivo químico Bischofita, carretera no pavimentada.

ABSTRACT

Unpaved roads deteriorate faster with respect to a paved road. The fine to coarse aggregates agglomerate with particles exposed to the environment lose moisture; and the external physical action of vehicular traffic generated surface disgregamiento, becoming dust and particulate surface faults appear later as potholes, corrugations, ruts, etc.

In order to keep these surfaces and not experience an accelerated decline over time, it proposed applying a chemical additive: Magnesium Chloride Hexahydrate or bischofita as alternative solutions. The plasticity index and the percentage of fines passing the mesh No. 200: This site additive according to the manufacturer's recommendations, soil type and two key variables for their respective application was applied.

The construction of these sectors trial was subject to the same weather, same geometric conditions of traffic and the same soil type (filler material quarry). After making monitoring after application, these products are compared and project their performance over time by two indicators: International Roughness Index (IRI) and Road Condition Index in No Paved (ICVNP).

Magnesium Chloride Hexahydrate or bischofita is a salt. This has several properties that enable its potential use as chemical stabilizer rolling granular layers: ability to absorb and retain moisture in the surrounding environment, increases the surface tension of water and reduces the vapor pressure of water.

The research was to evaluate the effectiveness of bischofite as a chemical stabilizer unpaved roads, and is based on results of laboratory tests and evaluation of test sections of surface layers stabilized bischofita in arid and semi-arid of the road linking the provinces of Ascope (Department Freedom) and Contumaza. (Department Cajamarca).

Overall, the results of land have been more significant than laboratory observed that the addition of bischofita allows a layer of stable rolling reduces rutting, corrugations, loss of aggregate and dust emissions, and improves the quality rolling.

Keywords : Efficiency conservation , chemical additive bischofita , unpaved road.

INDICE

Resumen	vi
Abstract	viii
CAPÍTULO I: INTRODUCCION	1
1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.	4
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA.	9
1.3. OBJETIVOS	9
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	9
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.4. FORMULACION DE LA HIPOTESIS	9
1.5. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION	10
1.6. LIMITACIONES	11
CAPÍTULO II: MATERIAL Y METODOS	12
2.1. COMPOSICION DE LA INF.VIAL Y LA RED NACIONAL	13
2.2. POBLACION	18
2.3. MARCO TEORICO	19
2.4. CARRETERAS NO PAVIMENTADAS	19
2.5. DETERIORO EN CARRETERAS SIN PAVIMENTAR	20
2.6. DEFECTOS COMUNES EN VÍAS SIN PAVIMENTAR	21
2.7. CONSERVACIÓN VIAL	25
2.8. MANTENIMIENTO VIAL Y SU RELACIÓN CON RUGOSIDAD.....	28
2.9. PROGRAMA PROYECTO PERU	30
2.10. MEDICIÓN DE NIVELES DE SERVICIO	33
2.11. ESTABILIZACIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS	36
2.12. MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS	40
2.13. ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACIÓN POR MEDIO QUÍMICO ...	45
2.14. PROPIEDADES DE CLORURO DE MAGNESIO (BISCHOFITA)...	47

2.15. EVALUACIÓN FUNCIONAL	50
2.16. MÉTODOS PARA MEDIR LA RUGOSIDAD.....	52
2.17. EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA	68
2.18. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.....	70
CAPITULO III : RESULTADOS	83
3.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	84
3.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN NO CONFINADA (CNC)	86
3.3. PROYECTOS DE CAMINOS ESTABILIZADOS CON BISCHOFITA.	90
3.4. TRAMOS DE PRUEBA	92
3.5. DOSIS DE BISCHOFITA	96
3.6. VENTAJAS ESTABILIZACIÓN CON BISCHOFITA	101
3.7. BONDADDES ESTABILIZACIÓN CON CLORURO DE MAGNESIO ..	104
3.8. METODOLOGÍA EVALUACIÓN SUPERFICIE ESTABILIZADA	105
3.9. PROCESO CONSTRUCTIVO	118
3.10. PROPIEDADES SUELOS TRATADOS CON BISCHOFITA	126
3.11. POLÍTICAS DE USO DE LA BISCHOFITA	127
3.12. VENTAJAS TÉCNICAS DE LOS ADITIVOS	130
3.13. IMPACTO AMBIENTAL PRODUCTOS ESTABILIZADORES	132
3.14. ENSAYOS DE LABORATORIO	137
CAPITULO IV : DISCUSION	153
CAPITULO V : CONCLUSIONES	156
CAPITULO VI : RECOMENDACIONES	159
CAPITULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	163

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 2.01	: Ubicación de las Provincias de Ascope y Contumaza ...	14
FIGURA N° 2.02	: Vista de Carretera Ascope – Contumaza	15
FIGURA N° 2.03	: Sección transversal Impropia.	21
FIGURA N° 2.04	: Ondulaciones	23
FIGURA N° 2.05	: Ahuellamientos	24
FIGURA N° 2.06	: Perdida de agregados	25
FIGURA N° 2.07	: Curva deterioro de pavimento de hormigón asfáltico	27
FIGURA N° 2.08	: Avance del deterioro de un camino respecto al tiempo	29
FIGURA N° 2.09	: Esquema de fases Programa Proyecto Perú	31
FIGURA N° 2.10	: Cristales Bischofita	46
FIGURA N° 2.11	: Temperatura de congelamiento del MgCl ₂	48
FIGURA N° 2.12	: Modelo de cuarto de carro	51
FIGURA N° 2.13	: Nivel y Mira	52
FIGURA N° 2.14	: Perfilometro ADPL	53
FIGURA N° 2.15	: Equipo Bump Integrator	54
FIGURA N° 2.16	: Esquema del Rugosimetro MERLIN	55
FIGURA N° 2.17	: Manual Paser para carreteras de grava.....	59
FIGURA N° 2.18	: URCl escala y condición de calificación	62
FIGURA N° 2.19	: Falla tipo 81. Inadecuada .curvas de Valor Deducido	65
FIGURA N° 2.20	: Falla Tipo 83. Encalaminado curvas de valor deducido.....	66
FIGURA N° 2.21	: Curva URCl	66
FIGURA N° 2.22	: Ejemplo para calcular Densidad y Falla.....	67
FIGURA N° 2.23	: Incremento de la tensión superficial.....	79
FIGURA N° 2.24	: Diagrama de fase del MgCl ₂	80
FIGURA N° 3.01	: Resultados del ensayo de compactación	88
FIGURA N° 3.02	: Resistencia compresión no confinada (14 días)	89
FIGURA N° 3.03	: Contenido de humedad de los suelos (14 días)	90
FIGURA N° 3.04	: Agrietamiento de la superficie de rodadura	95
FIGURA N° 3.05	: Tablero de equipo Merlin	106
FIGURA N° 3.06	: Esquema del Rugosimetro MERLIN	109
FIGURA N° 3.07	: Clasificación URCl	111

FIGURA N° 3.08	: Valor Deducido de Ahuellamiento	111
FIGURA N° 3.09	: Valor Deducido de Pérdida de Agregado	112
FIGURA N° 3.10	: Curvas de URCl	112
FIGURA N° 3.11	: Configuración geométrica de la carga	114
FIGURA N° 3.12	: Posición Inicial de la viga	115
FIGURA N° 3.13	: Esquema y principio de operación de viga Benkelman ...	116
FIGURA N° 3.14	: Diagrama proceso constructivo ,rodadura estabilizada	117
FIGURA N° 3.15	: Evolución de la Rugosidad	123
FIGURA N° 3.16	: Planilla de URCl	125
FIGURA N° 3.17	: Degradabilidad del Cloruro de Magnesio o Bischofita	133
FIGURA N° 3.18	: Bioacumulación del Cloruro de Magnesio	134
FIGURA N° 3.19	: Efecto de Bischofita en Plantas y Animales	134
FIGURA N° 3.20	: Contaminación de la Bischofita en cultivos aledaños	135
FIGURA N° 3.21	: Efecto de la Bischofita en la salinidad de suelos	136
FIGURA N° 3.22	: Impacto de Aditivos Químicos en el Medio Ambiente	137

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1.01 : Normas referentes a estabilizaciones químicas en el Perú.	5
TABLA N° 1.02 : Estabilizaciones Químicas en el Perú	7
TABLA N° 2.01 : Estado de la Red vial en el Perú	14
TABLA N° 2.02 : Distancias desde Contumaza – Ascope y Número de habitantes.....	18
TABLA N° 2.03 : Medición de niveles de servicio	33
TABLA N° 2.04 : Tipos de Estabilizador, modo de aplicación y forma de ejecutar.....	35
TABLA N° 2.05 : Productos estabilizantes de uso habitual	36
TABLA N° 2.06 : Ejes equivalentes 8.2 ton.	39
TABLA N° 2.07 : Análisis químico de la Bischofita	47
TABLA N° 2.08 : Estado Vial según la Rugosidad	57
TABLA N° 2.09 : Condición de superficie y tratamiento	59
TABLA N° 2.10 : Planilla evaluación con Manual Paser ; carreteras de Grava.....	60
TABLA N° 2.11 : Factores de corrección por estacionalidad	72
TABLA N° 2.12 : Valores de Deflexión Característica	77
TABLA N° 2.13 : Análisis químico típico de la Bischofite	78
TABLA N° 3.01 : Propiedades de los suelos para el ensayo de compactación	85
TABLA N° 3.02 : Propiedades de los suelos para el ensayo CNC	87
TABLA N° 3.03 : Características de los tramos de prueba	93
TABLA N° 3.04 : Evaluación de los tramos de prueba y tramo patrón	95
TABLA N° 3.05 : Dosis de Bischofita	97
TABLA N° 3.06 : Granulometría recomendada ,superficies granulares de rodado	97
TABLA N° 3.07 : Granulometría.	100
TABLA N° 3.08 : Dosis de Bischofita	101
TABLA N° 3.09 : Estado vial según la Rugosidad	108
TABLA N° 3.10 : Comparación de Costos por km – Año	119
TABLA N° 3.11 : Especificaciones Técnicas del Cloruro de Magnesio	120
TABLA N° 3.12 : Rugosidad. Primer Monitoreo	121
TABLA N° 3.13 : Rugosidad . Segundo Monitoreo	122
TABLA N° 3.14 : Evolución de la Rugosidad	123
TABLA N° 3.15 : Análisis Granulométrico	138
TABLA N° 3.16 : Próctor Modificado (Sin Aditivo)	139
TABLA N° 3.17 : Próctor Modificado (Adicionando 3% de Bischofita)	140
TABLA N° 3.18 : Próctor Modificado (Adicionando 4 % de Bischofita).....	141
TABLA N° 3.19 : Próctor Modificado (Adicionando 5 % de Bischofita).....	142

TABLA N° 3.20 : Análisis Granulométrico	143
TABLA N° 3.21 : Próctor Modificado (Sin Aditivo)	144
TABLA N° 3.22 : Próctor Modificado (Adicionando 3 % de Bischofita).....	145
TABLA N° 3.23 : Próctor Modificado (Adicionando 4 % de Bischofita)	146
TABLA N° 3.24 : Próctor Modificado (Adicionando 5 % de Bischofita)	147
TABLA N° 3.25 : Análisis Granulométrico	148
TABLA N° 3.26 : Próctor Modificado (Sin Aditivo).....	149
TABLA N° 3.27 : Próctor Modificado (Adicionando 3 % de Bischofita).....	150
TABLA N° 3.28 : Proctor Modificado (Adicionando 4 % de Bischofita).....	151
TABLA N° 3.29 : Proctor Modificado (Adicionando 5 % de Bischofita)	152

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

FOTOGRAFIA N° 2.01 : Tramo Primera agua en Distrito San Benito	16
FOTOGRAFIA N° 2.02 : Tramo Ascope - San Benito	16
FOTOGRAFIA N° 2.03 : Tramo Colbot- San Benito	17
FOTOGRAFIA N° 2.04 : Tramo San Benito – Guzmango)	17
FOTOGRAFIA N° 2.05 : Tramo Cruz Grande – Contumaza)	18
FOTOGRAFIA N° 2.06 : Tramo San Benito de Carretera Ascope – Contumaza	22
FOTOGRAFIA N° 2.07 : Exceso de polvo	23
FOTOGRAFIA N° 2.08 : Tramo Ascope – San Benito	32

CAPITULO I: INTRODUCCION

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

En EE.UU los pavimentos bituminosos comenzaron a ser construidos en el siglo XIX, durante el siglo XX se construyeron numerosas autopistas y carreteras basadas en la construcción y diseño de pavimentos flexibles. Debido a la experiencia ganada en esos años se desarrollaron muchos criterios para determinar las fallas críticas del pavimento, el espesor de la superficie de asfalto y otros parámetros que dominan su diseño basados generalmente en métodos empíricos. En el Perú este tipo de pavimentos se empezaron a usar desde la segunda década del siglo pasado.

En la actualidad vienen siendo usados entre otros los siguientes pavimentos: pavimentos flexibles convencionales, pavimentos rígidos, pavimentos asfálticos con espesor sólo de asfalto y pavimentos de asfaltos que contienen agregados granulares. Con el incremento de conocimiento en técnicas constructivas y química del asfalto hoy en día existen variantes como el asfalto mixto en caliente (HMA) que tienen características de durabilidad buenas y no dificultan el proceso constructivo de carreteras o pistas; en vías de bajo volumen de tránsito se estabiliza la base del pavimento de manera que se trabaja con un pavimento no convencional que está conformado por una capa de material granular mejorado estabilizado con un material bituminoso, el proceso constructivo se realiza en frío; este proceso es para hacerlo apto o mejorar su comportamiento como material constitutivo de un pavimento.

Muchas veces esta forma de pavimento es conocida como monocapa la superficie del mismo se recubre muchas veces con impermeabilizantes para protegerla de las inclemencias del tiempo.

Hoy en día se comienzan a emplear con mayor frecuencia métodos mecánicos los cuales poseen mayor precisión para la predicción del estado de esfuerzos y deformaciones del pavimento.

En el Perú, 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 solicitaciones 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 (Foley , G. y Bolander , P.). En cambio, la utilización de Bischofita como estabilizador químico (mezcla íntegra del suelo con Bischofita en todo el espesor de la capa de rodadura) no ha sido evaluada.

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar técnicamente la efectividad de la Bischofita como estabilizador químico de capas de rodadura granulares, 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.

1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA : ESTABILIZADORES QUIMICOS EN EL PERÚ

La utilización de estabilizadores químicos en carreteras se aplica desde hace varios años en países como Chile, Argentina y Colombia por varias razones, entre las cuales tenemos: reducir la necesidad de conservación de caminos lo cual implica un ahorro significativo, disminuir notoriamente la emisión de polvo por el tránsito vehicular y brindar un camino confortable a los distintos poblados del interior del país (Mendoza, E.).

La estabilización química de suelos es un proceso que trata el suelo natural transformándolo en una base impermeable en algunos casos, resistente (CBR > 100%) y flexible. Además, el proceso de estabilización requiere estudio de los suelos a tratar, dosificaciones de aditivos que pueden ser líquidos o sólidos o ambos, diseño de pavimentos y supervisión en terreno.

En los últimos años en el Perú se aprobaron varias normas referentes a estabilización de suelos conocidos como pavimentos económicos, en la Tabla N° 1.01 ; se detallan algunos de ellos.

Tabla N° 1. 01 : Aprobación de normas referentes a Estabilizaciones Químicas en el Perú.

Año	Acontecimiento
2000	Aprueban norma denominada Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras, cuyo Capítulo 3 subbases y bases, secciones 306, 307 y 308 contemplan el empleo, como estabilizador, de cemento, cal y compuestos multienzimáticos orgánicos.
2003	El MTC - DGCyF, mediante resolución ministerial N° 062-2003 MTC/02 constituye la “Comisión Técnica para tratar la problemática sobre estabilizadores de suelos”.
2003	La Comisión emite la Directiva N° 05-2003-MTC/14, que estipula pautas para Evaluar la Aplicabilidad de Estabilizadores de Suelos, aprobada con Resolución Directoral N° 040-2003-MTC/14.
2004	Se aprueba mediante Resolución Directoral N° 007-2004-MTC/14, La Norma MTC E 1109 sobre estabilizadores químicos de suelos.
2005	Se da la Directiva N° 007-2005-MTC/14 denominado “Evaluación de la Aplicabilidad de Estabilizadores de Suelos”.
2008	Se aprueba Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras No Pavimentadas de Bajo- Volumen de Tránsito.

Fuente : Mendoza, E.,(2011).

En la actualidad tenemos en el mercado diversos productos aplicados a estabilizaciones químicas en afirmados de distintos tipos de suelo tanto en la costa, sierra y selva; con características y formas de aplicación diferentes, entre los cuales pueden mencionarse los siguientes:

- **Cloruro de Magnesio Hexahidratado o Bischofita.**
- **Cloruro de Calcio**
- **PROES** (Hidrocarburos derivados de la refinación del petróleo (R-CH3), lones de sales y otros menores).
- **Cloruro de Sodio** (sal común)

- **Permazyme** (producto de origen orgánico).

Con la necesidad de mejorar las características físico-mecánicas de los afirmados que componen las diferentes redes de carreteras tanto en la costa, sierra y selva, alrededor del año 1995 en el Perú se utiliza estabilizadores químicos, en un inicio en tramos experimentales evaluados en laboratorio y monitoreados por la actual Oficina de Estudios Especiales.

Por su parte el Ministerio de Transporte y Comunicaciones evalúa los tramos estabilizados en el Perú de acuerdo a la norma técnica de estabilizadores químicos que fue desarrollada para establecer un procedimiento de verificación en que los estabilizadores químicos cumplan con las características técnicas inherentes a su elaboración, las mismas que han sido previamente definidas por su representante en el ámbito nacional y establecer los métodos de ensayo que se deben utilizar en la evaluación de las propiedades de comportamiento del suelo mejorado (Legua, C.,).

A continuación mencionaremos algunos tramos estabilizados químicamente en el Perú hasta la fecha:

Tabla N° 1.02 : Estabilizaciones Químicas en el Perú.

Índice	Nombre	Nombre	Imágenes del Tramo
1	Ayacucho Cora Cora	Puquio- Cora Cora	
		Cora Cora - Dv. Pausa	
2	Piura	Hualapampa - Sondor	
		Canchaque - Huancabamba	
		San José del Alto - Ambato	
		Sondor - Dv. San José del Alto	
3	Cusco Red Vial 1	Yanaoca- Churipampa	
		Queswachaka - Churipampa	
		Ausanta - Pte. Chaclla	
4	Cusco Red Vial 3	Quellopuito - Amparaes	
		Amparaes - Pte Manto	
		Kepashiato - Chirumpiari	
5	Madre de Dios	La Joya - Infierno	
		Tropezón	
6	Junin	Carretera: Huancayo – Imperial – Pampas -Churcampa	
7	Lima	Carretera: Lunahuana - Yauyos	
8	Ancash	Carretera: Conococha - Antamina	

Fuente : MTC

Una de las formas de intervenir y proteger los caminos no pavimentados es a través de la aplicación de soluciones básicas en la superficie de rodadura. Este tipo de soluciones comenzó a implantarse a mediados de los años '90 al observar que la conservación de caminos no pavimentados, consistente principalmente en reponer el material granular desgastado cada 3 a 5 años y una conservación frecuente de reperfilados de la carpeta de rodadura, que si bien logra la conectividad permanente, se producen problemas como los siguientes:

- Para los usuarios, que transitan sobre una superficie inestable debido al material suelto, el tránsito no es confortable por la existencia de deterioros como calaminas, camellones, etc.
- Permanente conservación de la carpeta de rodadura a través, principalmente de reperfilados
- El polvo en suspensión disminuye o anula la visibilidad con los consiguientes problemas de seguridad vial.
- Para los habitantes aledaños, el polvo generado por el paso de los vehículos provoca problemas de salud y de calidad de vida.
- En zonas o épocas de lluvias, se producen sectores de lodos que provoca dificultades en el flujo de tránsito y de peatones
- La continua extracción de áridos para reponer la carpeta conlleva problemas sobre el medioambiente.

Como la alternativa a esta situación de realizar un mejoramiento del estándar a través de una pavimentación tradicional, es a largo o muy largo plazo debido a la baja rentabilidad social de estos proyectos por el bajo tránsito, se comenzó a aplicar soluciones de bajo costo sobre la carpeta de rodadura existente y sin mayor variación de la geometría con el objeto de disminuir los efectos antes descritos, proteger y mantener por mayor tiempo la inversión realizada.

Para este efecto, se pueden clasificar en dos tipos de soluciones:

- Estabilización de carpeta granular: la adición de algún producto estabilizador o supresor de polvo al material de la carpeta granular, y
- Capa de protección: la aplicación de una capa de protección asfáltica al material granular, el que en este caso actúa como base.

1.2. Formulación del Problema

¿En qué medida será la eficiencia de la conservación vial, empleando aditivos químicos en superficies de rodadura en carretera no pavimentada :Ascope – Contumaza ?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar la eficiencia de la conservación vial, empleando aditivos químicos en superficies de rodadura en carretera no pavimentada :Ascope – Contumaza.

1.3.2. Objetivos específicos:

- a. Seleccionar tres tramos entre Ascope – Contumaza; de prueba para aplicar los aditivos químicos seleccionados, determinando su eficiencia comparada con la de un tercer tramo de control sin aplicación de aditivo
- b. Evaluar la rugosidad (IRI) en cada tramo de prueba mediante el uso del Merlín.
- c. Realizar una evaluación visual de la superficie de rodadura
- d. Evaluar la eficiencia y los costos en la recurrencia del perfilado con aporte de material en los sectores tratados respecto al sector patrón..

1.4. Formulación de hipótesis

Así mismo se ha formulado la siguiente hipótesis:

El aditivo Cloruro de Magnesio hexahidratado o Bischofita , permitirá una alta eficiencia de la conservación vial en superficies de rodadura en carretera no pavimentada :Ascope – Contumaza.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION

La investigación es conveniente, por cuanto al realizar el estudio se conoce el mecanismo de deterioro de un camino sin pavimentar a diferencia de las carreteras pavimentadas consiste en un proceso progresivo más acelerado. Los finos al mezclarse con la humedad aglutinan a las fracciones más gruesas, y bajo la acción abrasiva de los neumáticos (acción del tráfico) llegan a pulverizarse en condiciones secas.

Estos finos pulverizados aparecen como material particulado en suspensión (polvo) y por la constante pérdida de éstos es que los agregados gruesos están de manera suelta ante la acción del tráfico, y es así que la superficie de rodadura comienza a desgastarse de manera progresiva dando lugar a la formación de las depresiones, baches, y ondulaciones.

Se trata de un cambio en la concepción tradicional de trabajo de actuar para reparar lo dañado, adoptándose una política de carácter preventivo para la conservación vial. Esto garantiza que los caminos nacionales y vecinales tengan los niveles necesarios para una adecuada circulación vial en todas las épocas del año.

Es importante mantener los caminos porque permite:

- Garantizar un confort adecuado y seguridad al usuario.
- Ahorro en los costos de operación de vehículos.
- Disminuye el tiempo perdido en el viaje.
- Mantiene la inversión en las etapas de construcción, reconstrucción o Rehabilitación.

Los deterioros de un camino, como ya se ha mencionado, se deben en principio al efecto del agua y del tráfico. Estos influyen en el progreso de desgaste y en la transitabilidad.

Por eso el mantenimiento debe hacerse sostenidamente en el tiempo de manera preventiva, para así poder extender el tiempo de vida útil y reducir las inversiones en mantenimientos periódicos y no llegar a la reconstrucción.

1.6. Limitaciones

Existen escasos trabajos relacionados al tema de acuerdo a las variables planteadas del estudio a nivel Internacional y Nacional. Además de existir limitaciones de conocimiento técnicos y medio ambientales por parte de las autoridades de los gobiernos regionales y gobiernos municipales, para el mantenimiento de conservación de las carreteras no pavimentadas utilizando el cloruro de magnesio , el cual impermeabiliza y disminuye la producción de los polvos en el suelo.

CAPITULO II: MATERIAL Y METODOS

CAPITULO II

MATERIAL Y METODOS

2.1. COMPOSICIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y LA RED NACIONAL.

Nuestra red vial está clasificada en tres categorías: carreteras nacionales, departamentales y vecinales. Cuenta con un aproximado de 86,965 kilómetros de extensión, de los cuales 13,683 kilómetros se encuentran pavimentados (16% de la red total). La red nacional incluye 25,165 kilómetros (29%), la departamental 14,500 kilómetros (17%) y las vecinales 47,300 kilómetros (54%).

La red vial nacional comprende las rutas o ejes troncales de importancia nacional. Vincula las capitales de departamento, principales ciudades, áreas productivas, puertos y fronteras. Asimismo constituye la base de todo el sistema de carreteras del país, a partir de la cual se articulan las redes viales departamentales y vecinales. El 44% de estas vías se encuentran asfaltadas, 49% afirmadas y el resto sin afirmar y trocha. Este tipo de red vial soporta los mayores volúmenes de tráfico, movilizand o aproximadamente el 90% de la carga y 80% de los pasajeros que realizan viajes interprovinciales.

La red vial departamental comprende las rutas de importancia regional que articula a las capitales de departamento con las principales ciudades de cada región. Solo el 11% de las vías departamentales se encuentran asfaltadas, el 77% están afirmadas y el 7% restante son vías sin afirmar o en condición de trocha. La red vial vecinal está formada por las vías de escala provincial que son fundamentales para el desarrollo rural. De estas sólo el 2% están asfaltadas y el 98% están afirmados

Tabla N° 2.01 : Estado de la Red vial en el Perú

TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA	RED NACIONAL		RED DEPARTAMENTAL		RED VECINAL	
	Km	%	Km	%	Km	%
Asfaltado	10983	44%	1600	11%	1100	2%
Afirmado	12249	49%	11100	77%	46200	98%
Trocha	1934	7%	1800	17%	0	0%
<i>Total por red</i>	<i>25,165</i>		<i>14,500</i>		<i>47,300</i>	

Fuente : Provias Nacioanl -2015

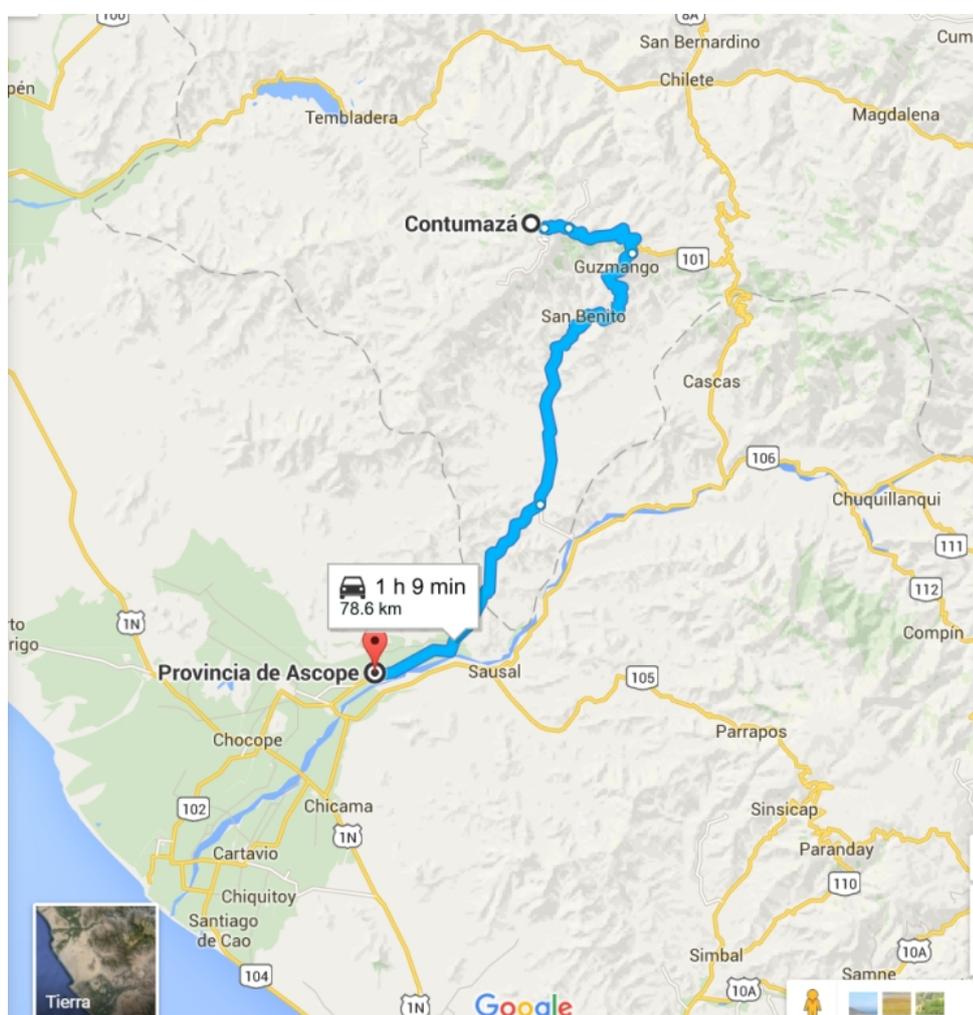


Figura N° 2.01 : Ubicación de las Provincias de Ascope y Contumaza

Fuente : Google Earth

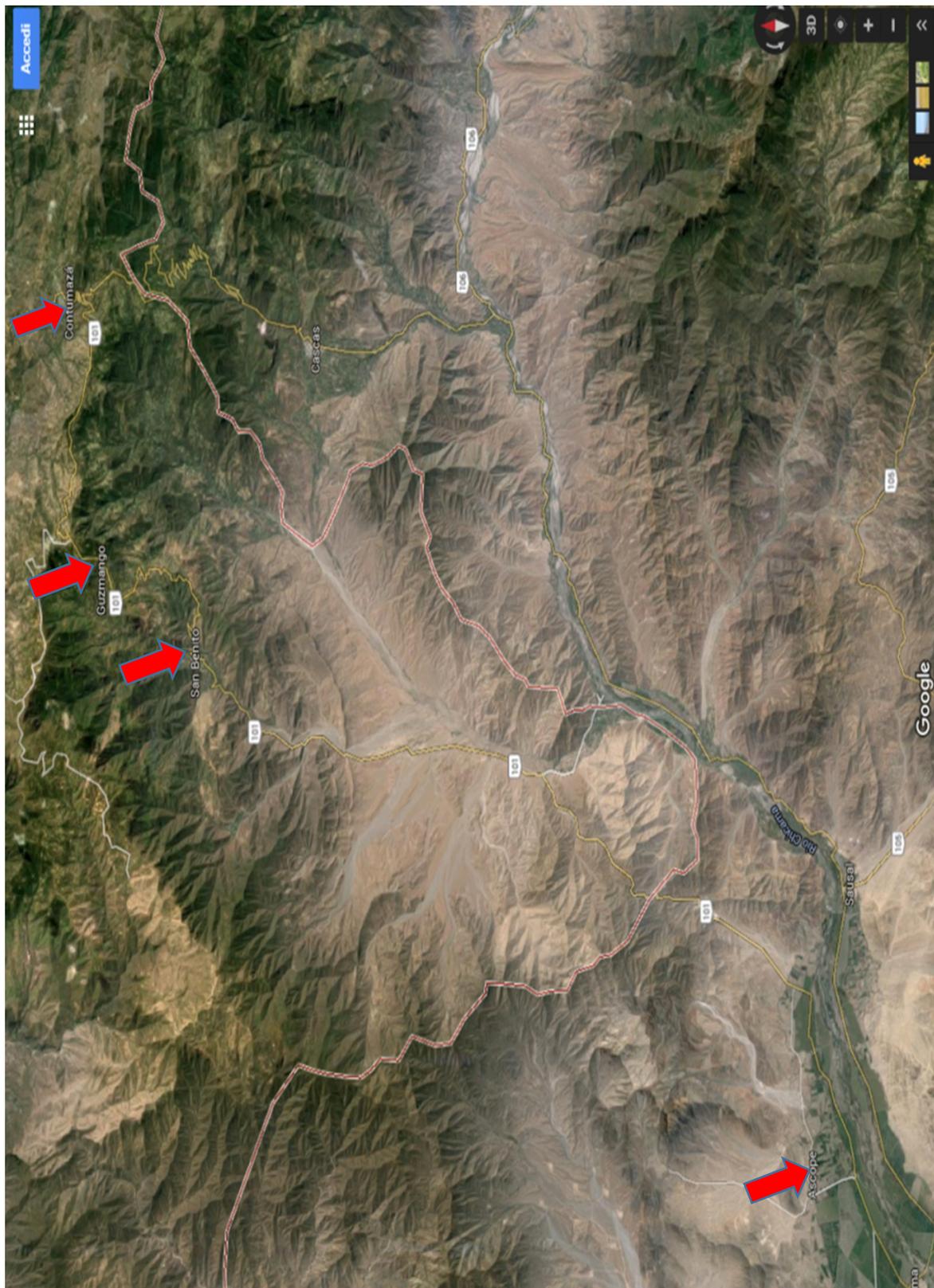


Figura N° 2.02 : Vista de Carretera Ascope (La Libertad) - Contumaza (Cajamarca).



Fotografía N° 2.01 : Vista de maquinaria haciendo labores para mejorar la transitabilidad de la carretera Ascope – Contumaza. (Tramo Primera agua en Distrito San Benito).}



Fuente : Google Earth

Fotografía N° 2.02 : Vista de carretera Ascope- Contumaza (Tramo Ascope- San Benito)



Fuente : Google Earth

Fotografía N° 2.03 : Vista de carretera Ascope – Contumaza (Tramo Colbot- San Benito).



Fuente : Google Earth

Fotografía N° 2.04 : Vista de carretera Ascope – Contumaza (Tramo San Benito – Guzmango)



Fuente : google Earth

Fotografía N° 2.05 : Vista de carretera Ascope - Contumaza (Tramo Cruz Grande – Contumaza)

2.2. Población: 140 Kilómetros de carretera no pavimentada

La población está conformada por 140 Kilómetros de carretera no Pavimentada desde Contumaza hasta Ascope y que beneficiaran a 43,000 habitantes que residen y están en continuo transito de Contumaza a Ascope -Trujillo y viceversa, distribuidos de la siguiente manera:

Tabla N° 2.02 : Distancias desde Contumaza – Ascope y Número de habitantes

DISTRITO /PROVINCIA	NUMERO DE HABITANTES	Distancia en Kilómetros de Contumaza a:
Contumaza (Provincia)	10,000 habitantes	0 km
Guzmango (Distrito)	11,500 habitantes	30 Km.
San Benito (Distrito)	11,500 habitantes.	40 Km.
Ascope (Provincia)	10,000 habitantes	140 Km.
TOTAL	43,000 HABITANTES	140 Km.

Fuente : INEI -MTC

2.2.1. Muestra:

La muestra está conformada por el total de 140 Kilómetros de carretera no Pavimentada

2.3. MARCO TEÓRICO

2.3.1. CARRETERAS NO PAVIMENTADAS

Definición: Aquellas que tienen una superficie de rodadura formada por materiales granulares y que han sido sometidas a tratamientos superficiales, con trabajos previos de alineación, con apropiada sección transversal y longitudinal, y adecuado drenaje; o que han sido trabajadas sin ningún tratamiento alguno tales como los caminos de herradura o trochas que son construidos por la necesidad de acceder a lugares remotos.

2.3.1.1. Clasificación

Las carreteras no pavimentadas por las capas superiores y la superficie de rodadura, se pueden clasificar en cuatro categorías:

- **Carreteras de tierra:** constituidas por suelos naturales y grava tratada con zarandeo.
- **Carreteras gravosas:** constituidas por una capa de revestimiento con material natural granular sin procesar que es seleccionado manualmente o por zarandeo. Su tamaño máximo es de 75mm.
- **Carreteras afirmadas:** aquellas que funcionan como superficie de rodadura y/o soporte al tráfico vehicular cuya capa de rodadura está constituida por materiales granulares naturales provenientes de canteras, excedentes de excavaciones o materiales que se ajustan a determinadas especificaciones técnicas en relación con su tamaño, su composición granulométrica, su resistencia y su calidad de finos.

- **Carreteras con superficies estabilizadas con materiales de origen industrial.**

2.3.1.2. Características

Los principales elementos que componen este tipo de carretera son:

- **La plataforma:** lo constituye fundamentalmente la superficie de rodadura, franja que es utilizada para la circulación de los vehículos. Tiene la función de soportar las cargas vehiculares y de mejorar drenaje para un mejor mantenimiento en el tiempo. Está construida de tal forma que el eje central esté elevado con respecto a las laderas (normalmente entre 2% y 3% de bombeo).

- Las obras de drenaje: configuran un sistema que evita el acumulamiento del agua superficial que puede filtrarse hacia la base o subbase, lo que genera daños estructurales y superficiales. Dentro de este sistema tenemos el drenaje superficial (bombeo, cunetas, zanjas de coronación, alcantarillas y canales) y el sub drenaje (filtros longitudinales, drenes, etc.). Los agregados en la conformación de este tipo de carreteras se deben disponer de una buena mezcla con adecuadas arenas y finos que actúen en principio contra la acción del tráfico y el escurrimiento del agua.

2.3.1.3. DETERIORO EN CARRETERAS SIN PAVIMENTAR.

2.3.1.3.1. Descripción del mecanismo de deterioro.

El mecanismo de deterioro de un camino sin pavimentar a diferencia de las carreteras pavimentadas consiste en un proceso progresivo más acelerado. Los finos al mezclarse con la humedad aglutinan a las fracciones más gruesas, y bajo la acción abrasiva de los neumáticos (acción del tráfico) llegan a pulverizarse en condiciones secas. Estos finos pulverizados aparecen como material particulado en suspensión (polvo) y por la constante pérdida de éstos es que los agregados gruesos están de manera suelta ante la acción del tráfico, y es así que la superficie de

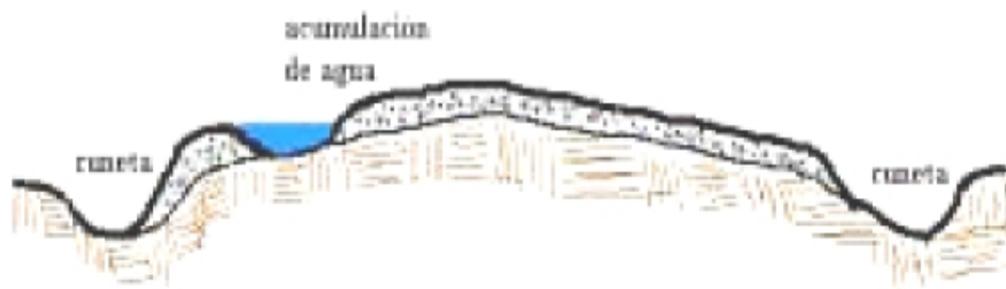
rodadura comienza a desgastarse de manera progresiva dando lugar a la formación de las depresiones, baches, y ondulaciones.

Estos problemas estructurales y superficiales se presentan debido a la acción del tráfico y a las condiciones climáticas (lluvias, presencia de hielo, efecto del deshielo). El deterioro ocurre en varias etapas, desde un deterioro lento que no se percibe hasta un deterioro crítico donde se evidencia en una descomposición total del camino que involucra una nueva conformación o rehabilitación de la vía.

2.3.1.3.2. DEFECTOS COMUNES EN VÍAS SIN PAVIMENTAR

Los defectos más comunes en vías sin pavimentar fueron tratados a profundidad por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, quienes publicaron un estudio llamado “Unsurfaced Road Maintenance (Special Report 87-15)” en 1987, actualizado en el reporte del 92-96. Este estudio se basó en la evaluación de la magnitud y gravedad de los defectos donde se identificó siete situaciones o problemas tipificados de la siguiente forma:

- **Sección transversal impropia:** Al ocurrir esto la carretera estará propensa a sufrir deterioro por problemas de circulación y de drenaje, por lo que se debe presentar una pendiente transversal suficiente para que las aguas superficiales sean evacuadas de manera rápida fuera de la plataforma.



Fuente : Ingeniero Jorge Coronado. Catalogo Centroamericano de daños a pavimentos viales. 2010.

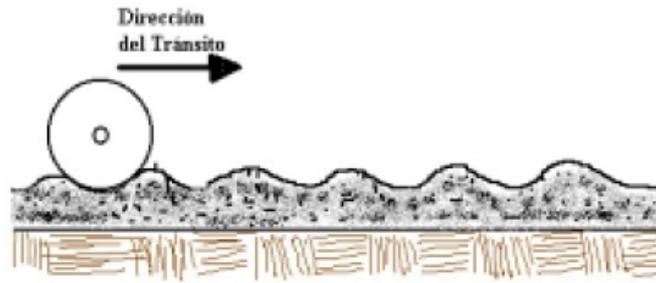
Figura N° 2.03 : Sección transversal Impropia

- **Drenaje inadecuado:** Se caracteriza por la acumulación de agua superficial en la plataforma, no necesariamente por el mal drenaje superficial o la inexistencia de elementos de drenaje profundo, sino por falta de mantenimiento en las obras de arte.



Fotografía N° 2.06 : Drenaje Inadecuado (inexistencia de cunetas).Tramo San Benito(Carretera Ascope – Contumaza).

- **Ondulaciones:** Se distinguen por las deformaciones que ocurren en la superficie de rodadura, en intervalos regulares y perpendiculares al tráfico. Su origen se debe a una serie de factores tales como: continuo tráfico de vehículos, pérdida de finos, deficiencias en la capacidad de soporte, pendiente inadecuada y capas granulares de mala calidad.



Fuente : Ingeniero Jorge Coronado. Catalogo centroamericano de daños a pavimentos viales.2010.

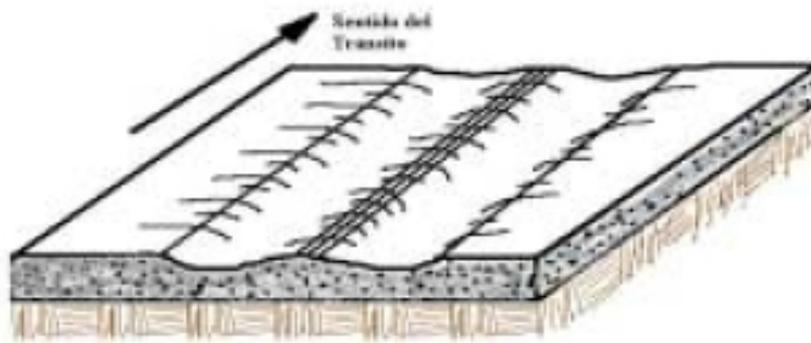
Figura N° 2.04 : Ondulaciones

- **Exceso de polvo:** Se origina por la pérdida de la fracción fina de la base o de la capa granular de afirmado cuyo contenido en la mezcla es excesivo. Produce incomodidad dado que afectan: a la población, a la salud, a la operatividad de los vehículos y a los costos de mantenimiento al perder el equilibrio entre las mezclas de los agregados.



Fuente : Propia (Tramo Algarrobal)
Fotografía N° 2.07 : Exceso de polvo

- **Baches:** Se genera debido a los siguientes factores: Inexistencia de capas de revestimiento, deficiencias en la composición de la mezcla, ausencia de partículas aglutinantes en la composición de la carpeta de rodado, plataforma mal drenada y sin inclinación transversal.
- **Surcos de rueda o ahuellamientos:** Son depresiones que ocurren longitudinalmente al eje del camino. Se originan por la deformación permanente de la base o revestimiento y/o cuando tienen baja capacidad de soporte.

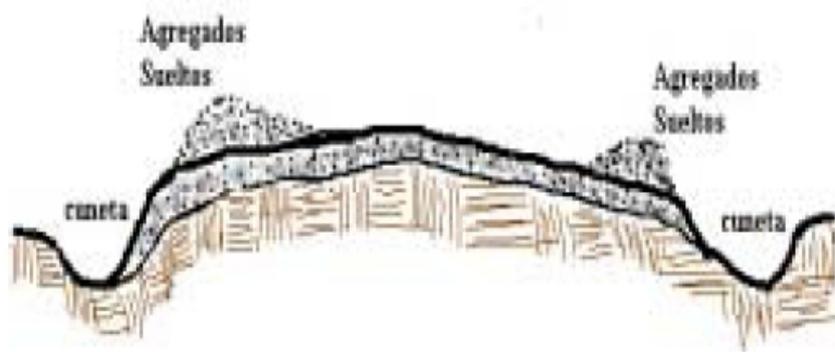


Fuente : Ingeniero Jorge coronado.Catañologo centroamericano de daños a pavimentos viales.2010.

Figura N° 2.05 : Ahuellamientos

- **Segregación de agregados:** Se genera por el constante paso de vehículos sobre la superficie de circulación. Como resultado los agregados gruesos se depositan junto a los surcos de las ruedas y en su mayoría en los bordes de la plataforma.

La causa principal es la falta de aglutinantes en la composición de las mezclas en los materiales.



Fuente : Ingeniero Jorge Coronado. Catalogo Centroamericano de daños a pavimentos viales.2010.

Figura N° 2.06 : Perdida de agregados

Para poder calificar la condición de una carretera afirmada se han identificado siete características: La geometría de la corona, la superficie de rodadura, las deformaciones de la superficie, los defectos especiales de la superficie de rodadura, el drenaje, el deterioro del medio ambiente y la señalización.

2.3.2. CONSERVACIÓN VIAL

1. Definición

Conjunto de operaciones necesarias para la preservación y mantenimiento de una carretera y de cada uno de sus elementos componentes y complementarios en las buenas condiciones para el tráfico compatibles con las características geométricas, capa de rodadura que tuvo cuando fue construida, o al estado último a que ha llegado después de las posibles mejoras que haya recibido a lo largo del tiempo. (Michael W. Sayers, Thomas D. Gillespie, and Cesar A. V. Queiroz.).

2. Enfoque actual (Miguel Ángel Ballarin Zavala).

Se trata de un cambio en la concepción tradicional de trabajo de actuar para reparar lo dañado, adoptándose una política de carácter preventivo

para la conservación vial. Esto garantiza que los caminos nacionales y vecinales tengan los niveles necesarios para una adecuada circulación vial en todas las épocas del año.

3. Importancia en la conservación vial

Es importante mantener los caminos porque permite:

- Garantizar un confort adecuado y seguridad al usuario.
- Ahorro en los costos de operación de vehículos.
- Disminuye el tiempo perdido en el viaje.
- Mantiene la inversión en las etapas de construcción, reconstrucción o rehabilitación.

4. Ciclo de vida de un camino

Los deterioros de un camino, como ya se ha mencionado, se deben en principio al efecto del agua y del tráfico. Estos influyen en el progreso de desgaste y en la transitabilidad. Por eso el mantenimiento debe hacerse sostenidamente en el tiempo de manera preventiva, para así poder extender el tiempo de vida útil y reducir las inversiones en mantenimientos periódicos y no llegar a la reconstrucción. El ciclo de deterioro de un camino consta de cuatro fases:

- Fase 1: Construcción.

En esta fase el camino se encuentra en excelentes condiciones para la satisfacción de los conductores. Ver punto A de la figura 8.

- Fase 2: Deterioro lento y poco visible.

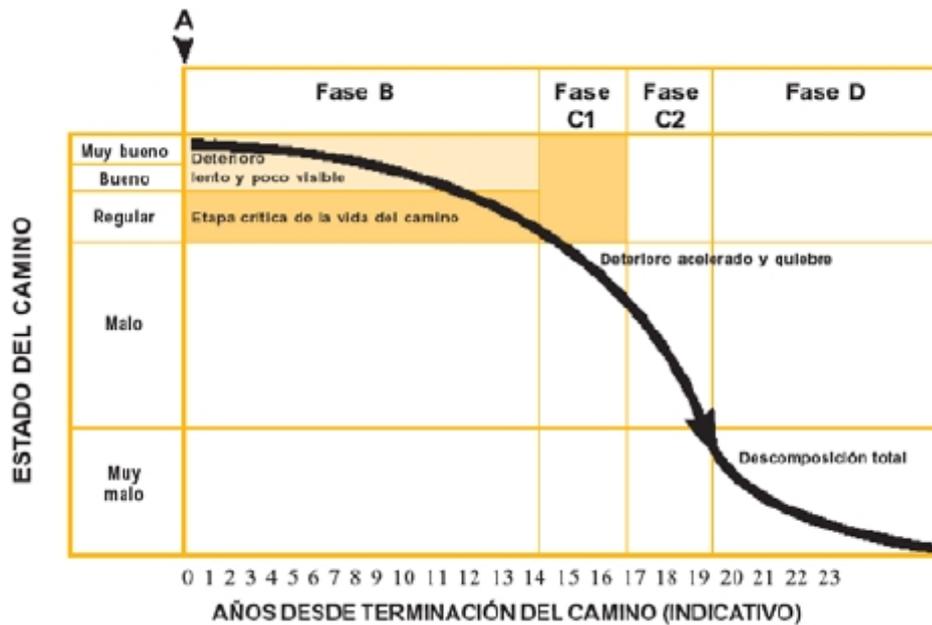
El camino presenta desgaste después de un tiempo, donde se evidencia de manera significativa el deterioro de la superficie de rodadura. Durante esta fase el camino se encuentra en buen estado.

- Fase 3: Deterioro acelerado.

Aquí la carretera presenta mayor desgaste en la superficie de rodadura y en los demás elementos de la carretera. Se evidencia el deterioro acelerado y cada vez resiste menos al tránsito vehicular. Los daños comienzan a hacerse puntuales y en el tiempo se van extendiendo hasta afectar al camino. Tiene corta duración y es el comienzo de la aceleración del deterioro superficial.

- Fase 4: Descomposición Total

En esta fase los vehículos elevan sus costos de operación y tienen dificultades para circular. La capacidad del camino se ve reducida afectando así a los vehículos en los neumáticos, ejes, amortiguadores y el chasis.



Fuente : Mantenimiento rutinario de caminos con microempresas. Lima. 2003.

Figura N° 2.07 : Curva de deterioro de un pavimento de hormigón asfáltico.

2.3.3. El mantenimiento vial y su relación con la rugosidad

Las características funcionales de una vía tienen gran incidencia en las condiciones de seguridad y comodidad, lo que afecta económicamente a los costos de operación y mantenimiento. Las irregularidades que presenten las vías tienen relación directa con los costos de operación de los vehículos, por consiguiente afecta la velocidad, el desgaste de las llantas y el consumo de combustible. Éstas irregularidades aparte de ocasionar desgastes en los vehículos modifican el estado de esfuerzos y deformaciones en la estructura de la vía. La calidad de un pavimento se puede entender como la capacidad estructural que soporta a diferentes sollicitaciones, asimismo como la comodidad que siente el usuario al transitar sobre el pavimento.

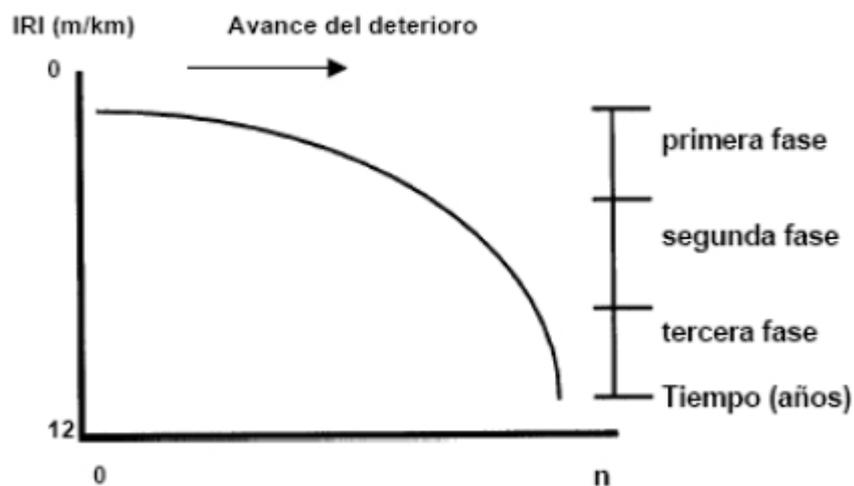
Se cuantifica ésta capacidad efectuándose métodos debidamente normados tales como: la extracción de testigos, ensayos de calidad de agregados, ensayo de abrasión, etc. y la comodidad del usuario se cuantifica en forma relativa de acuerdo a su percepción, la cual tiene relación directa con las irregularidades superficiales del pavimento.

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI), fue aceptado como estándar de medida de la regularidad superficial de un camino por el Banco Mundial en el año 1986, siendo obtenida por medio de una correlación con cualquier equipo de medición de rugosidad. El IRI puede ser entendido como una especificación de construcción o el estado del pavimento, está orientado al mantenimiento cuya incidencia se centra en funciones de aspectos económicos (IRI vs costos de usuarios), sociales (opinión de los usuarios) y técnicos (gestión de carreteras, costos de conservación vs costo Unitario)

1. Comportamiento típico de la condición superficial en función del IRI

Los factores que afectan la condición superficial (de manera principal el tráfico de vehículos y las precipitaciones pluviales) ocasionan una

disminución no lineal en la calidad superficial en función de la rugosidad dividiéndose en tres etapas, donde la primera tiene un deterioro poco significativo en los primeros años; la segunda presenta desgaste más acusado y la tercera significa una etapa de deterioro acelerado, en pocos años el nivel de servicio cae de forma importante, por esta razón va a llegar a un costo significativo de mantenimiento del camino y como límite puede ser necesaria una reconstrucción total del mismo.



Fuente : Arriaga Patiño, Mario; Garnica Anguas Paul; Rico Rodríguez, Alfonso. Índice Internacional de Rugosidad en la red carretera de México. México. Año 1998. Pág. 14.

Figura N° 2.08 : Avance del deterioro de un camino respecto al tiempo.

2. Evaluación de las condiciones de la vía

La condición de la superficie de la vía está relacionada con varios factores como: Integridad estructural, capacidad estructural, fallas o defectos y su nivel de deterioro.

La evaluación cualitativa y/o cuantitativa de algunos factores puede exigir uso de equipos costosos. Pero estos factores pueden evaluarse en forma empírica mediante la observación, para esto se debe tener en cuenta la experiencia de campo del profesional encargado.

Estas observaciones pueden plasmarse en el Índice de la condición de la vía no pavimentada (ICVNP): basado en una escala que va desde 0 hasta 100. Con esto se indica la integridad de la vía y sus condiciones de operación, se determina a través de la medición de los defectos de la superficie de la vía.

3. Niveles de intervención

Son las actividades que se realizan en la vía con la finalidad de evitar el deterioro de la infraestructura del camino, tiene diversos niveles que van desde una intervención sencilla hasta una más costosa.

- **Obras de conservación rutinaria:** actividades de carácter preventivo que se ejecutan para conservar la calzada, el sistema de drenaje, la señalización y obras de arte. En general se realizan durante todo el año para evitar el deterioro de la vía y garantizar la transitabilidad.

- **Obras de conservación periódica:** acciones que se realizan para reconformar y restablecer las características en la superficie de rodadura. Generalmente se repiten en periodos de más de un año de acuerdo a la influencia del tráfico.

- **Obras de conservación puntual:** son trabajos aislados que corrigen un defecto funcional o estructural. Del mismo modo también sirve para eliminar un riesgo que se pueda prevenir.

- **Trabajos de emergencia:** conjunto de actividades que se realizan para devolver la transitabilidad en una vía donde ha sido afectada por eventos extraordinarios o fuerza mayor.

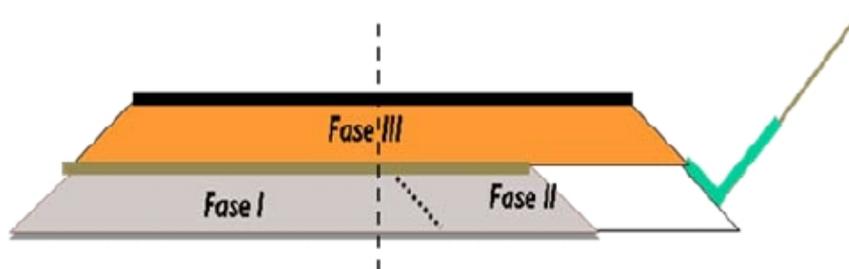
2.3.4. PROGRAMA PROYECTO PERU

Es un programa de infraestructura vial, diseñado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones con el objetivo de mejorar las vías de integración de corredores económicos, el cual trabaja ejes de desarrollo para elevar los niveles de competitividad en zonas rurales, redes viales

nacionales, departamentales y vecinales. Establece la contratación de actividades de conservación vial a empresas que controlen por niveles de servicio en un tiempo de 3 años a más, desarrollando así un mantenimiento preventivo de tal manera que evita el deterioro prematuro de las vías.

Éste programa desarrolla la mejora continua de nuestra red vial y se conceptualiza hacerlo en 3 fases:

- **Fase I**, se realiza mantenimiento periódico, rutinario por niveles de servicio y por emergencias.
- **Fase II**, se uniformizan los anchos de calzada de acuerdo a nuestra norma y cuando se incremente considerablemente el tráfico se iniciará la Fase III.
- **Fase III**, se construye la obra definitiva.



Fuente: MTC

Figura N° 2.09 : Esquema de fases Programa Proyecto Perú

En el periodo 2006 - 2009 Provias Nacional implementó 10 contratos de conservación de niveles de servicio que abarcó alrededor de 3 mil kilómetros de carreteras en intervención. Asimismo cuando se contrate la totalidad de los corredores viales se asegurará la transitabilidad de alrededor del 60% de la red vial nacional.

2.3.5.CONTRATOS PARA LA CONSERVACIÓN VIAL POR NIVELES DE SERVICIO

Los contratos de conservación vial por niveles de servicio tienen como objetivo general alcanzar un adecuado nivel de transitabilidad, confort y seguridad de la red vial nacional a través de la ejecución permanente de actividades de conservación rutinaria, conservación periódica, reparaciones menores, relevamiento de información y atención de emergencias viales, mediante la contratación de servicios de conservación vial por niveles de servicio con plazos superiores a tres años.

En la medición de niveles de servicios se evalúan: calzada, bermas, zonas laterales (derecho de vía), drenaje y estructura vial. Utiliza la inspección visual como forma de medición.



Fotografía N° 2.08 : Vista de maquinaria y tipo de suelo en tramo Ascope – San Benito.

Tabla N° 2.03 : Medición de niveles de servicio

Variable	Indicador	Forma de Medición	Tolerancia
Calzada	<ul style="list-style-type: none"> - Limpieza - Baches - Encalaminado 	Inspección Visual En camioneta En camioneta	<ul style="list-style-type: none"> - Siempre Limpia libre de escombros - No Baches ò Cero Huecos - 20% longitud
Bermas	<ul style="list-style-type: none"> - Limpieza - Baches 	Inspección visual	<ul style="list-style-type: none"> - Siempre Limpia libre de escombros - No Baches ò Cero Huecos
Zonas Laterales (Derecho de vía)	<ul style="list-style-type: none"> - Roce - Taludes y Terraplenes 	Inspección visual	<ul style="list-style-type: none"> - Altura Máxima. 0.30 M. - Deberán presentarse sin deformaciones, asentamiento o erosión alguna.
Drenaje	<ul style="list-style-type: none"> - Cunetas - Alcantarillas - Bajadas de Agua - Badenes 	Inspección visual	Siempre limpias, libre de residuos sólidos, vegetación y cualquier otro elemento que cauce obstáculo
Estructuras Viales	Puentes y Pontones Muros	Inspección visual	<ul style="list-style-type: none"> - Siempre Limpios y libre de obstáculos - Drenes Abiertos

Fuente : Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Provias Nacional.

2.3.6.TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN DE SOLUCIONES BÁSICAS

Tal como se dijo previamente, hay dos tipos de soluciones básicas: con estabilizador y con capa de protección asfáltica.

Hasta ahora se ha operado con las técnicas y prácticas de conservación tradicional. Es decir, un camino que recibió una solución básica, debe ser conservado junto al resto de los caminos. Varias de las soluciones técnicas son las mismas que se emplean tradicionalmente y sólo las nuevas, como sales y Bischofita, requieren de técnicas y medidas de gestión de las conservaciones relativamente distintas, pero un camino con una capa de protección asfáltica, por ejemplo tratamiento superficial, debiera recibir la misma forma de conservación que un camino pavimentado con la misma solución como capa de rodadura.

A) Técnicas o prácticas de conservación de caminos básicos.

1. Caminos con estabilizador

Existen tres tipos de cloruro o sales (de sodio, magnesio hexahidratado o calcio) que pueden aplicarse de dos formas, como un riego superficial o incorporándolo al espesor completo de la carpeta de rodadura. En el país, la forma de emplear los cloruros de sodio y de magnesio hexahidratado (Bischofita) es, principalmente a través de la segunda modalidad, y el cloruro de calcio se aplica solamente como riego superficial.

Para el caso de la aplicación en todo el espesor de la carpeta de rodadura se realiza el proceso de homogenización empleando motoniveladora o una recicladora. Otra característica es la forma de aplicarlos. El cloruro de sodio se incorpora al material granular en estado sólido (a granel) y la Bischofita en forma de salmuera.

Tabla N° 2.04 : Tipos de Estabilizador, modo de aplicación y forma de ejecutar

Tipo de Estabilizador	Modo de Aplicación	Forma de Ejecutar
Cloruro de sodio (sal común)	Todo el espesor – a granel	Con motoniveladora o recicladora
Cloruro de magnesio hexahidratado (Bischofita)	Todo el espesor - salmuera	Con motoniveladora o recicladora
Cloruro de calcio	Riego superficial	Con camión aljibe

En lo que respecta a las técnicas de conservación de este tipo de solución, se observan las siguientes operaciones :

- Bacheo granular
- Riego superficial
- Reperfilado con compactación
- Recubrimiento granular con adición de cloruro

2.3.7. 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.

2.3.7.1. 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, 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 2.05, se presenta una descripción resumida de los productos estabilizantes utilizados normalmente.

Tabla N° 2.05 : 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 : Pradera ,M. ; Mery J.P.; Novoa, E.

2.3.7.2. 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 Transito del MTC Perú, como sigue:

A) 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 25 mm.

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.

B) Con superficie de rodadura pavimentada (No aplicable al Manual de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Transito)

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 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).

2.3.8. 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:

- a)** Identificación de sub tramos homogéneos de la demanda.
- b)** 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.
- c)** 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.
- d)** 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.

e) 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:

Tabla N° 2.06 : Ejes equivalentes 8.2 ton.

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.

2.3.9. 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.

2.3.10. 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

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 líquido, 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 óptima, para impermeabilización. Teniendo en cuenta las variaciones estacionales: tiempo de lluvias; donde la arcilla puede saturarse provocando presiones expansivas altas.(Fernández, 1982:15)

b) Resistencia Mecánica

Los métodos y procedimientos propuestos para la resistencia del suelo son los 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, obteniendo 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.

2.3.11. 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.

2.3.12. 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.



Fuente Wikipedia, la enciclopedia libre

Figura N° 2.10 : Cristales Bischofita

2.3.13. 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 N° 2.07 ; 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 N° 2.07 : Análisis químico de la Bischofita

COMPUESTO QUÍMICO	PORCENTAJE EN PESO
Mg	10.5
Cl	33.5
H ₂ O	52.0
Otros (Na ; Ca ; Li ; K ; SO ₄)	4.0

Fuente : Ing. Raul 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.

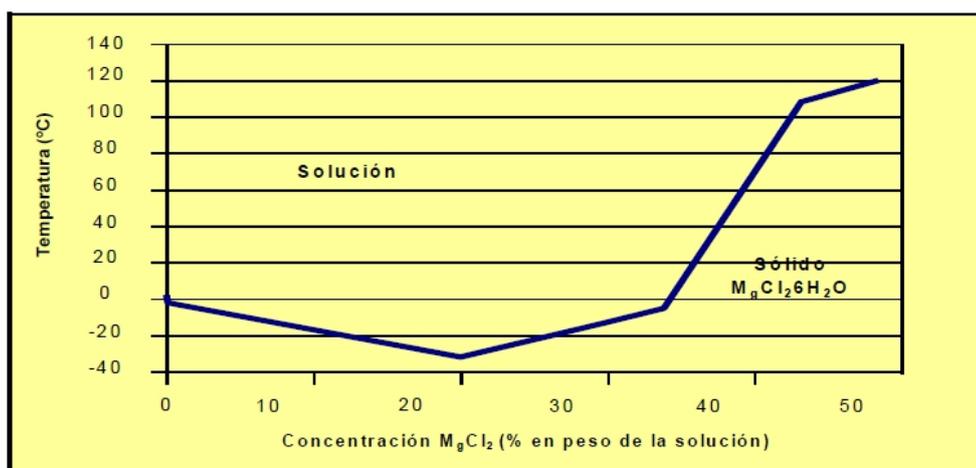
Estas propiedades se presentan cuando la humedad relativa (HR) es superior a 30% (Kirchner y Gall, 1991; Foley et al., 1996). La cantidad de agua absorbida es proporcional a la humedad relativa, y cesa cuando se alcanza el equilibrio entre la presión de vapor de la solución de $MgCl_2$ y la del aire.

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.



Fuente : Ing. Raul Cornejo Faúndez

Figura N° 2.11 : Temperatura de congelamiento del $MgCl_2$

2.3.14. 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.

2.3.15. 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:

2.3.15.1. 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) 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 N° 2.12) 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.

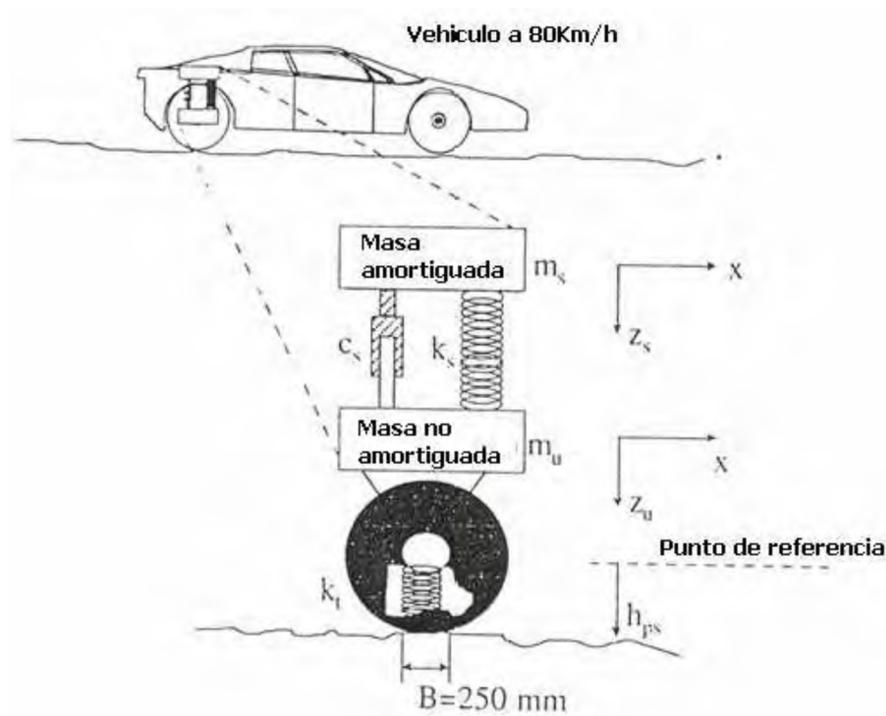
Si se cuenta con el IRI calculado de dos secciones contiguas, el IRI sobre la sección que es la suma de las dos es simplemente el promedio de los IRI de cada sección. A una velocidad de simulación de 80 km/h, la inicialización afecta la respuesta del modelo del cuarto de carro. La mejor forma de tratar 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.



Fuente : Ing. Cárdenas Cruz Carlos
Figura 2.12 : Modelo de cuarto de carro

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.



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

Figura N° 2.13 : Nivel y Mira

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.



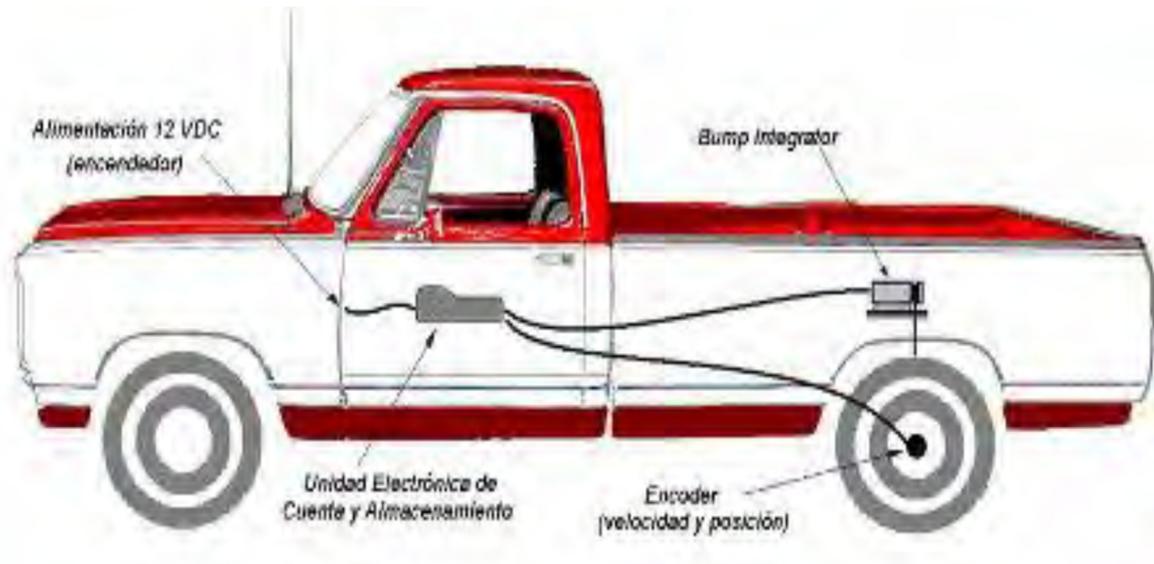
Fuente : University of South Florida Development and evaluation of an inertial based pavement roughness measuring system

Figura N° 2.14 : Perfilometro ADPL

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.



Fuente: Tecno Dinámica

Figura N° 2.15 : Equipo Bump Integrator

Métodos Clase 4

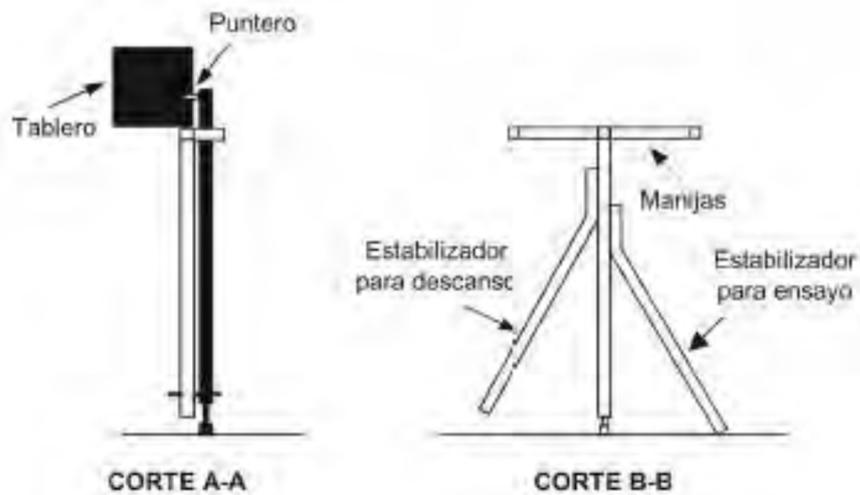
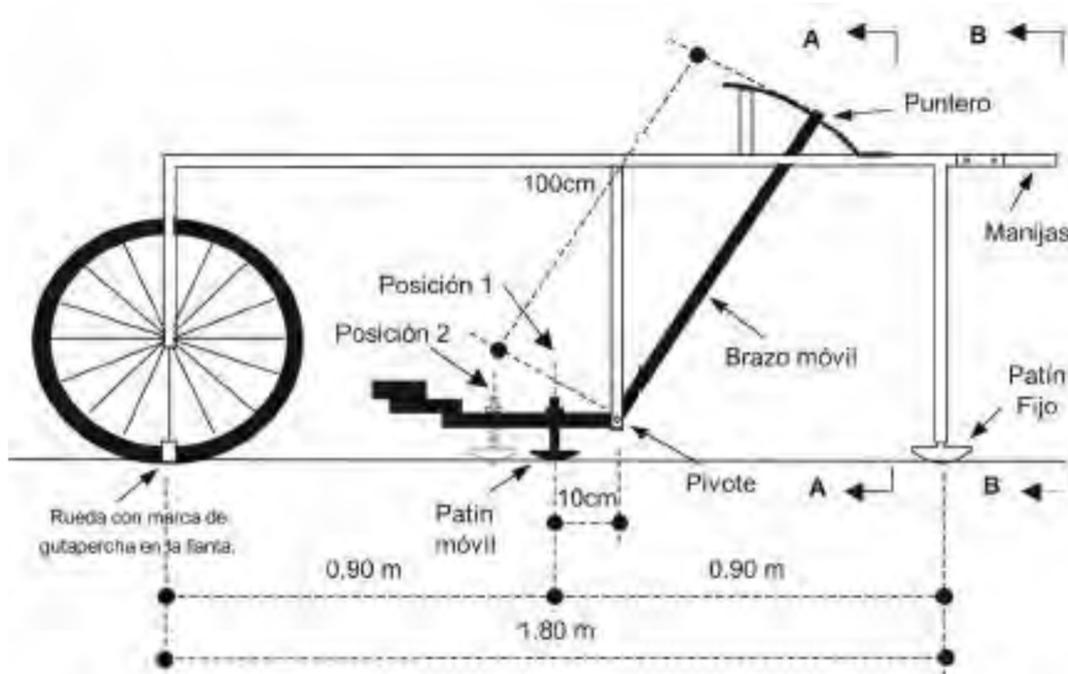
Se basan en una evaluación Subjetiva en la cual el IRI se estima con una inspección visual realizada por un ingeniero experimentado. Se utiliza sólo cuando se requiere de una información básica o referencial sin una mayor exactitud.

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.



Fuente: Estudio Definitivo para el Mantenimiento Periódico de la Carretera Panamericana Sur

Tramo: Puente Santa Rosa – Puente Montalvo

Figura N° 2.16 : Esquema del Rugosímetro MERLIN

2.3.15.2. 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.

2.3.15 .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:

Tabla N° 2.08 : 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

2.3.16. FALLAS SUPERFICIALES

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

2.3.16.1. 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, 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.

Tabla N° 2.09 : Condición de superficie y tratamiento

<i>Surface rating</i>	<i>Visible distress*</i>	<i>General condition/ treatment measures</i>
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.

Fuente : Manual Paser

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

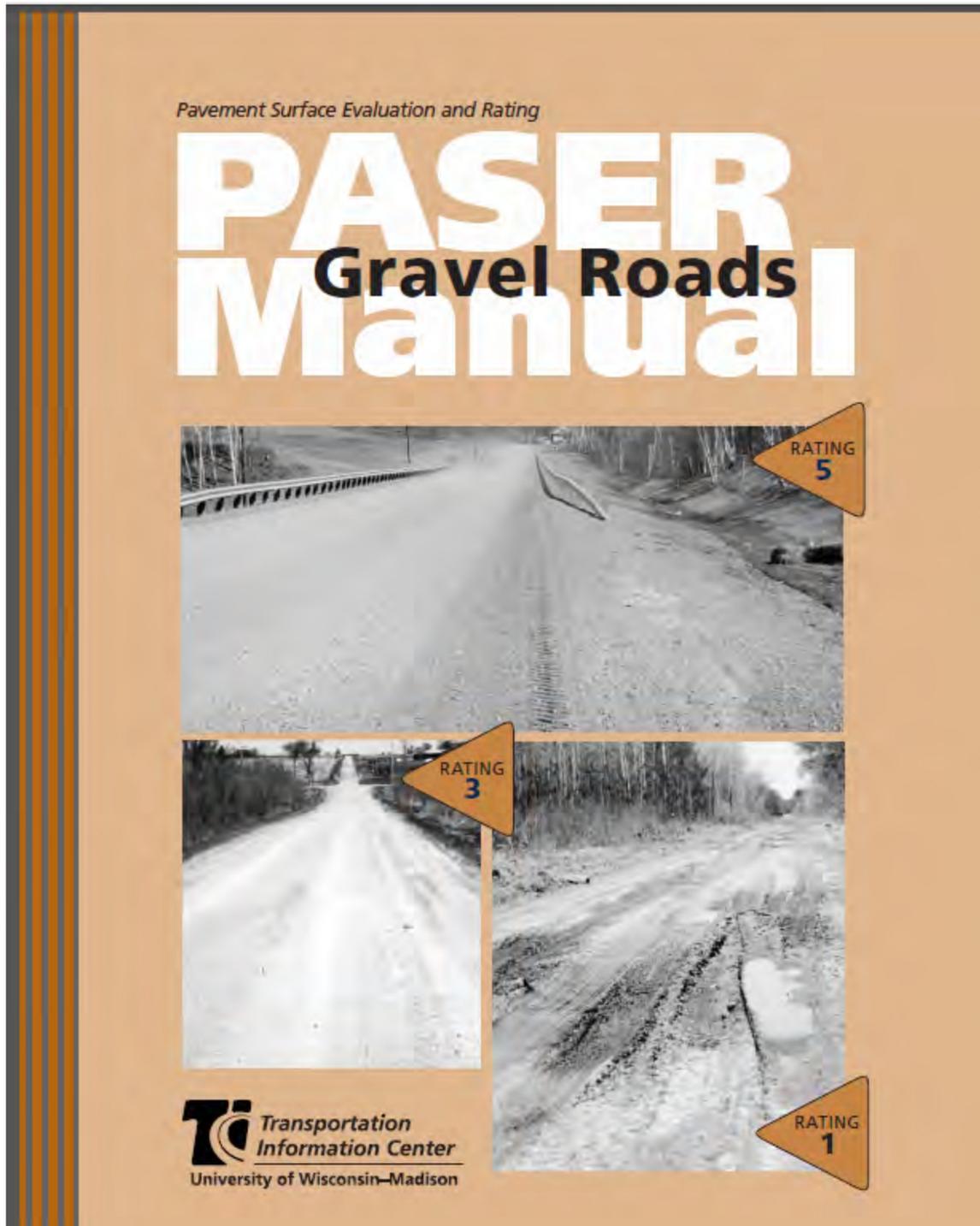


Figura N° 2.17 : Manual Paser para carreteras de grava

2.3.17. Aplicabilidad

Para ejecutar la evaluación superficial se utiliza planillas, por ejemplo en el Sector I comprendido entre las km 2+000 – km 04+400, lo dividimos en dos unidades de muestra de 1.2 km cada una, de lo cual se tiene en la siguiente planilla:

Tabla N° 2.10 : Planilla evaluación de acuerdo a Manual Paser para carreteras de Grava.

PLANILLA EVALUACIÓN DE PASER				
Carretera: <i>NO PAVIMENTADA</i> <i>ASCOPE - CONTUMAZA</i>			Sección: <i>Km 2+000 - Km 6+400</i>	
Fecha: <i>06 JUNIO 2016</i>			Unidad de muestra: <i>01</i>	
Ejecutado por:			Área de muestra:	
Tipos de Falla				
a) Superficie de rodadura b) Drenaje. c) Capa de grava. d) Deformación superficial e) Defectos en superficie.				
Clasificación de carretera				
Excelente	Buena	Regular	Pobre	Fallado
5	4	3	2	1
Clasificación de unidad			<i>4</i>	

Fuente : propia

2.3.18. 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

- Inadecuada Sección Transversal.
- Inadecuado Drenaje.

- Encalaminado.
- Polvo.
- Huecos.
- Ahuellamiento.

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	

Fuente: TECHNICAL MAUAL TM 5-626
 Figura N° 2.18 : URCI escala y condición de calificación

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

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 2.22, 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 2.19 (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 2.20).

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) $TDV = 13 + 29$

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

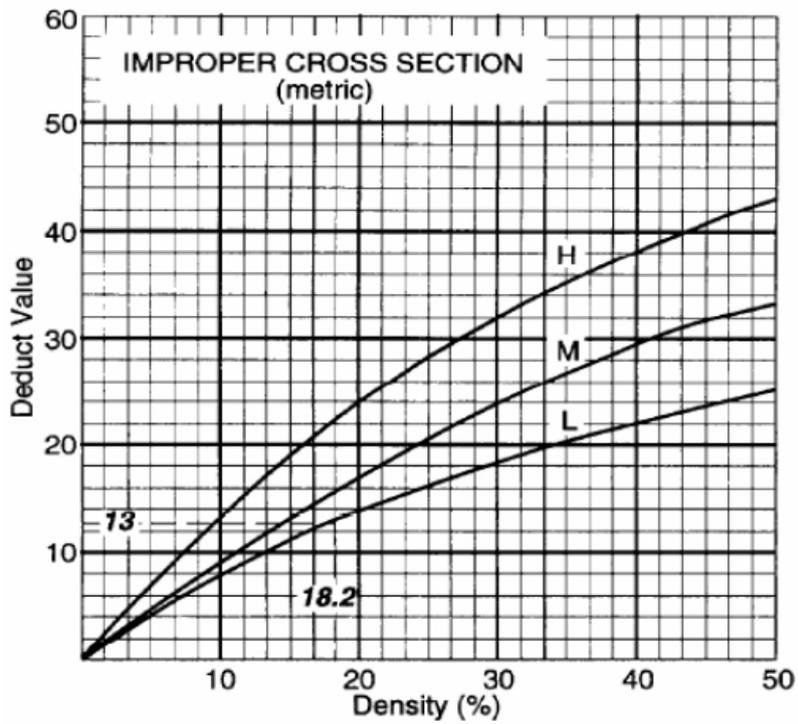
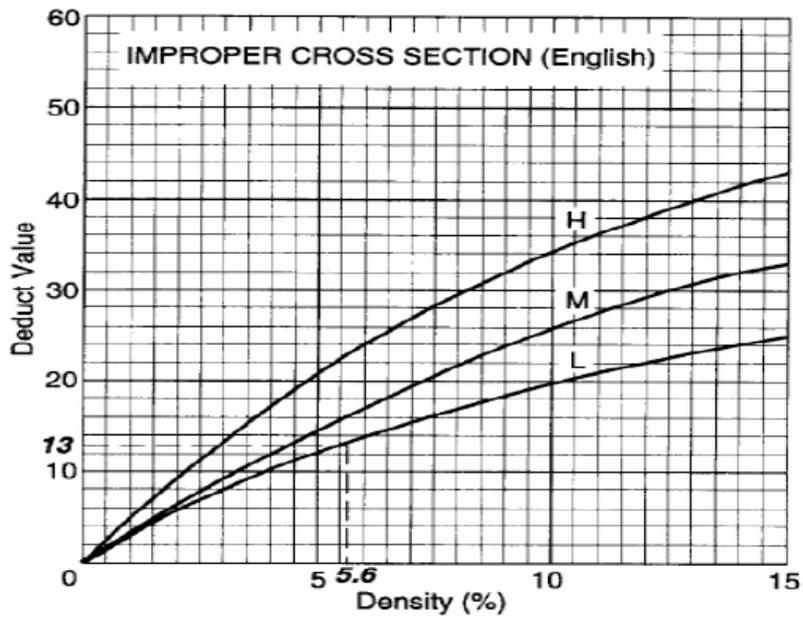
4) Paso 4. Encontrar el Índice de Condición de la Carretera no Pavimentada (URCI).

a) En la Figura 2.22, 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 2.18, la calificación es “Muy Bueno”.

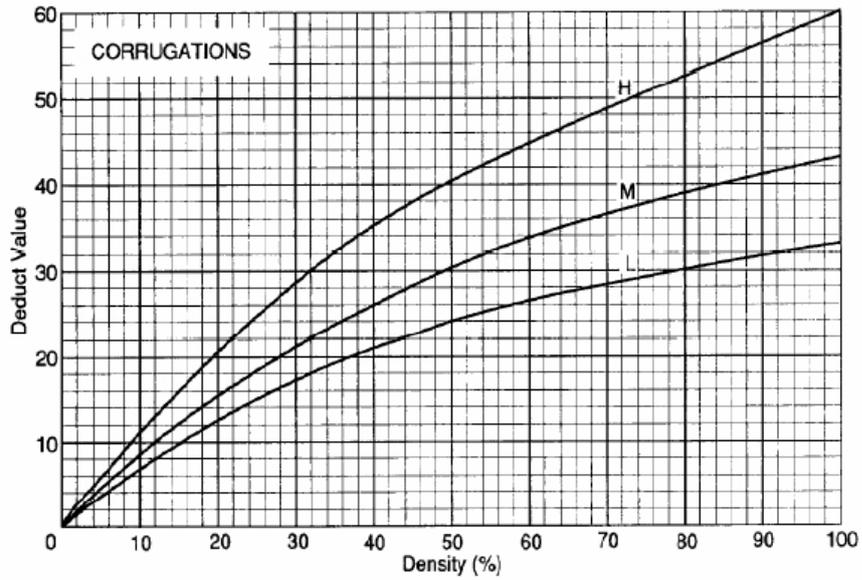
b) Esta es la calificación para esta unidad de muestra.

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.

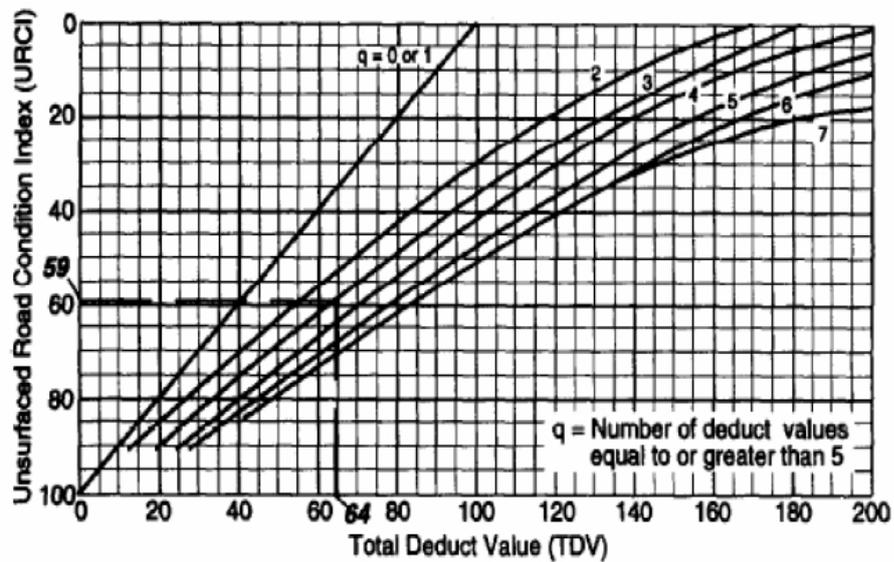


Fuente : TECHNICAL MAUAL TM 5 – 626
 Figura N° 2.19 : Falla tipo 81. Inadecuada Sección Transversal curvas de Valor Deducido



Fuente : TECHNICAL MAUAL TM 5 – 626.

Figura N° 2.20 : Falla Tipo 83. Encalaminado curvas de valor deducido



Fuente : TECHNICAL MAUAL TM 5-626.

Figura N° 2.21 : Curva URCI

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 10 Mayo 2016			
4. SAMPLE UNIT 2		5. AREA OF SAMPLE 1800 ft ²		6. INSPECTOR			
7. SKETCH 0.3 mi. ← to Dodge road 100' 18' N • stake				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	87
QUANTITY AND SEVERITY	L	100					
	M			900	✓		160
	H						
9. URCI CALCULATION							
DISTRESS TYPE e	DENSITY b	SEVERITY c	DEDUCT VALUE d	10. REMARKS			
81	5.6	L	13				
83	50.0	M	29				
84	-	M	4				
87	8.8	M	18				
n. TOTAL DEDUCT VALUE 64		f. g - 3	g. URCI 59	h. RATING = Good			

Fuente : TECHNICAL MAUAL TM 5 -626

Figura N° 2.22 : Ejemplo para calcular Densidad y Falla

2.3.19. EVALUACIÓN DEFLECTOMETRICA

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.

2.19.1. 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 mas 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 lectura 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.

2.3.19.2. 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.

2.3.19.3. 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).

Pr lo cual se tiene: Deflexión máxima = 2*L1

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 :

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

D_{20} = 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.

Tabla N° 2.11 : Factores de corrección por estacionalidad

Cuadro 3.02 Factores de corrección por estacionalidad

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

Fuente: CONREVIAl MTC

Fuente : CONREVIAl MTC

2.3.19.4. 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.

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

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.

2.3.19.5. 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:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{I=1}^N D_I}{n}$$

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 N° 2.12 : Valores de Deflexión Característica

Confiabilidad (%)	Deflexión Característica (Dc)	Extensión del pavimento con D>Dc (%)
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.

2.3.29. ASPECTOS DE LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON BISCHOFITA

2.3.29.1. Propiedades 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 N° 2.13** muestra el análisis químico típico de la Bischofita producida en Chile, la cual tiene bajos contenidos de impurezas.

Tabla N° 2.13 : Análisis químico típico de la Bischofite

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

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 (Kézdi, A):

Deliquescencia

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 prevaletientes. 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 $MgCl_2$ 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 N° 2.12**, 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.

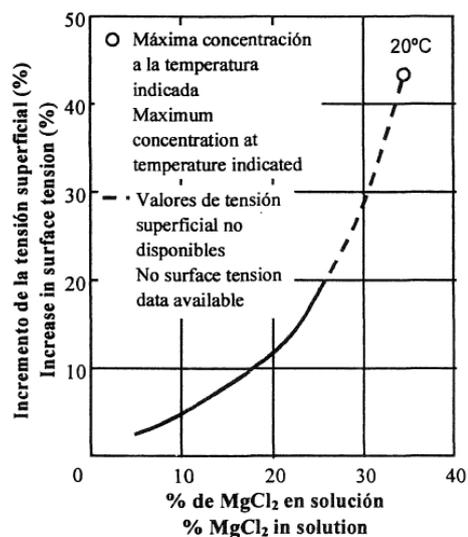


Figura N° 2.23 : Incremento de la tensión superficial

La Figura N° 2.24 muestra el diagrama de fase del cloruro de magnesio. La temperatura eutéctica es cercana a $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ para una concentración de 22% de MgCl_2

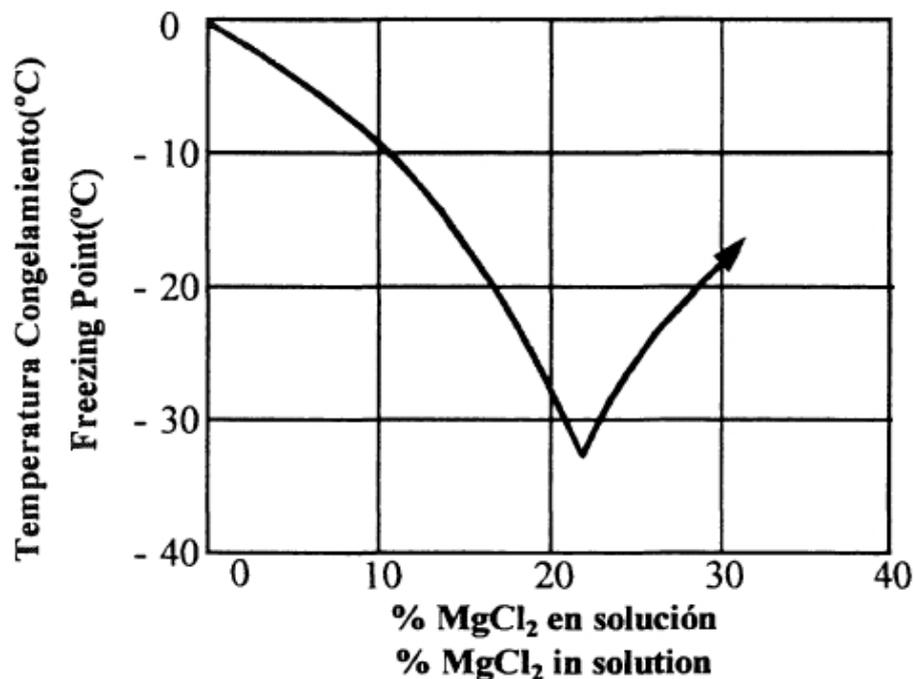


Figura N° 2.24 : Diagrama de fase del MgCl_2

2.2 Mecanismo de estabilización

De acuerdo a lo indicado por Kézdi A., 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 flucción 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 (Juárez, E. y Rico, A).

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.

CAPITULO III: RESULTADOS

3.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

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

3.1.1. Investigación en 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, lo cual se realizó comparando los resultados 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, G. & Das, B. 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 3.01 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 Tabla N°3.01 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 N° 3.01 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 N° 3.01 : 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
N°4	78	75	92	46	69
N°10	69	66	84	35	59
N°40	47	47	48	21	33
N°200	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 3.01 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 N° 3.01 muestra las curvas de tendencia de resistencia para distintos contenidos de Bischofita de probetas a 14 días de curado.

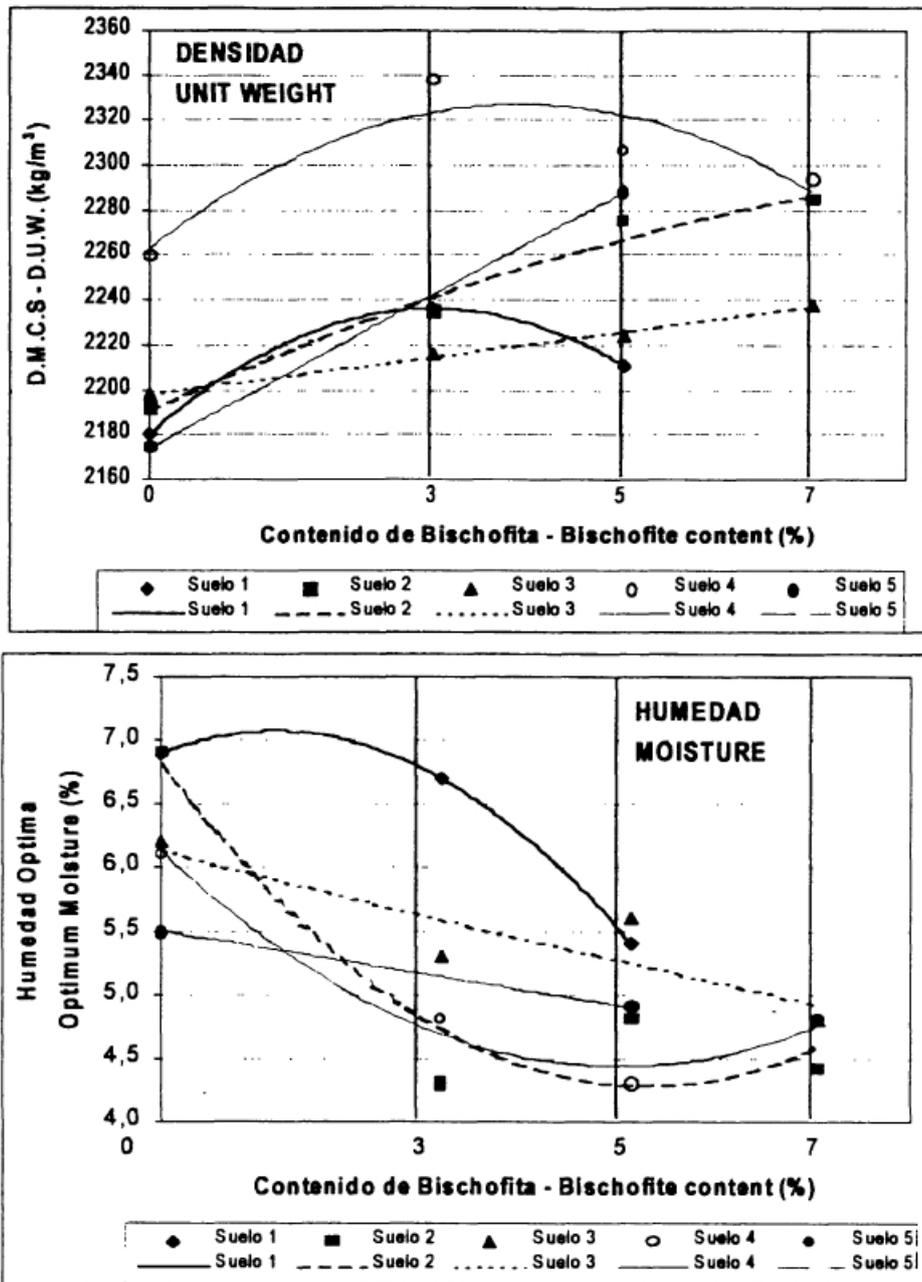
En éstas se aprecia que en todos los suelos se produce un incremento de la resistencia para un cierto contenido de Bischofita. Como se observa no hay una relación clara entre la magnitud del incremento de la resistencia y las propiedades del suelo.

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 N° 3.02 : Propiedades de los suelos para el ensayo CNC

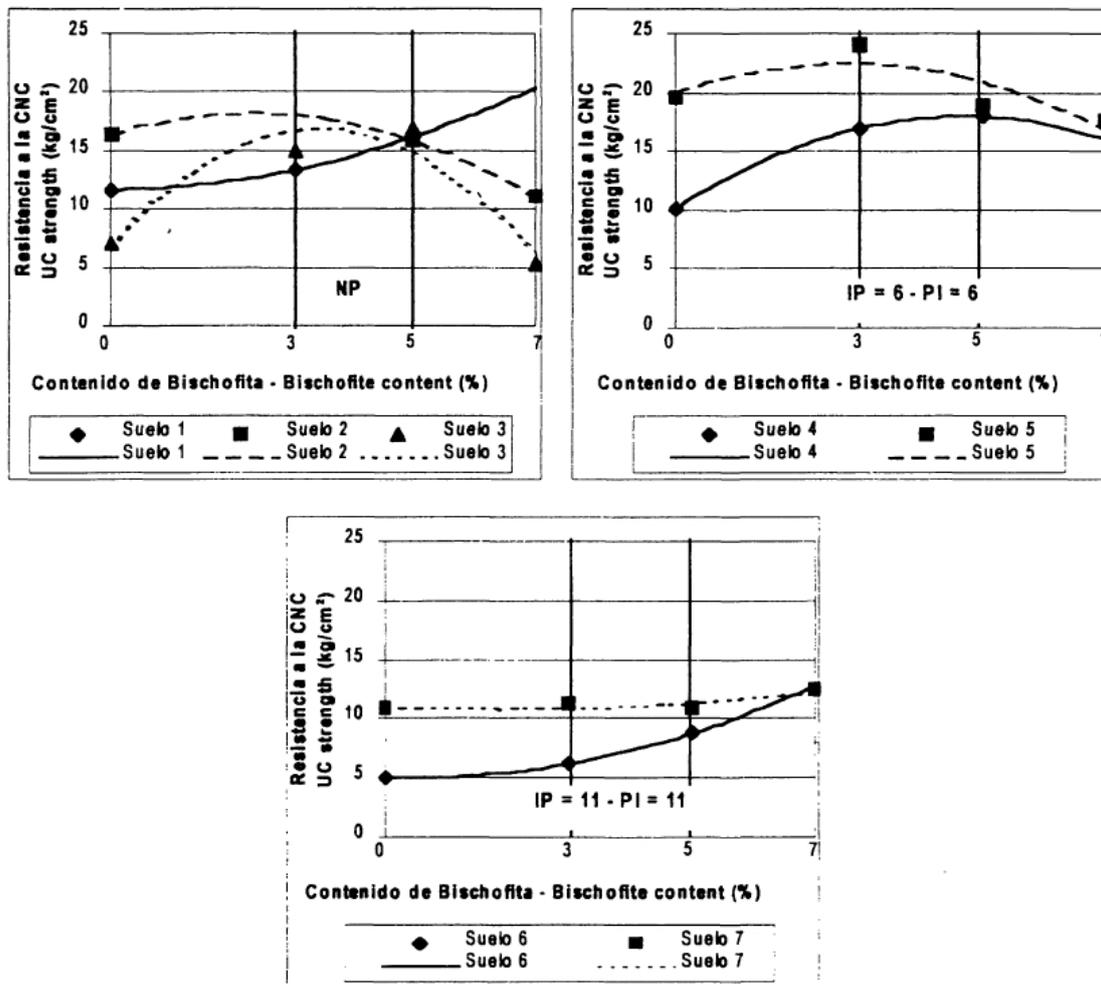
Tamiz Sieve size	Porcentaje que pasa Percent passing						
	Suelo - Soil						
ASTM	1	2	3	4	5	6	7
N°4	100	100	100	100	100	100	100
N°10	92	97	94	98	98	97	94
N°40	50	58	63	25	42	26	61
N°200	15	25	36	15	25	15	35
Límite Líquido (%) Liquid Limit (%)	---	---	---	25	25	26	26
Límite Plástico (%) Plastic Limit (%)	---	---	---	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



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

Figura N° 3.01 : Resultados del ensayo de compactación

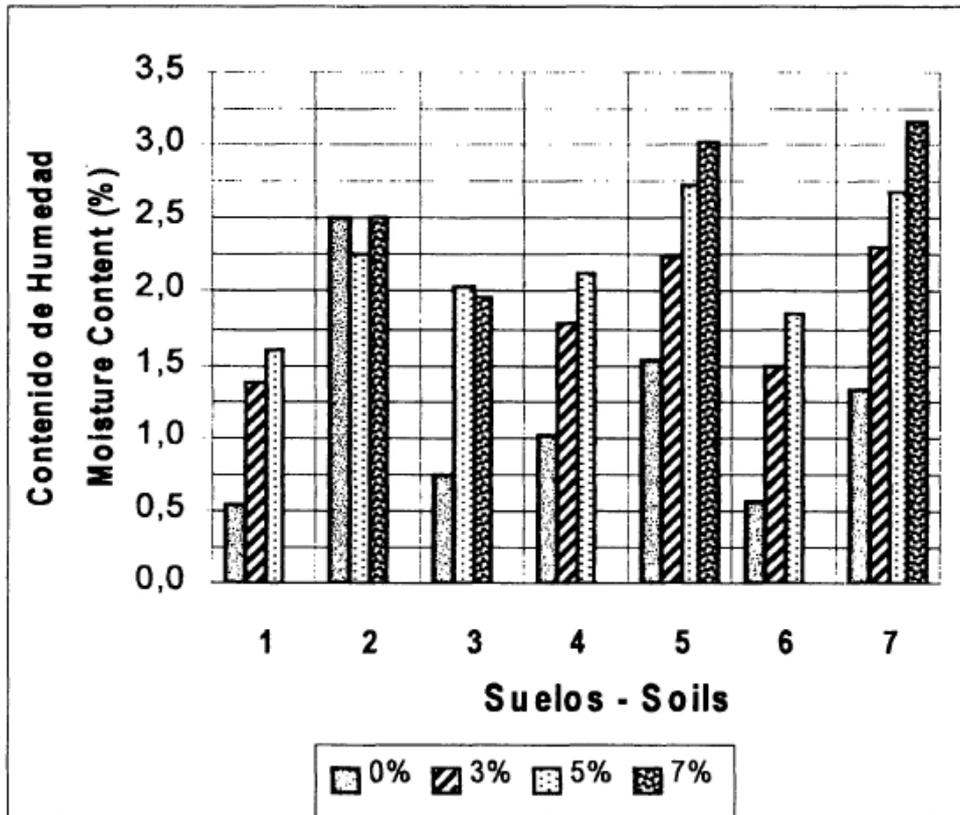


Fuente : Guillermo Thenoux Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio como estabilizador químico de capas de rodadura granulares

Figura N° 3.02 : Resistencia a la compresión no confinada (14 días de curado).

Retención de humedad

La Figura N° 3.03 muestra el contenido de humedad de los mismos suelos utilizados en el ensayo de Compresión No Confinada (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.



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

Figura N° 3.03 : Contenido de humedad de los suelos (14 días de curado)

3.2. Investigación en terreno

La investigación en terreno consistió en evaluar periódicamente tramos de la carretera Ascope – Contumaza , las pruebas 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-I-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 (caminos no estabilizado con Bischofita).

Evaluación

El comportamiento de todos los proyectos de caminos estabilizados con Bischofita han 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 Bischofita 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 Bischofita 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 Bischofita, 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. 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, se estima que la efectividad de la Bischofita se prolongará por 8 meses o más.

3.3. 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: **San Benito , Cruz Grande , Amanchaloc y Contumaza**. 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 San Benito y Cruz Grande presentan una alta humedad relativa promedio, aunque durante la tarde ésta puede ser inferior al 40%. Los tramos de Amanchaloc y Contumaza están localizados a gran altitud y en una zona de muy baja humedad relativa en el día y la noche.

Las principales características de cada tramo se indican en la Tabla N° 3.03

Tabla N° 3.03 : Características de los tramos de prueba

	Tramos de Prueba			
	San Benito	Cruz Grande	Amanchaloc	Contumaza
ASTM	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 período 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				

Evaluación

La Tabla N° 3.04 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 N°3.04 se observa que en todos los tramos de prueba, la utilización de Bischofita permite eliminar la liberación de polvo, corrugaciones y textura gruesa, y reducir la formación de baches y pérdida de material.

En cambio los tramos patrones presentan estos deterioros con distintos niveles de severidad. En los tramos de Amanchaloc y Contumaza (localizados en un clima muy seco) se produjo el agrietamiento de la superficie de rodadura del tramo de prueba (Figura N° 3.05).

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 prevaeciente 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 100 km/h.; pero por el diseño geométrico y la topografía del terreno la velocidad que emplean son menores.

Tabla N° 3.04 : Evaluación de los tramos de prueba y tramo patrón

				Tipo de Deterioro				
		Tramo		Baches	Calaminas	Mat. Suelos	Polvo	Textura Guesa
Prueba	Test	San Benito	----	2	0	0	0	0
		Cruz Grande	----	1	0	0	0	0
		Amanchaloc	1(2)	2	0	1	0	0
			2(3)	1	0	0		0
		Contumaza	----	1	0	0	0	0
Patrón	Control	San Benito	(4)	3	1	3	3	2
		Cruz Grande	----	-----	-----	-----	-----	-----
		Amanchaloc	----	2	0	1	0	0
		Contumaza	----	3	3	3	4	2

NOTA

- (1) Periodo en servicio de cada tramo antes de la evaluación
San Benito : 12 meses ; Cruz Grande : 9 meses ; Amanchaloc : 6 Meses; Contumaza : 5 meses.
- (2) Dosis de Bischofita igual a 2%.
- (3) Dosis de Bischofita igual a 3.3 %.
- (4) Tramo Patron con imprimación (MC -30).

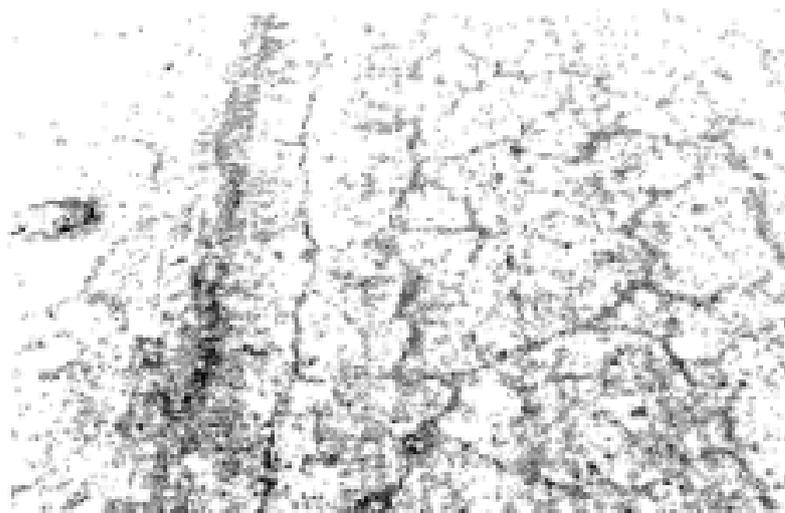


Figura N° 3.04 : Agrietamiento de la superficie de rodadura

Como ejemplo, la Figura 8 muestra el tramo de prueba y patrón de San Benito 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, espero que la efectividad de la Bischofita se prolongará, al menos, por un año más.

3.4. 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 N° 3.05 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 N° 3.06

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 N° 3.05 : 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 N° 3.06 : 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.

3.5. 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 N° 3.07 .

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 N° 3.07 : 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 N° 3.08 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 N° 3.08 : 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

3.6. 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:

3.6.1 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.

3.6.2 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.

3.6.3 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.

3.6.4 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.

3.6.5 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.

3.6.6 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.

3.6.7 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.

3.6.8. 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:

3.6.8.1. 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.

3.6.8.2. 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.

3.6.8.3. 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.

3.7 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 perdida 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.

3.8. APLICACIÓN Y MONITOREO

3.8.1. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE SUPERFICIE ESTABILIZADA

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 Carretera no pavimentada Ascope – Contumaza , con una longitud de 140 Kilometros ,comprendiendo dichas provincias a los departamentos de La Libertad y Cajamarca , respectivamente.

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

3.8.2. 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 N° 3.05), 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:

$$\text{Rugosidad} = 0.593 + 0.0471 \cdot D.$$

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 N° 3.05).

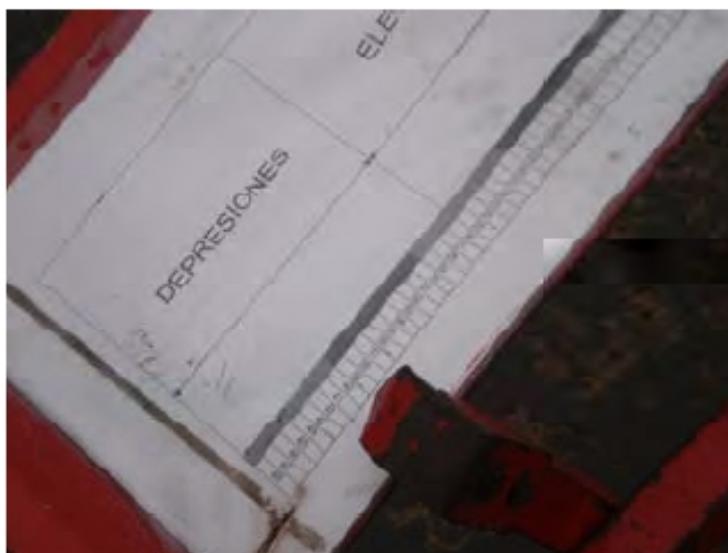


Figura N° 3.05 : Tablero de equipo Merlin

- **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.

- **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. Cada cuadrado equivale a 5 mm, por lo tanto

$$D = 18 \cdot 5 + 1/5 \cdot 5 = 91 \text{ mm.}$$

- **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:

$$FC = (6.2.0 \times 10) / [(25-10.5) \times 5] = 0.92$$

- **Paso 8.** Se calcula el D corregido: $D = 91 \times 0.92 = 83.72 \text{ mm}$

- **Paso 9.** Se calcula la rugosidad.

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 83.72 = 4.53 \text{ mm/km.}$$

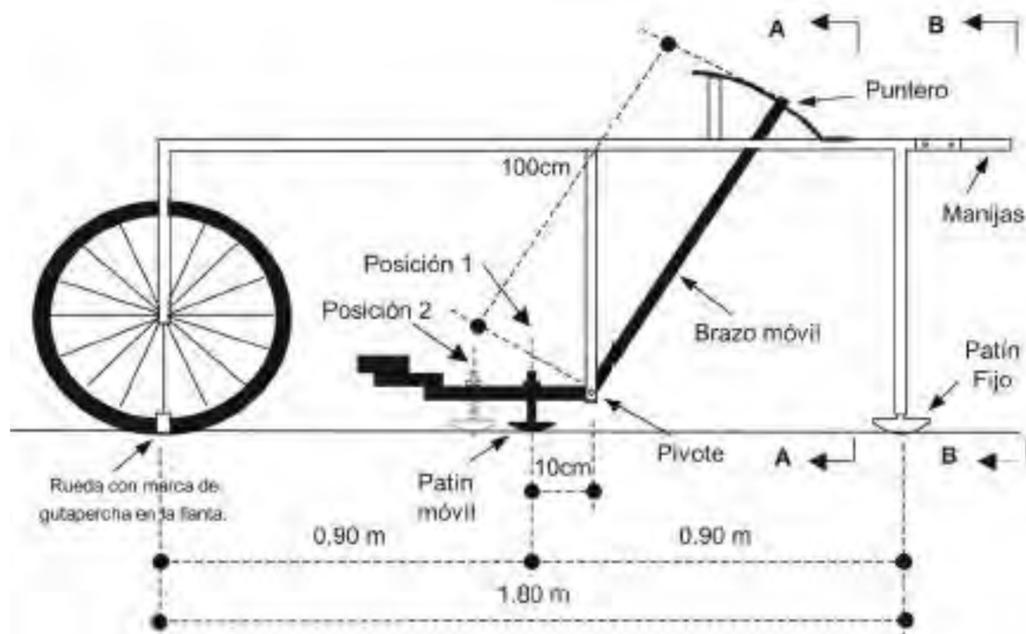
La rugosidad se calcula como el promedio de las rugosidades por carril de las secciones.

- Parámetros de Rugosidad para carreteras no pavimentadas:

Tabla N° 3.09 : 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



Fuente : Technical Manual (TM-526)

Figura 3.06. 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).

EI 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 N° 3.08.

- **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 N° 3.08 ; 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 N° 3.09 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 N° 3.11, 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 N° 3.11 , 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.

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

Figura N° 3.07 : Clasificación URCI

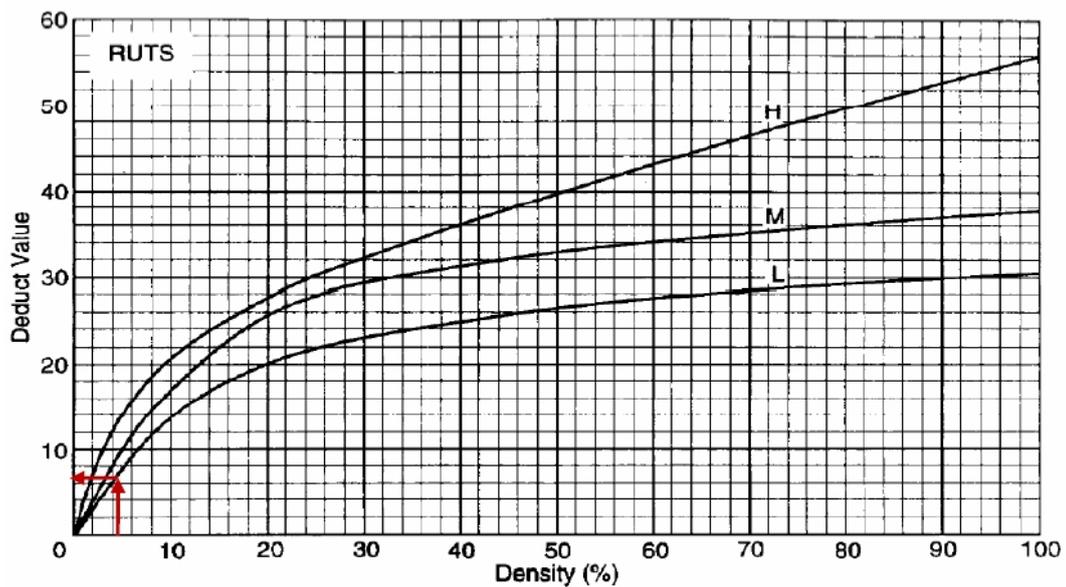


Figura N° 3.08 : Valor Deducido de Ahuellamiento

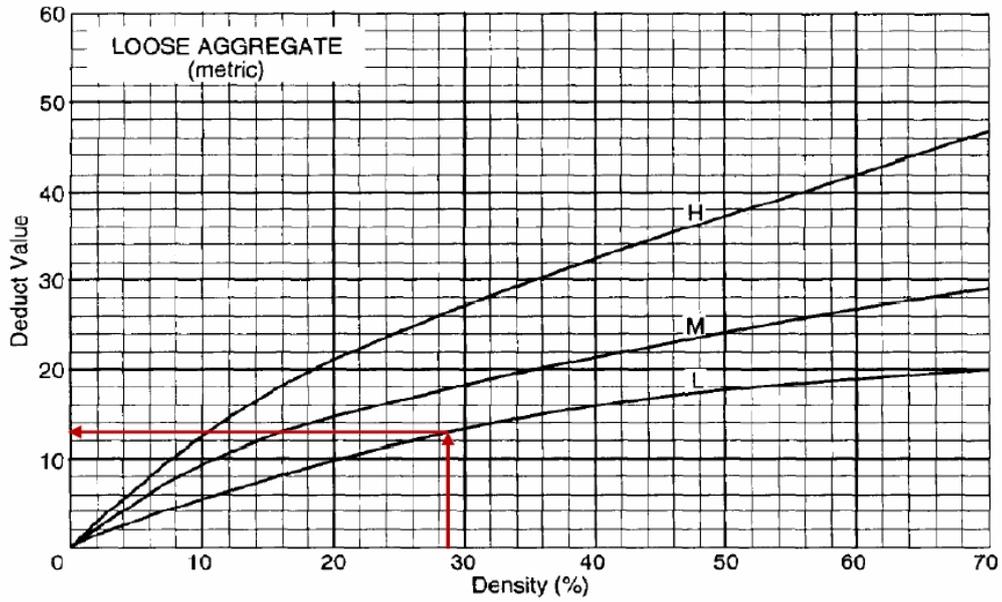


Figura N° 3.09 : Valor Deducido de Pérdida de Agregado

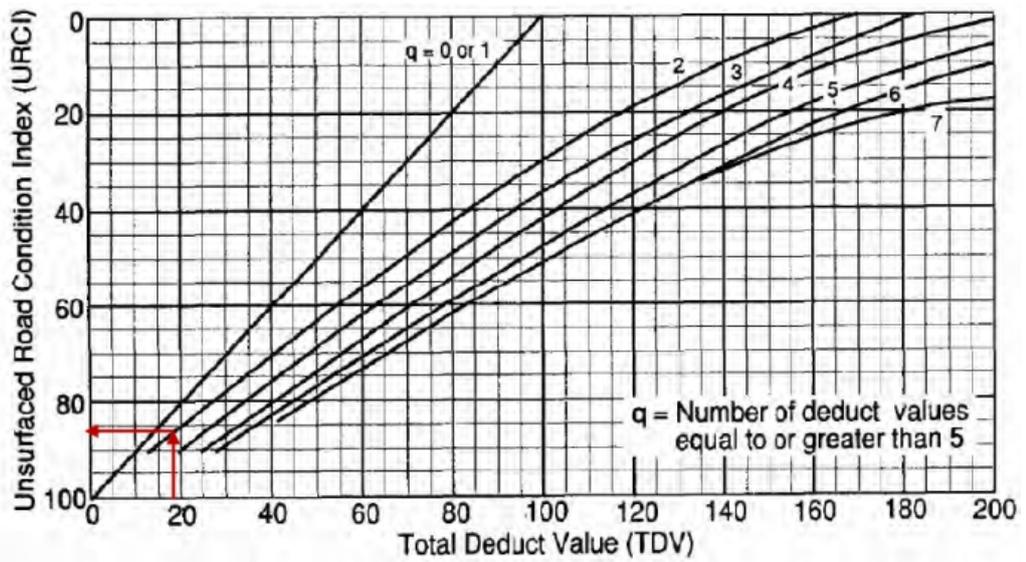


Figura N° 3.10 : Curvas de URCI

3.9. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Se realizó con viga Benkelman (Figura N° 3.11), 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 una 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 lecturas 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 N° 3.11), 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.

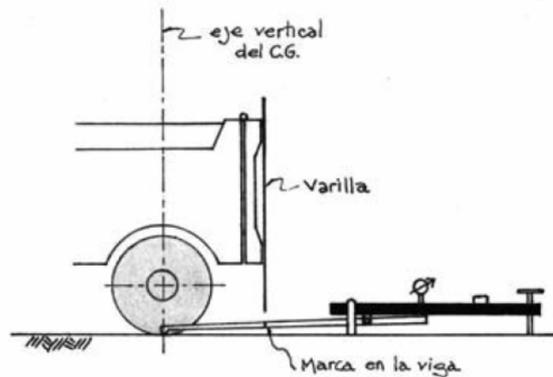


Figura N° 3.11 : Configuración geométrica de la carga

- **Paso 5.** Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la varilla vertical y la marca inicial (Ver figura N° 3.13), 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 N° 3.12.
- **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 9.** 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:

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

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

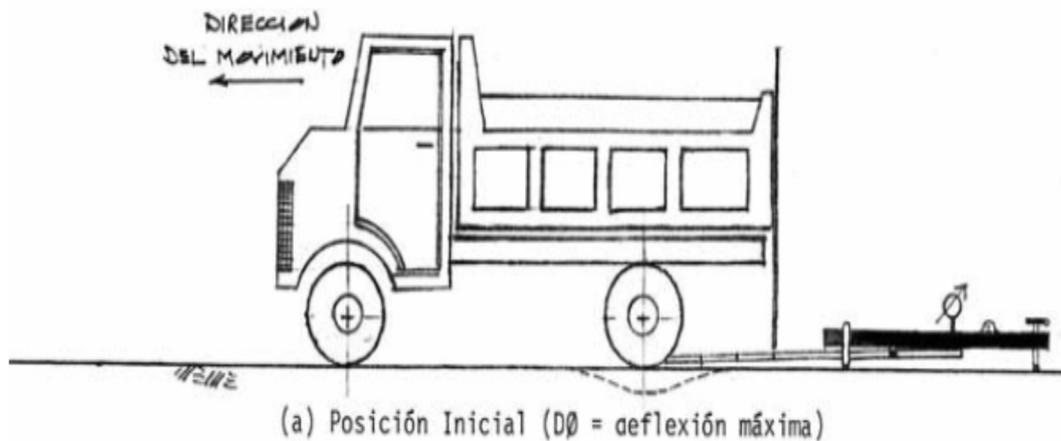


Figura N° 3.12 : Posición Inicial de la viga

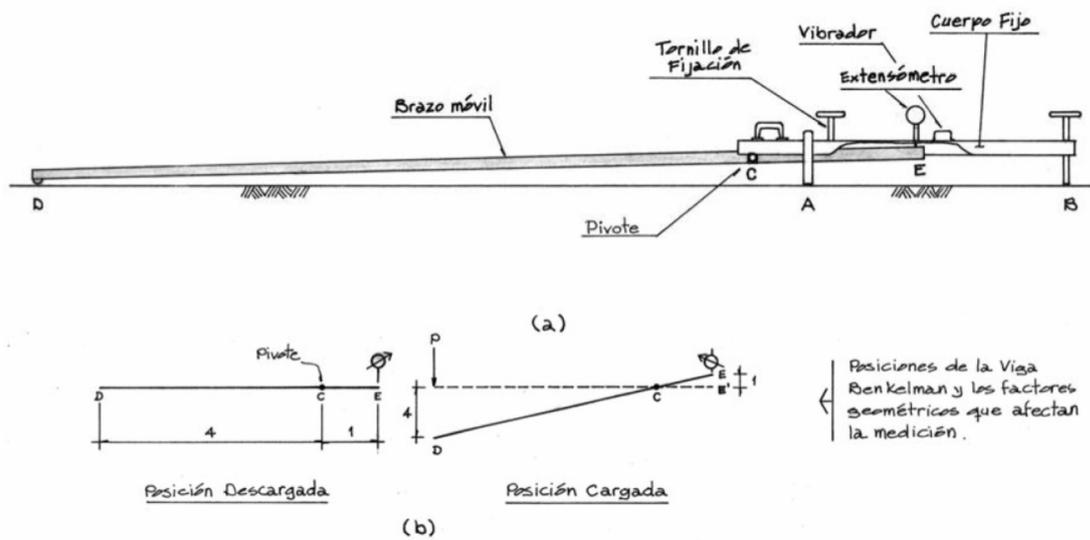


Figura N° 3.13 : Esquema y principio de operación de viga Benkelman

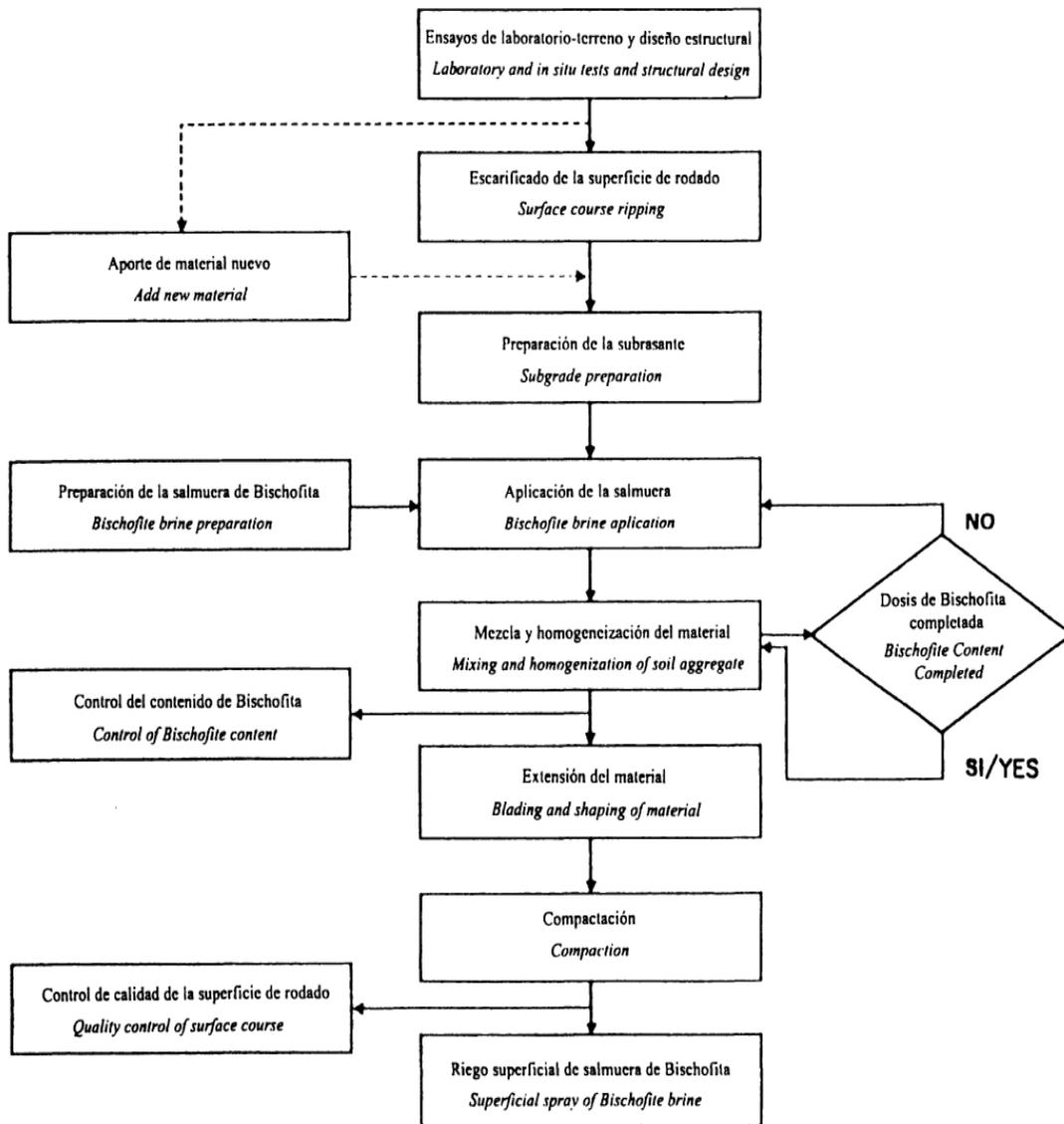


Figura 9.- Diagrama del proceso constructivo para capas de rodadura estabilizada con Bischofita.

Fuente :

Figura N° 3.14 : Diagrama de proceso constructivo para capas de rodadura estabilizada con Bischofita

3.10. Proceso Constructivo

El proceso de construcción de una capa de rodadura utilizando Bischofita es muy similar al proceso tradicional de construcción de caminos de grava, difiere principalmente en que es necesario preparar la salmuera de Bischofita, y aplicar ésta en reemplazo del agua de compactación. Además, experimentalmente se observó que la aplicación de un riego de salmuera de Bischofita sobre la superficie de la capa compactada, seguido de un ciclo de compactación con un rodillo estático, mejora la textura superficial del camino (más cerrada y homogénea).

El proceso constructivo se esquematiza en la Figura N° 3.14

Medio Ambiente

En la actualidad se están realizando experiencias para determinar el grado de lixiviación que pueda ocurrir debido a la lluvia, y de este modo poder evaluar el efecto de la Bischofita sobre la flora y fuentes de agua.

Hay que notar, que el cloruro de magnesio es considerado ambientalmente seguro y ha sido aprobado por la Agencia de Protección Ambiental y Servicio Forestal de Estados Unidos (Houssa, C.).

3.11. APLICACIÓN

La aplicación de la innovación metodológica para la evaluación de superficie estabilizada, se llevó a cabo en la zona de estudio de la carretera no pavimentada Ascope – Contumaza en una longitud de 140 Kilómetros, la cual tiene las siguientes características técnicas:

- Ubicación : Departamento de La Libertad y Departamento Cajamarca
- Inicio de Tramo: Ciudad de Ascope
- Fin de Tramo : Ciudad de Contumaza
- Longitud de Tramo: 140 km
- Altitud promedio: 230 msnm a 2772 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 Mayo del 2016)
- 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.

3.12.COSTOS CARRETERA ESTABILIZADA CON CLORURO DE MAGNESIO VERSUS CONVENCIONAL

Tabla N° 3.10 : Comparación de Costos por km – Año

AÑO	TIPO DE INTERVENCION	AFRIMADO MEJORADO S/.	AÑO	TIPO DE INTEVENCION	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 Km / AÑO : S/. 5,679.62

Total de Km	Ahorro por Km *Año (S/.)	Ahorro Total	Total de Ahorro * 10 años (S/.)
140	5,679.62	795,146.80	7'951,468.00

3.13. CARACTERÍSTICAS DEL ESTABILIZADOR CLORURO DE MAGNESIO

Tabla N° 3.11 : 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.

3.14. MONITOREO

El monitoreo de evaluación se ejecutó a la superficie estabilizada en la carretera no Pavimentada Ascope - Contumaza; la cual se pasa a desarrollar.

3.14.1. 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.

- **Trabajo de Gabinete**

Con la información de campo se ha procesado el cálculo de los valores IRI cada 430 m promedio en los 04 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 gráfico de Evolución de Rugosidad promedio obtenidos durante el monitoreo de evaluación.

Tabla N° 3.12: Rugosidad. Primer Monitoreo

CARRIL IZQUIERDO										
Progresivas (Km)		Huella	PARAMETROS ESTADISTICOS							
			POR HUELLA					AMBAS HUELLAS		
			Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Minimo	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	Minimo	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	Minimo	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

Tabla N° 3.13 : Rugosidad . 2° Monitoreo

CARRIL IZQUIERDO									
Progresivas (Km)		Huella	PARAMETROS ESTADISTICOS						
			POR HUELLA					AMBAS HUELLAS	
			Desviación Estandar	Promedio	Máximo	Minimo	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	Minimo	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	Minimo	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

Tabla N° 3.14 : 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

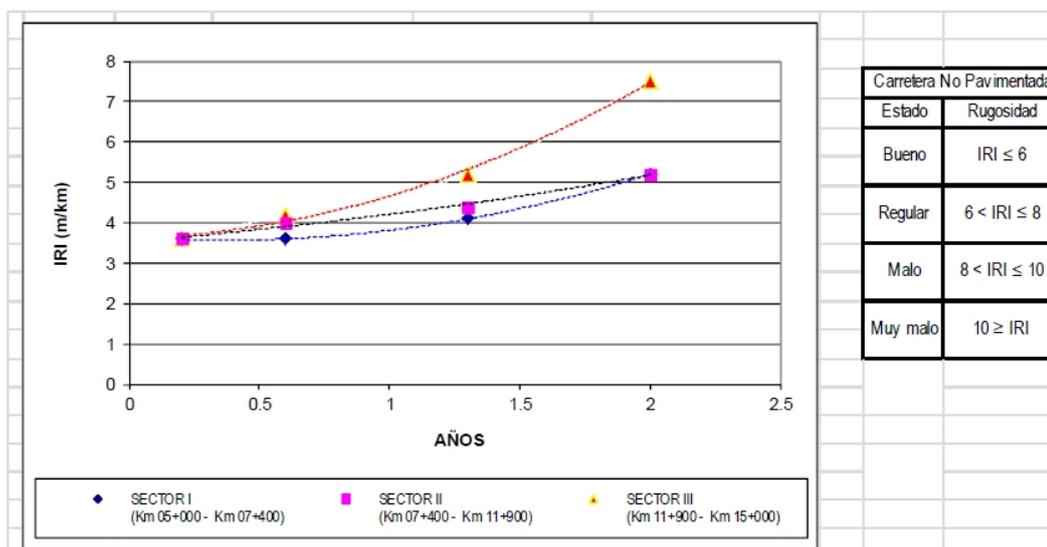


Figura N° 3.15 : Evolución de la Rugosidad

Análisis

- De los resultados obtenidos y en concordancia a Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras MTC, señalado en la Tabla N° 3.14 ; 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 50 m, 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 3.16:

- 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:** si se presenta este tipo de falla.
- 84. Polvo:** Si 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 URCl para cada unidad de muestra, para luego proceder a calcular el URCl promedio para los tres sectores considerados.

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

3.15. PROPIEDADES DE LOS SUELOS TRATADOS CON BISCHOFITA

La Bischofita cumple un papel muy importante, en la estabilización de suelos, debido a que cuando se mezcla con suelos se producen mejoras en: Estabilidad Volumétrica: Controla la expansión y contracción de muchos suelos, evitando originar presiones las cuales pueden ocasionar graves deformaciones.

Resistencia: El incremento de la resistencia se da a medida que transcurre el tiempo. **Permeabilidad:** Mejora las características permeables, debido a que une las partículas y evita el flujo de agua.

Compresibilidad: Modifica la permeabilidad, altera las fuerzas existentes entre las partículas tanto en magnitud como en sentido, lo que tiene una importancia decisiva en la modificación de la resistencia del suelo al esfuerzo cortante.

Durabilidad: Brinda resistencia al intemperismo, a la erosión o a la abrasión del tráfico, de esta manera los problemas de durabilidad en las vías terrestres son menores.

3.16. POLÍTICAS DE USO DE LA BISCHOFITA

Las políticas de uso para el Roadmag o Bischofita está en función al criterio o referencia a tener en cuenta; por ejemplo, en cuanto a recomendaciones ambientales y de seguridad acerca del uso de la Bischofita, la Guía para la aplicación de Roadmag como Estabilizador de Caminos no Pavimentados se señala: “Al igual que en cualquier construcción de obras viales, la ubicación de las áreas destinadas a las instalaciones de faenas y plantas de producción, deberán ser estudiadas cuidadosamente por el Contratista con el objeto de alejarse de aquellos sectores más sensibles al deterioro ambiental. La zona destinada al acopio de RoadMag no deberá encontrarse a menos de 10 m. de cualquier tipo de canalización de agua. Al término de la faena se deberá retirar cualquier sobrante del acopio de Bischofita.

Se recomienda además tener en consideración los siguientes aspectos ambientales y de seguridad”³⁵: Cumplir normativas para la explotación de los sitios de empréstito para la extracción de áridos. Evitar el vertido de material durante el transporte. Proveer señalizaciones de acuerdo a normativas en todos los lugares utilizados frecuentemente por los vehículos de la obra y por proveedores que se encuentren en el perímetro y/o accesos a la obra.

Diseñar, señalizar y conservar desvíos dentro del sector de la construcción, acorde con normativas vigentes o mejor. Retiro de obra, instalaciones y retiro de señalización provisoria acorde con normativas vigentes o mejor. Cumplir normativas de seguridad e higiene industrial.

En cuanto a los efectos negativos de la Bischofita en la salud de las personas se refiere; se tiene³⁶: La inhalación de polvo en suspensión puede irritar la

boca, nariz y otros tejidos del sistema respiratorio y causar tos y estornudos. Los síntomas generalmente se alivian cuando termina la exposición al producto. Una sobreexposición aguda causa irritación de la piel y ojos.

La inhalación de humos por descomposición (sobre 116°C) puede causar fiebre metálica. Los síntomas de esta fiebre son escalofríos, tos, fatiga, dolor al pecho, dolor muscular y un aumento de glóbulos blancos.

La sobreexposición al contacto con la piel puede causar irritación y alergias. Las exposiciones prolongadas o repetidas pueden causar dermatitis (piel roja y seca). La absorción por la piel no es una vía de exposición común con el producto. Al contacto con los ojos puede irritar los ojos; los síntomas son dolor, exceso de lágrimas y enrojecimiento. La ingestión no es una vía de exposición laboral común.

La ingestión aguda de este producto puede causar dolor abdominal, vómitos, diarrea; sin embargo, si se obstaculiza la eliminación por bloqueo intestinal u otra razón, este producto puede causar depresión del sistema nervioso central, falta de respuesta refleja, hipo calcemia (deficiencia de calcio en la sangre) Los efectos de una sobreexposición crónica (largo plazo) pueden causar dermatitis (piel roja y seca) Puede afectar a personas con enfermedades respiratorias, a la piel y al sistema nervioso central.

En cuanto a los efectos para el medio ambiente se refiere, la Bischofita es estable en el medio ambiente. La pérdida accidental de grandes cantidades de producto podría incrementar la salinidad de cuerpos de agua (alterando temporalmente su equilibrio natural) y la salinidad de suelos, alterando el desarrollo de la vegetación.

En cuanto a los riesgos específicos se refiere, se tiene que la Bischofita calentado a temperatura de descomposición (116-118°C) emite vapor corrosivo de HCl y compuestos de magnesio. Calentado a sobre 300°C emite humos tóxicos de cloro gas.

En cuanto a recomendaciones para el Transporte y Almacenamiento; en la guía se señala que estas tienen el propósito de evitar el mal desempeño del producto debido a su inadecuada manipulación.

Asimismo se especifica que el producto de RoadMag se comercializa a granel y eventualmente en maxisacos de 1,0 ton; cuando se comercializa a granel se debe tener en cuenta algunas precauciones durante el transporte y almacenamiento debido a la capacidad de RoadMag de atraer la humedad del ambiente; además, se debe tener especial cuidado de no contaminar el producto con material granular o aceites, los que pueden causar una reducción de la solubilidad del producto.

En cuanto al transporte de RoadMag en camiones tolva se recomienda que la carga sea cubierta con una lona impermeable que impida el contacto de RoadMag con el aire, especialmente en zonas donde la humedad relativa sea alta y llueva. Finalmente, para almacenar el producto de RoadMag en obra, se recomienda:

- Depositar sobre un lugar seco y nivelado, en lo posible sobre una cubierta de polietileno de alta densidad u otro material similar.
- En zonas donde predomina una alta Humedad Relativa, el producto se debe cubrir con una lona impermeable.
- Cuando se prevea la posibilidad de precipitaciones (lluvia o nieve) o de tormentas de arena, el producto se deberá cubrir con un plástico o cualquier material impermeable

3.17.VENTAJAS TÉCNICAS DE LOS ADITIVOS

TRABAJABILIDAD

En cuanto a la Trabajabilidad de la Bischofita se refiere, el producto funciona debido a que su alta higroscopicidad permite atraer y retener la humedad, aminorando de ese modo la pérdida de partículas finas del suelo y controlando la emisión de polvo. RoadMag aglomera las partículas finas produciendo superficies de rodado duraderas. Además provee resistencia a la acción abrasiva del tránsito debido a la formación de una cubierta en la superficie del camino producida por su cristalización.

CAPACIDAD DE SOPORTE

La prueba de compresión no confinada se realiza con el propósito de determinar las características de resistencia de los suelos. Las muestras de suelo en estudio deberían ser inalteradas (no perturbadas), para así tener la certeza que los resultados de los ensayos, serán acorde con la realidad. La muestra o probeta para un ensayo sin confinar, por lo general suele ser de forma cilíndrica en que su diámetro y altura están debidamente normalizados de modo de mantener la razón entre ellos para evitar posibles problemas de pandeo.

Para la Bischofita se tiene que el efecto inmediato del producto es mantener la humedad inicial de la carpeta, hacer mucho más duradera la cohesión fino - grueso, evitar la pérdida de fino y por consiguiente mejorar la superficie de rodadura. Aunque el proctor si mejora; se tiene que el producto (Bischofita) no mejora el valor del CBR en laboratorio, por lo que estructuralmente el comportamiento del camino dependerá de la calidad de los materiales que compongan la carpeta.

En resumen los requisitos de resistencia de la sub-rasante y de la base son los exigidos para todas las carpetas granulares normales. Resultados de la experiencia de SALMAG señalan que los espesores recomendados para la carpeta son no menos de 12 cm. y no más 20 cm., dependiendo de la solicitud de cada camino y si el proyecto considera soportar grandes cargas,

considerar CBR mín. 60% para la sub-base y 80% para la base. La banda granulométrica recomendada oscila entre tamiz 0.08 y 50 mm.; al respecto se debe anotar que el tamaño máximo de los áridos deberá ser a lo más un tercio del espesor de la carpeta de rodado compactada, que se podrá utilizar material cuya granulometría esté fuera de la banda recomendada, pero el desempeño y durabilidad de la carpeta de rodado estabilizada podrán verse reducidos y que RoadMag puede ser utilizado sin problemas con materiales no plásticos.

ESTABILIDAD BAJO AGUA

Para la Bischofita (principalmente) se debe evitarse su uso en la construcción en un terreno de capilaridad alta conocida y donde haya una fuente de agua a poca profundidad o en un lugar donde pueda ocurrir infiltración lateral, a menos que se tomen las precauciones adecuadas para interceptar este flujo de agua y drenarlo lejos de la base, carpeta o berma estabilizada.

COMPORTAMIENTO ANTE CICLOS HIELO-DESHIELO

La Bischofita logra que el punto de congelación del agua sea más baja de la de su condición normal; en efecto, la Bischofita baja la temperatura de congelamiento del agua hasta -33°C (T° eutéctica) con lo cual evita la formación de hielo (a condiciones normales) en la carretera.

COMPORTAMIENTO ANTE CAMBIOS DE HUMEDAD

La capacidad del suelo estabilizado de soportar variaciones importantes en una o más de sus propiedades de desempeño, a consecuencia de fenómenos naturales (cambios estacionales) o artificiales (anegamientos, drenaje u otros); en promedio la humedad necesaria para evitar la resequedad de la carpeta producto de la humedad natural de la zona es de 32% para la Bischofita.

3.18.IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PRODUCTOS ESTABILIZADORES CONSIDERACIONES PARA DETERMINAR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LOS PRODUCTOS ESTABILIZADORES

Los efectos que tienen en el ambiente las sales usadas como estabilizador de carreteras pueden ser significativos, pero dependen de una amplia variedad de factores únicos a cada lugar geográfico. Los impactos registrados por la sal —Bischofita— ; hablan de daños a la vegetación, fauna, suelo, agua superficial, agua potable entre otros factores.

Para determinar el grado de estabilidad de cada uno de los productos estabilizadores se tendrá en cuenta los efectos e incidencia que tienen estos en las personas, el subsuelo, la capa superficial de suelo, las plantas y animales, las fuentes de agua, la erosión del suelo, etc.

Con fines de establecer en forma sintética los efectos del producto sobre el medio ambiente; solo se consideraran los siguientes aspectos:

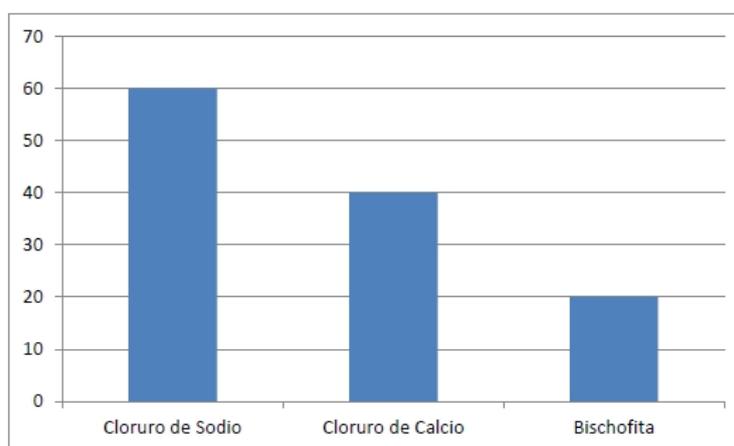
- Degradabilidad
- Bioacumulación
- Efecto del producto en plantas o animales
- Efecto del producto en la salinidad de cuerpos de agua
- Efecto del producto en la salinidad de suelos.

A cada uno de los aspectos considerados, se le asignara una calificación ordinal teniendo en cuenta el impacto causado en el medio ambiente —Alto (3), Mediano (2) y Bajo (1)— dependiendo del análisis hecho con respecto a cada uno de los aspectos considerados; luego se establecerá el impacto sobre el medio ambiente de cada producto en función a la frecuencia de las valoraciones asignadas a cada aspecto, asignando la mayor valoración de impacto al producto que no tenga información disponible para un determinado aspecto ambiental considerado.

DEGRADABILIDAD

La Degradabilidad hace referencia a la capacidad que tiene el producto de ser descompuesto bajo ciertas condiciones ambientales —biodegradable involucra la acción de microorganismos—. En ese aspecto tenemos:

La Bischofita es tan higroscópica que en presencia de lluvias se podría auto-disolver. Este producto es soluble en agua (95 gr/100 ml a 25°C). Este producto es estable en el ambiente. Es decir, si se estabiliza caminos ubicados en zonas de alta precipitación y se aplica sin los cuidados en cuanto a materiales y geometría del camino, se puede tener resultados desastrosos.



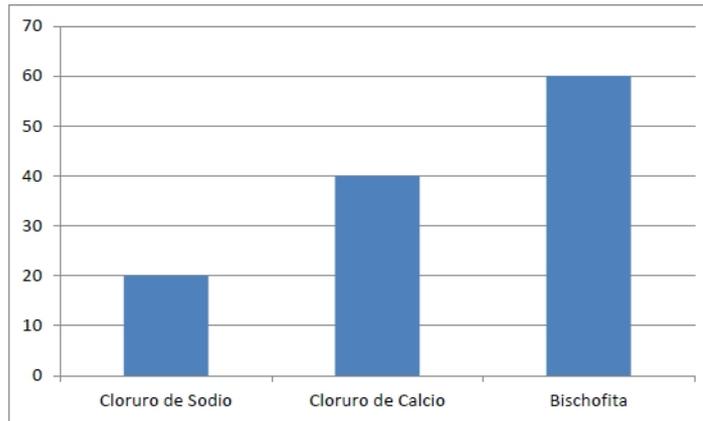
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.17 : El Cloruro de Magnesio o Bischofita, tiene menor descomposición bajo ciertas condiciones ambientales (microorganismos).

BIOACUMULACIÓN

El término bioacumulación está relacionado con el aumento en la concentración de una sustancia en organismos vivos, debido al contacto de éste con aire, agua, o alimento contaminado, debido a la lenta metabolización y excreción. En ese contexto se tiene:

En cuanto a efectos bioacumulativos de la Bischofita, en la actualidad no se tiene información disponible.

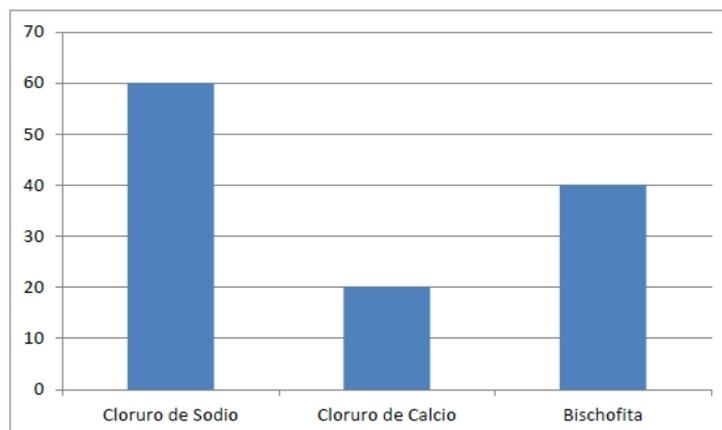


Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.18 : El Cloruro de Magnesio o Bischofita, tiene mayor Bioacumulacion

EFFECTO DEL PRODUCTO EN PLANTAS O ANIMALES

El eventual efecto en animales expuestos a la Bischofita como producto debería ser una irritación del área de tejido afectada. La liberación de importantes volúmenes de este producto produce un aumento de la salinidad y composición de suelos contaminados, pudiendo afectar la vegetación en el lugar contaminado



Fuente: Elaboración propia.

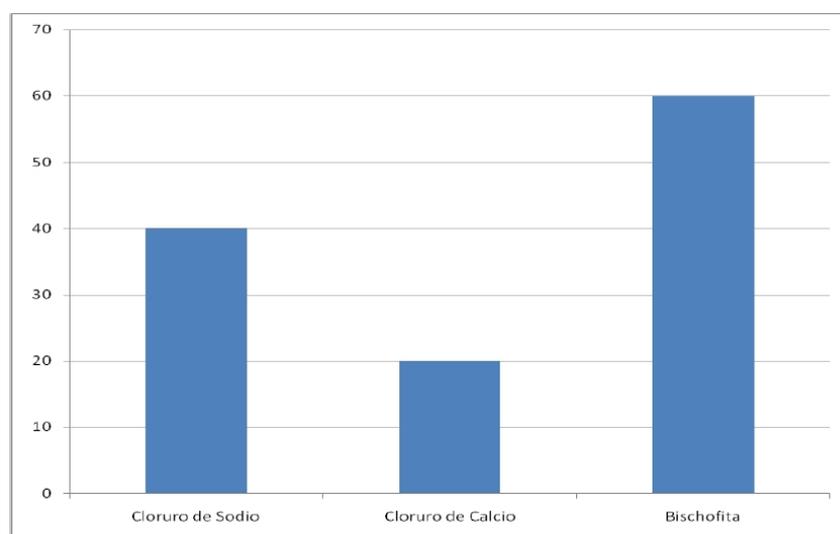
Figura N° 3.19 : Efecto de Bischofita en Plantas y Animales

EFFECTO DEL PRODUCTO EN LA SALINIDAD DE CUERPOS DE AGUA

En cuanto a la Bischofita se refiere; una de las grandes preocupaciones que se derivan de su uso como producto estabilizador es la posible contaminación de los cultivos aledaños a los caminos, donde se ha utilizado dicho recurso, ya sea en el tratamiento supresor del polvo (TSP) o en la estabilización del mismo.

Por lo mismo, Salmag, bajo la marca "DustOne", es quien se dedica a aplicar y a controlar el proceso del TSP, debido a que un mal uso de este producto puede ocasionar serios daños. En cuanto a sus efectos en los cursos de agua, los representantes de Salmag señalan que el riesgo está presente, sobre todo, cuando existen cursos de agua cercanos a donde se está aplicando Roadmag.

La liberación de grandes cantidades de este producto puede ser perjudicial para el ambiente acuático, al alterar la salinidad del agua.



Fuente: Elaboración propia.

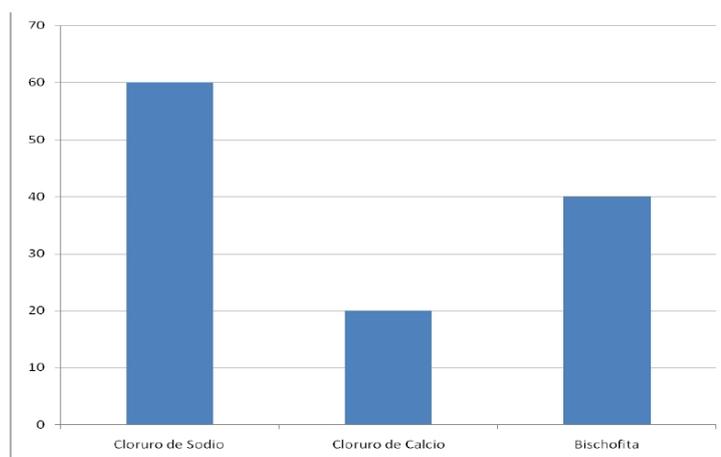
Figura N° 3.20 : Contaminación de la Bischofita en cultivos aledaños a la carretera

EFFECTO DEL PRODUCTO EN LA SALINIDAD DE SUELOS

En cuanto a la Bischofita se refiere, hay un consenso que no se debe instalar este material cerca de algunos tipos de cultivos que se puedan ver afectados; pero, «si no hay contacto directo, no existe problema».

Por lo tanto, es necesario que existan medidas que garanticen los 1,5 metros de distancia que debe haber entre el punto de colocación y la vegetación que se quiere proteger.

Finalmente, Salmag encargó al Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Chile (INIA), la realización de un estudio para poder determinar el comportamiento del producto frente a las aguas de lluvia; este estudio concluyó, que el agua lluvia disminuye sólo el 10% de la concentración superficial de este producto; permaneciendo el resto en la capas inferiores a la carpeta de rodadura.

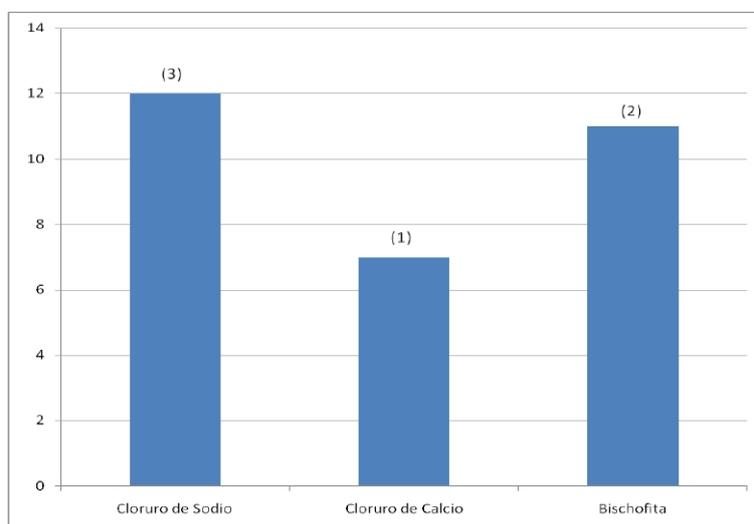


Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.21 : Efecto de la Bischofita en la salinidad de suelos

IMPACTO DEL PRODUCTO EN EL MEDIO AMBIENTE

Teniendo en cuenta las valoraciones hecha en los acápite precedentes, se construye la siguiente tabla que refleja el total de valoraciones asignadas por cada uno de los aspectos considerados:



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 3.22 : Impacto de Aditivos Químicos en el Medio Ambiente

Leyenda:

- (3) Alto impacto causado en el medio ambiente
- (2) Mediano impacto causado en el medio ambiente
- (1) Bajo impacto causado en el medio ambiente

3.19.ENSAYOS DE LABORATORIO

A continuación se presenta los ensayos básicos y los ensayos de Proctor Modificado realizado a los materiales extraídos de las Canteras de : Piedra Larga, San Benito y Amanchaloc , ubicadas en zonas adyacentes de la carretera Ascope – Contumaza.

A.- CANTERA PIEDRA LARGA

Tabla N° 3.15 : Análisis Granulométrico

CONTENIDO DE HUMEDAD
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

ASTM D2216
ASTM D422

CODIGO
0

CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)		
1	No recipiente	Imsa-IV
2	W recipiente (gr)	792.00
3	W recipiente sw (gr)	6555.00
4	W recipiente s (gr)	6464.80
5	W w : 3-4 (gr)	90.20
6	W s : 4-2 (gr)	5672.80
7	ω : 100*5/6 (%)	1.59

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
8	W recipiente s (lavado) (gr)	5740.00
9	W s (lavado) : 8-2 (gr)	4948.00
10	W s fino (plátillo) (gr)	41.00
11	W Total Parcial Retenido (gr)	4941.22
12	ΔW : 9-11 (gr)	6.78
13	W s fino (total) : [6-(11-10)-12] (gr)	765.80
14	% finos : 100*13/6 (%)	13.50
15	Error : 100*12/9 (%)	0.14

D10 (mm)	0.04
D30 (mm)	0.87
D60 (mm)	12.55
Cu = D60/D10	> 99
Cc = D30 ² /(D10*D60)	1.55

Tamiz	Peso Parcial Retenido	Peso Parcial Retenido Corregido	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado Que Pasa
(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	418.23	7.37	7.37	92.63
1"	25.000	854.40	15.06	22.43	77.57
3/4"	19.000	433.30	7.64	30.07	69.93
3/8"	09.500	934.37	16.59	46.66	53.34
No 004	04.750	726.72	12.81	59.47	40.53
No 010	02.000	274.60	4.84	64.31	35.69
No 020	00.850	333.00	5.87	70.18	29.82
No 040	00.425	268.00	4.72	74.91	25.09
No 060	00.250	226.74	4.00	78.91	21.09
No 100	00.150	217.86	3.84	82.75	17.25
No 200	00.075	213.00	3.75	86.50	13.50
Plátillo	41.00	765.80	13.50	100.00	0.00
Total	4941.22	5672.80	100.00	-	-

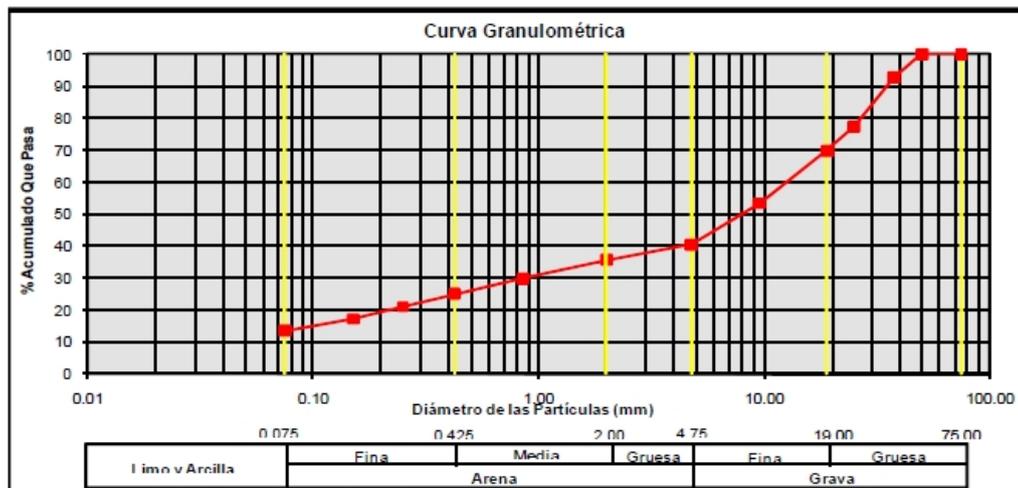
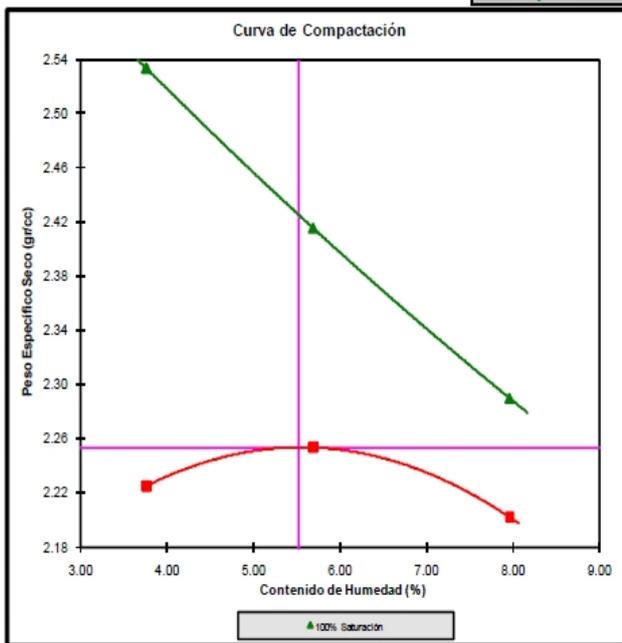


Tabla N° 3.16 : Proctor Modificado (Sin Aditivo)

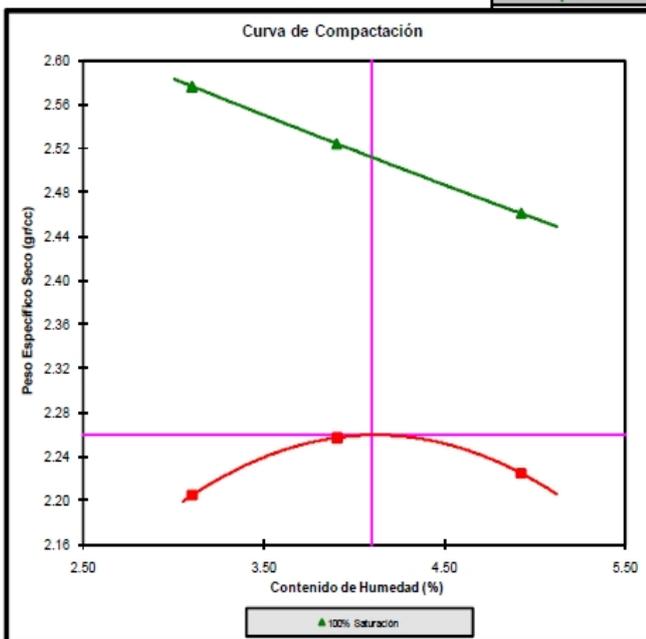
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO	
				#REF!	
PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss)				2.80	
ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR					
Tamiz	Peso Parcial Retenido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acum. Retenido (%)		
-	(mm)				
3/4"	19	510.00	24.40	24.40	
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19	
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00	
Platillo		1045.00	50.00	100.00	
Total		2090.00	100.00		
METODO DE COMPACTACION				C	
CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)					
1 No recipiente			Eli-104		
2 W recipiente	(gr)		209.06		
3 W recipiente sw	(gr)		675.34		
4 W recipiente s	(gr)		667.96		
5 W w : 3-4	(gr)		7.38		
6 W s : 4-2	(gr)		458.90		
7 ω : 100*5/6	(%)		1.61		
8 ω promedio	(%)		1.61		
O.C.H. PROBABLE (%)				5.00	
INCREMENTO DE AGUA (ΔVw_i y ΔVw (1 %))					
9 W sw	(gr)		7000.00		
10 W s : 100*9/(100+8)	(gr)		6889.21		
11 ω (%)			5.00		
12 ΔVw _i : (11- 8)*10/100	(cc)		233.67		
13 ΔVw (1 %) : (1)*10/100	(cc)		68.89		
				OCH (%)	5.52
				γd max (gr/cc)	2.25
No DE ENSAYO	1	2	3	4	5
PESO ESPECIFICO (γ)					
14 No molde					6"
15 V molde	(cc)				2129.0000
16 W molde	(gr)				6470.00
17 W molde sw	(gr)	11385.00	11540.20	11530.60	
18 W sw : 17-16	(gr)	4915.00	5070.20	5060.60	
19 γ : 18/15	(gr/cc)	2.31	2.38	2.38	
CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)					
20 No recipiente		Eli-101	Eli-102	Eli-105	Eli.500
21 W recipiente	(gr)	167.62	208.45	207.27	205.72
22 W recipiente sw	(gr)	375.02	498.54	464.06	497.51
23 W recipiente s	(gr)	367.68	487.78	450.17	481.88
24 W w : 22-23	(gr)	7.34	10.76	13.89	15.63
25 W s : 23-21	(gr)	200.06	279.33	242.90	276.16
26 ω : 100*24/25	(%)	3.67	3.85	5.72	5.66
27 ω promedio	(%)		3.76		5.69
PESO ESPECIFICO SECO (γd)					
28 γd : 100*19/(100+27)	(gr/cc)	2.22		2.25	2.20
PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γd)					



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.17 : Proctor Modificado (Adicionando 3% de Bischofita)

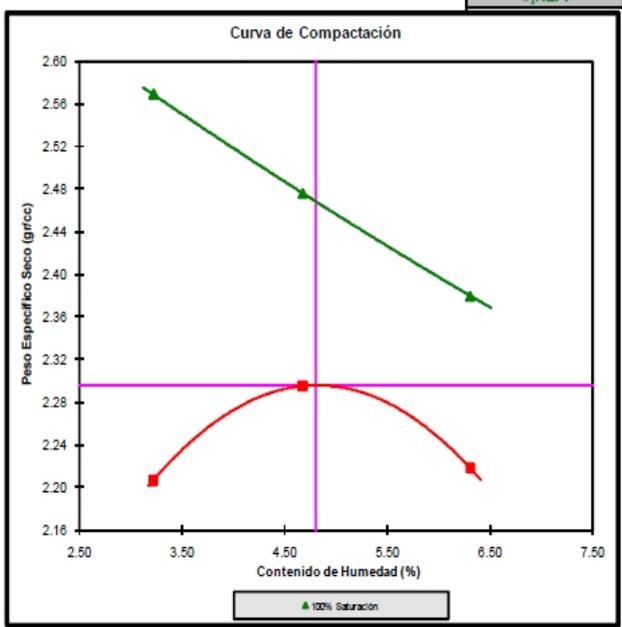
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO	
				#REF!	
PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (S_s)				2.80	
ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR					
Tamiz		Peso Parcial Retenido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acum. Retenido (%)	
-	(mm)				
3/4"	19	510.00	24.40	24.40	
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19	
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00	
Platillo		1045.00	50.00	100.00	
Total		2090.00	100.00		
METODO DE COMPACTACION				C	
CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)					
1	No recipiente			Eli-105	
2	W recipiente	(gr)		207.11	
3	W recipiente sw	(gr)		674.20	
4	W recipiente s	(gr)		666.10	
5	W w : 3-4	(gr)		8.10	
6	W s : 4-2	(gr)		458.99	
7	ω : 100 ⁵ /6	(%)		1.76	
8	ω promedio	(%)		1.76	
O.C.H. PROBABLE		(%)		5.00	
INCREMENTO DE AGUA (ΔVw₁ y ΔVw₁%)					
9	W sw	(gr)		7000.00	
10	W s : 100 ⁹ /(100+8)	(gr)		6878.61	
11	ω	(%)		5.00	
12	ΔVw ₁ : (11-8)*10/100	(cc)		222.54	
13	ΔVw ₁ (%) : (1)*10/100	(cc)		68.79	
				OCH (%)	4.10
				γd max (gr/cc)	2.26
No DE ENSAYO		1	2	3	4
PESO ESPECIFICO (γ)					
14	No molde				6"
15	V molde	(cc)			2129.0000
16	W molde	(gr)			6470.00
17	W molde sw	(gr)	11310.00	11440.00	11463.00
18	W sw : 17-16	(gr)	4840.00	4970.00	4993.00
19	γ : 18/15	(gr/cc)	2.27	2.33	2.35
CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)					
20	No recipiente	236	238	223	224
21	W recipiente	(gr)	180.76	174.40	174.97
22	W recipiente sw	(gr)	364.34	342.00	368.15
23	W recipiente s	(gr)	358.09	337.62	358.35
24	W w : 22-23	(gr)	6.25	4.38	9.80
25	W s : 23-21	(gr)	177.33	163.22	183.38
26	ω : 100 ²⁴ /25	(%)	3.52	2.68	5.34
27	ω promedio	(%)	3.10		4.92
PESO ESPECIFICO SECO (γd)					
28	γd : 100 ¹⁹ /(100+27)	(gr/cc)	2.20	2.22	2.26
PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γd)					
29	γd : 100 ¹⁹ S _s /(100+S _s +27)	(gr/cc)	2.58	2.46	2.52



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.18 : Proctor Modificado (Adicionando 4 % de Bischofita)

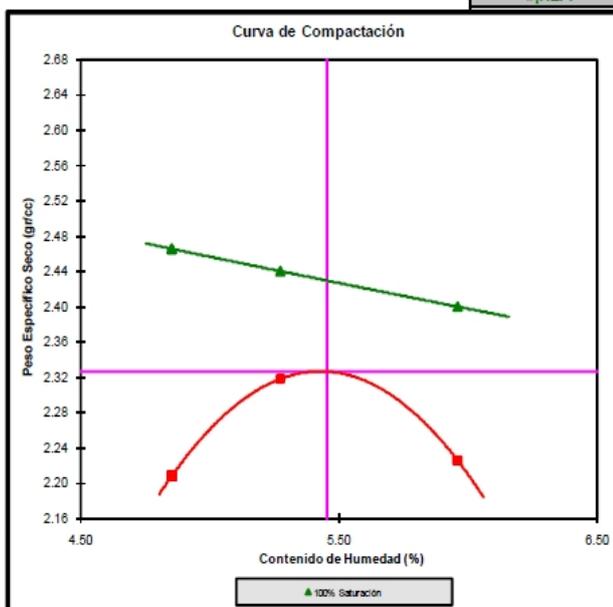
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO						
				#REF!						
PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss)		2.80								
ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR										
Tamiz		Peso Parcial	% Parcial	% Acum.						
-		Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido (%)						
3/4"	19	510.00	24.40	24.40						
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19						
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00						
Platillo		1045.00	50.00	100.00						
Total		2090.00	100.00							
METODO DE COMPACTACION		C								
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)										
1	No recipiente			T-5						
2	W recipiente	(gr)		117.29						
3	W recipiente sw	(gr)		370.38						
4	W recipiente s	(gr)		365.97						
5	W w : 3-4	(gr)		4.41						
6	W s : 4-2	(gr)		248.68						
7	w : 100*5/6	(%)		1.77						
8	w promedio	(%)		1.77						
O.C.H. PROBABLE		(%)		5.00						
INCREMENTO DE AGUA (ΔVw 1 y ΔVw 1 %)										
9	W sw	(gr)		7000.00						
10	W s : 100*9/(100+8)	(gr)		6878.03						
11	w	(%)		5.00						
12	ΔVw 1 : (11-8)*10/100	(cc)		221.93						
13	ΔVw 1 % : (1)*10/100	(cc)		68.78						
				OCH (%)	4.80					
				γd max (gr/cc)	2.30					
No DE ENSAYO		1	2	3	4	5				
PESO ESPECIFICO (γ)										
14	No molde			6"						
15	V molde	(cc)		2129.0000						
16	W molde	(gr)		6470.00						
17	W molde sw	(gr)	11320.00	11585.00	11490.00					
18	W sw : 17-16	(gr)	4850.00	5115.00	5020.00					
19	γ : 18/15	(gr/cc)	2.28	2.40	2.36					
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)										
20	No recipiente	230	231	227	300	18	42			
21	W recipiente	(gr)	176.72	187.33	176.14	160.74	172.31	196.63		
22	W recipiente sw	(gr)	360.74	322.14	387.20	374.23	341.50	405.82		
23	W recipiente s	(gr)	353.89	318.76	376.38	366.13	330.19	395.01		
24	W w : 22-23	(gr)	6.85	3.38	10.82	8.10	11.31	10.81		
25	W s : 23-21	(gr)	177.17	131.43	200.24	205.39	157.88	198.38		
26	w : 100*24/25	(%)	3.87	2.57	5.40	3.94	7.16	5.45		
27	w promedio	(%)		3.22		4.67		6.31	3.22	3.22
PESO ESPECIFICO SECO (γd)										
28	γd : 100*19/(100+27)	(gr/cc)	2.21		2.30		2.22	2.21	2.21	2.21
PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γd)										
29	γd : 100*Ss/(100+Ss*27)	(gr/cc)	2.57		2.48		2.38	2.57	2.57	2.57



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.19 : Proctor Modificado (Adicionando 5 % de Bischofita)

PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO					
				#REF!					
PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss)				2.80					
ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR									
Tamiz		Peso Parcial Retenido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acum. Retenido (%)					
-	(mm)								
3/4"	19	510.00	24.40	24.40					
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19					
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00					
Platillo		1045.00	50.00	100.00					
Total		2090.00	100.00						
METODO DE COMPACTACION									
C									
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)									
1	No recipiente			16					
2	W recipiente	(gr)		184.01					
3	W recipiente sw	(gr)		349.37					
4	W recipiente s	(gr)		346.01					
5	W w : 3-4	(gr)		3.36					
6	W s : 4-2	(gr)		162.00					
7	w : 100*5/6	(%)		2.07					
8	w promedio	(%)		2.07					
O.C.H. PROBABLE		(%)	5.00						
INCREMENTO DE AGUA (ΔVw₁ y ΔVw₂ (1 %))									
9	W sw	(gr)	7000.00						
10	W s : 100*9/(100+8)	(gr)	6857.76						
11	w	(%)	5.00						
12	ΔVw ₁ : (11-8)*10/100	(cc)	200.65						
13	ΔVw ₂ (1 %) : (1)*10/100	(cc)	68.58						
		OCH	(%)	5.45					
		γ _d max	(gr/cc)	2.33					
No DE ENSAYO		1	2	3	4				
PESO ESPECIFICO (γ)									
14	No molde					6"			
15	V molde	(cc)				2129.0000			
16	W molde	(gr)				6470.00			
17	W molde sw	(gr)	11400.00	11490.00	11665.00				
18	W sw : 17-16	(gr)	4930.00	5020.00	5195.00				
19	γ : 18/15	(gr/cc)	2.32	2.36	2.44				
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)									
20	No recipiente	Eli-103	Eli-500	236	238	227	230		
21	W recipiente	(gr)	167.04	205.61	184.18	174.77	176.34	176.84	
22	W recipiente sw	(gr)	330.15	392.81	382.23	393.63	369.95	441.74	
23	W recipiente s	(gr)	321.43	385.51	370.17	382.35	359.27	429.83	
24	W w : 22-23	(gr)	8.72	7.30	12.06	11.28	10.68	11.91	
25	W s : 23-21	(gr)	154.39	179.90	185.99	207.58	182.93	252.99	
26	w : 100*24/25	(%)	5.65	4.06	6.48	5.43	5.84	4.71	
27	w promedio	(%)		4.85		5.96		5.27	4.85
PESO ESPECIFICO SECO (γ_d)									
28	γ _d : 100*19/(100+27)	(gr/cc)	2.21	2.23	2.32	2.21	2.21	2.21	
PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γ_d)									
29	γ _d : 100*S _s /(100+S _s *27)	(gr/cc)	2.47	2.40	2.44	2.47	2.47	2.47	



Fuente: Elaboración propia.

B.- CANTERA SAN BENITO

Tabla N° 3.20 : Análisis Granulométrico

CONTENIDO DE HUMEDAD
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

ASTM D2216
ASTM D422

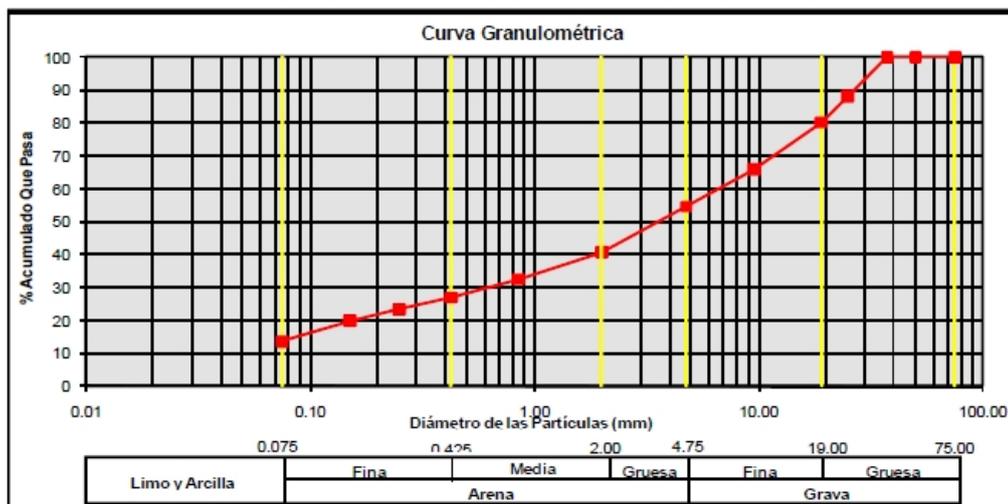
CODIGO
0

CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)		
1	No recipiente	Imsa-IV
2	W recipiente (gr)	792.00
3	W recipiente sw (gr)	6600.00
4	W recipiente s (gr)	6393.31
5	W w : 3-4 (gr)	206.69
6	W s : 4-2 (gr)	5601.31
7	ω : 100*5/6 (%)	3.69

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO		
8	W recipiente s (lavado) (gr)	5705.00
9	W s (lavado) : 8-2 (gr)	4913.00
10	W s fino (plátano) (gr)	80.83
11	W Total Parcial Retenido (gr)	4907.68
12	ΔW : 9-11 (gr)	5.32
13	W s fino (total) : [6-(11-10)-12] (gr)	769.14
14	% finos : 100*13/6 (%)	13.73
15	Error : 100*12/9 (%)	0.11

D10	(mm)	0.05
D30	(mm)	0.62
D60	(mm)	6.59
Cu = D60/D10		> 99
Cc = D30 ² /(D10*D60)		1.17

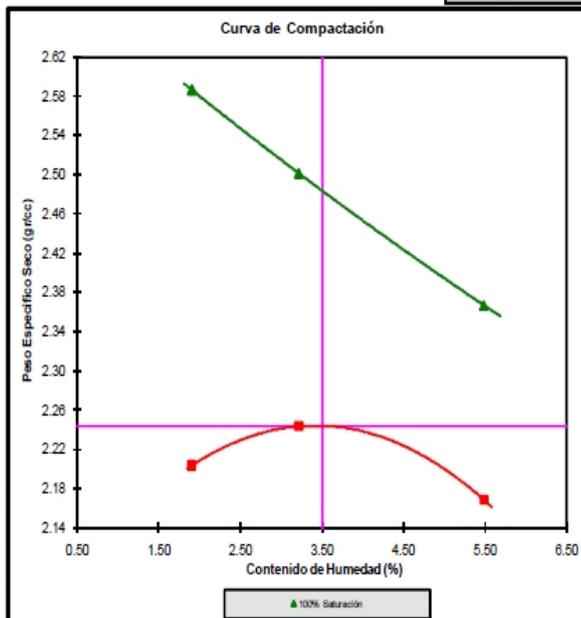
Tamiz	Peso Parcial Retenido (gr)	Peso Parcial Retenido Corregido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acumulado Retenido (%)	% Acumulado Que Pasa (%)
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	664.78	11.87	11.87	88.13
3/4"	19.000	444.49	7.94	19.80	80.20
3/8"	09.500	795.00	14.29	34.09	65.91
No 004	04.750	627.20	11.20	45.29	54.71
No 010	02.000	780.00	13.93	59.21	40.79
No 020	00.850	461.55	8.24	67.45	32.55
No 040	00.425	310.40	5.54	73.00	27.00
No 060	00.250	196.68	3.51	76.51	23.49
No 100	00.150	197.75	3.53	80.04	19.96
No 200	00.075	349.00	6.23	86.27	13.73
Plátano	80.83	769.14	13.73	100.00	0.00
Total	4907.68	5601.31	100.00	-	-



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.21 : Proctor Modificado (Sin Aditivo)

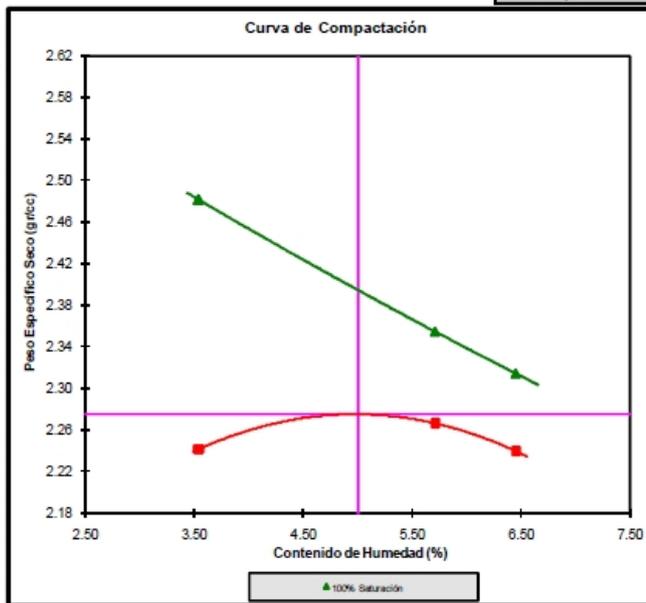
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO	
				#REF!	
PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (S_s)		2.72			
ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR					
Tamiz	Peso Parcial Retenido	% Parcial Retenido	% Acum. Retenido		
(mm)	(gr)	(%)	(%)		
3/4"	19	510.00	24.40	24.40	
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19	
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00	
Platillo		1045.00	50.00	100.00	
Total		2090.00	100.00		
METODO DE COMPACTACION		C			
CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)					
1 No recipiente				8	
2 W recipiente	(gr)			20.71	
3 W recipiente sw	(gr)			116.16	
4 W recipiente s	(gr)			111.64	
5 W w : 3-4	(gr)			4.52	
6 W s : 4-2	(gr)			90.93	
7 ω : 100*5/6	(%)			4.97	
8 ω promedio	(%)			4.97	
O.C.H. PROBABLE		4.00			
INCREMENTO DE AGUA (ΔVw i y ΔVw (1 %))					
9 W sw	(gr)			7000.00	
10 W s : 100*9/(100+8)	(gr)			6668.52	
11 ω	(%)			4.00	
12 ΔVw i : (11-8)*10/100	(cc)			-64.74	
13 ΔVw (1 %) : (1)*10/100	(cc)			66.69	
		OCH	(%)	3.50	
		γd max	(gr/cc)	2.24	
No DE ENSAYO		1	2	3	4
PESO ESPECIFICO (γ)					
14 No molde				6"	
15 V molde	(cc)			2129.0000	
16 W molde	(gr)			6470.00	
17 W molde sw	(gr)	11250.00	11400.00	11340.00	
18 W sw : 17-16	(gr)	4780.00	4930.00	4870.00	
19 γ : 18/15	(gr/cc)	2.25	2.32	2.29	
CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)					
20 No recipiente		Eli-102	Eli-101	Eli-108	Eli-15
21 W recipiente	(gr)	208.39	167.63	262.65	267.70
22 W recipiente sw	(gr)	402.09	431.23	497.64	533.31
23 W recipiente s	(gr)	398.50	426.29	490.10	525.30
24 W w : 22-23	(gr)	3.59	4.94	7.54	8.01
25 W s : 23-21	(gr)	190.11	258.66	227.45	257.60
26 ω : 100*24/25	(%)	1.89	1.91	3.32	3.11
27 ω promedio	(%)	1.90	1.90	3.21	3.21
PESO ESPECIFICO SECO (γd)					
28 γd : 100*19/(100+27)	(gr/cc)	2.20	2.24	2.17	2.20
PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γd)					
29 γd : 100*S _s /(100+S _s *27)	(gr/cc)	2.59	2.59	2.37	2.59



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.22 : Proctor Modificado (Adicionando 3 % de Bischofita)

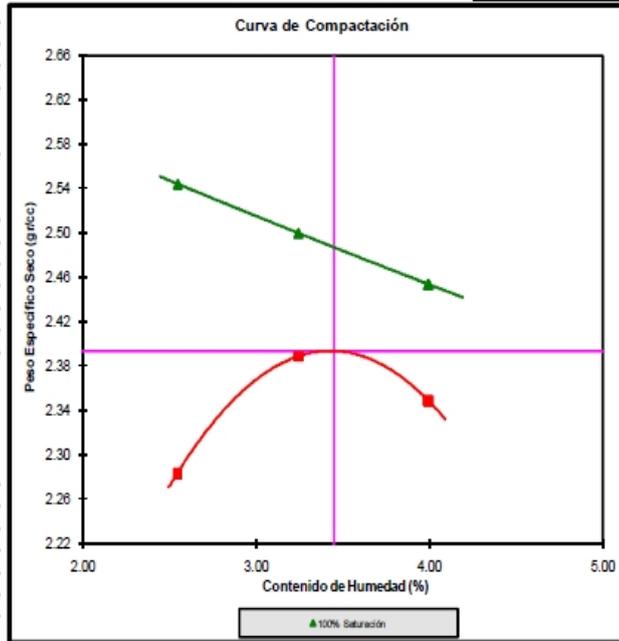
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO	
				#REF!	
PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (S _s)		2.72			
ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR					
Tamiz	Peso Parcial Retenido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acum. Retenido (%)		
-	(mm)				
3/4"	19	510.00	24.40	24.40	
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19	
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00	
Platillo		1045.00	50.00	100.00	
Total		2090.00	100.00		
METODO DE COMPACTACION		C			
CONTENIDO DE HUMEDAD (w₁)					
1 No recipiente				100	
2 W recipiente	(gr)			176.66	
3 W recipiente sw	(gr)			350.05	
4 W recipiente s	(gr)			343.45	
5 W w : 3-4	(gr)			6.60	
6 W s : 4-2	(gr)			166.79	
7 w : 100*5/6	(%)			3.96	
8 w promedio	(%)			3.96	
O.C.H. PROBABLE		(%)		5.00	
INCREMENTO DE AGUA (ΔVw₁ y ΔVw (1 %))					
9 W sw	(gr)			7000.00	
10 W s : 100*9/(100+8)	(gr)			6733.55	
11 w	(%)			5.00	
12 ΔVw ₁ : (11-8)*10/100	(cc)			70.23	
13 ΔVw (1 %) : (1)*10/100	(cc)			67.34	
OCH		(%)		5.00	
γ _d max		(gr/cc)		2.27	
No DE ENSAYO					
		1	2	3	4
PESO ESPECIFICO (γ)					
14 No molde					6"
15 V molde	(cc)				2129.0000
16 W molde	(gr)				6470.00
17 W molde sw	(gr)	11410.00	11545.00	11570.00	
18 W sw : 17-16	(gr)	4940.00	5075.00	5100.00	
19 γ : 18/15	(gr/cc)	2.32	2.38	2.40	
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)					
20 No recipiente		T-6	T-5	T-1	T-2
21 W recipiente	(gr)	168.77	118.21	118.57	118.09
22 W recipiente sw	(gr)	404.57	399.19	384.96	339.67
23 W recipiente s	(gr)	396.40	389.74	368.85	326.20
24 W w : 22-23	(gr)	8.17	9.45	16.11	13.47
25 W s : 23-21	(gr)	227.63	271.53	250.28	208.11
26 w : 100*24/25	(%)	3.59	3.48	6.44	6.47
27 w promedio	(%)		3.53		6.45
PESO ESPECIFICO SECO (γ_d)					
28 γ _d : 100*19/(100+27)	(gr/cc)		2.24	2.24	2.27
PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γ_d)					
29 γ _d : 100*S _s /(100+S _s *27)	(gr/cc)		2.48	2.31	2.35



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.23 : Proctor Modificado (Adicionando 4 % de Bischofita)

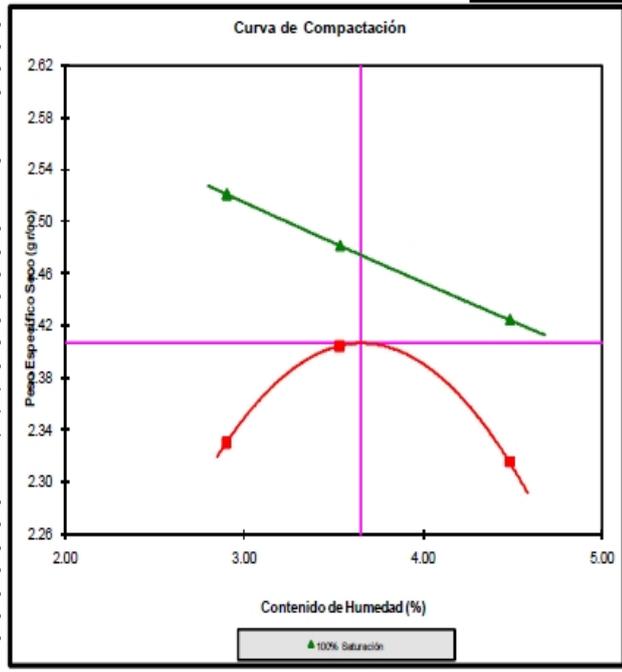
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO						
				#REF!						
PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss)		2.72								
ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR										
Tamiz	Peso Parcial Retenido	% Parcial Retenido	% Acum. Retenido							
(mm)	(gr)	(%)	(%)							
3/4"	19	510.00	24.40	24.40						
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19						
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00						
Platillo		1045.00	50.00	100.00						
Total		2090.00	100.00							
METODO DE COMPACTACION		C								
CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)										
1 No recipiente				23						
2 W recipiente	(gr)			20.40						
3 W recipiente sw	(gr)			166.19						
4 W recipiente s	(gr)			164.08						
5 W w : 3-4	(gr)			2.11						
6 W s : 4-2	(gr)			143.68						
7 ω : 100*5/6	(%)			1.47						
8 ω promedio	(%)			1.47						
O.C.H. PROBABLE		5.00								
INCREMENTO DE AGUA (ΔVw l y ΔVw (1 %))										
9 W sw	(gr)			7000.00						
10 W s : 100*9/(100+8)	(gr)			6898.69						
11 ω	(%)			5.00						
12 ΔVw l : (11- 8)*10/100	(cc)			243.62						
13 ΔVw (1 %) : (1)*10/100	(cc)			68.99						
		OCH (%)		3.45						
		yd max (gr/cc)		2.39						
No DE ENSAYO	1	2	3	4	5					
PESO ESPECIFICO (γ)										
14 No molde					6"					
15 V molde	(cc)				2129.0000					
16 W molde	(gr)				6470.00					
17 W molde sw	(gr)	11670.00	11720.00	11455.00						
18 W sw : 17-16	(gr)	5200.00	5250.00	4985.00						
19 γ : 18/15	(gr/cc)	2.44	2.47	2.34						
CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)										
20 No recipiente		3	7	236	241	227	231			
21 W recipiente	(gr)	173.98	165.57	184.22	176.01	176.06	187.24			
22 W recipiente sw	(gr)	364.81	339.50	313.13	373.82	347.83	326.63			
23 W recipiente s	(gr)	357.51	332.80	308.98	367.77	343.46	323.26			
24 W w : 22-23	(gr)	7.30	6.70	4.15	6.05	4.37	3.37			
25 W s : 23-21	(gr)	183.53	167.23	124.76	191.76	167.40	136.02			
26 ω : 100*24/25	(%)	3.98	4.01	3.33	3.15	2.61	2.48			
27 ω promedio	(%)		3.99		3.24		2.54		3.99	3.99
PESO ESPECIFICO SECO (γd)										
28 γd : 100*19/(100+27)	(gr/cc)		2.35		2.39		2.28		2.35	2.35
PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γd)										
29 γd : 100*Ss/(100+Ss*27)	(gr/cc)		2.45		2.50		2.54		2.45	2.45



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.24 : Proctor Modificado (Adicionando 5 % de Bischofita)

PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO	
				#REF!	
PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (S_s)				2.72	
ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR					
Tamiz		Peso Parcial Retenido (gr)	% Parcial Retenido (%)	% Acum. Retenido (%)	
-	(mm)				
3/4"	19	510.00	24.40	24.40	
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19	
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00	
Platillo		1045.00	50.00	100.00	
Total		2090.00	100.00		
METODO DE COMPACTACION				C	
CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)					
1	No recipiente			T-1	
2	W recipiente	(gr)		117.14	
3	W recipiente sw	(gr)		369.00	
4	W recipiente s	(gr)		365.97	
5	W w : 3-4	(gr)		3.03	
6	W s : 4-2	(gr)		248.83	
7	ω : 100*5/6	(%)		1.22	
8	ω promedio	(%)		1.22	
O.C.H. PROBABLE		(%)		5.00	
INCREMENTO DE AGUA (ΔVw_i y ΔVw (1 %))					
9	W sw	(gr)		7000.00	
10	W s : 100*9/(100+8)	(gr)		6915.79	
11	ω	(%)		5.00	
12	ΔVw _i : (11-8)*10/100	(cc)		261.58	
13	ΔVw (1 %) : (1)*10/100	(cc)		69.16	
				OCH (%)	3.65
				γ _d max (gr/cc)	2.41
No DE ENSAYO		1	2	3	4
PESO ESPECIFICO (γ)					
14	No molde			6"	
15	V molde	(cc)		2129.0000	
16	W molde	(gr)		6470.00	
17	W molde sw	(gr)	11575.10	11770.00	11620.35
18	W sw : 17-16	(gr)	5105.10	5300.00	5150.35
19	γ : 18/15	(gr/cc)	2.40	2.49	2.42
CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)					
20	No recipiente	230	238	302	315
21	W recipiente	(gr)	176.63	173.91	178.30
22	W recipiente sw	(gr)	327.51	329.04	411.49
23	W recipiente s	(gr)	323.39	324.53	403.27
24	W w : 22-23	(gr)	4.12	4.51	8.22
25	W s : 23-21	(gr)	146.76	150.62	224.97
26	ω : 100*24/25	(%)	2.81	2.99	3.65
27	ω promedio	(%)	2.90		3.53
PESO ESPECIFICO SECO (γ_d)					
28	γ _d : 100*19/(100+27)	(gr/cc)	2.33	2.40	2.32
PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γ_d)					
29	γ _d : 100*S _s /(100+S _s *27)	(gr/cc)	2.52	2.48	2.42



Fuente: Elaboración propia.

C.- CANTERA AMANCHALOC

Tabla N° 3.25 : Análisis Granulométrico

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D2216

CODIGO

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D422

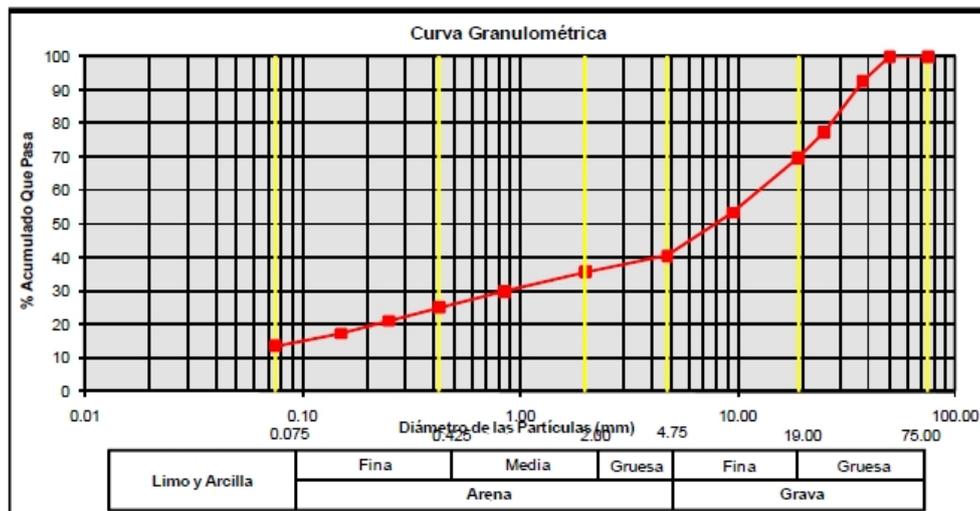
0

CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)		
1	No recipiente	LMSA IV
2	W recipiente (gr)	595.00
3	W recipiente sw (gr)	6600.00
4	W recipiente s (gr)	6339.00
5	W w : 3-4 (gr)	261.00
6	W s : 4-2 (gr)	5744.00
7	ω : 100*5/6 (%)	4.54

ANALISIS GRANULOMETRICO		
8	W recipiente s (lavado) (gr)	5810.00
9	W s (lavado) : 8-2 (gr)	5215.00
10	W s fino (platillo) (gr)	12.00
11	W Total Parcial Retenido (gr)	5210.90
12	ΔW : 9-11 (gr)	4.10
13	W s fino (total) : [6-(11-10)-12] (gr)	541.00
14	% finos : 100*13/6 (%)	9.42
15	Error : 100*12/9 (%)	0.08

D10	(mm)	0.08
D30	(mm)	0.43
D60	(mm)	12.18
Cu = D60/D10		> 99
Cc = D30 ² /(D10*D60)		0.19

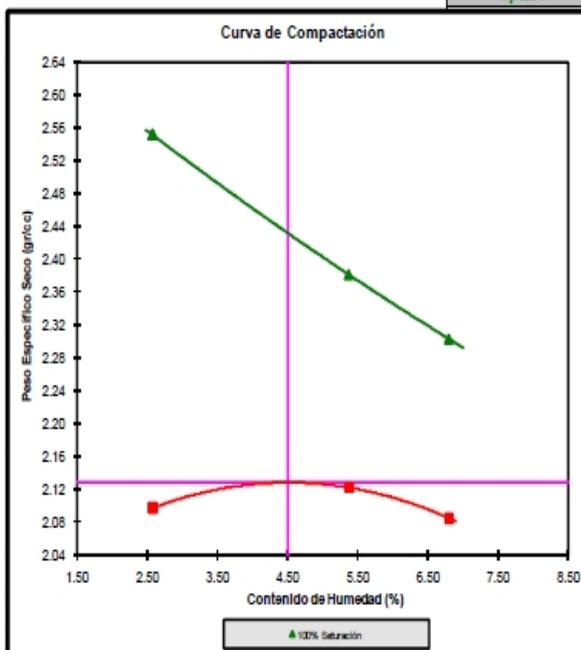
Tamiz	Peso Parcial Retenido	Peso Parcial Retenido Corregido	% Parcial Retenido	% Acumulado Retenido	% Acumulado Que Pasa
(mm)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	247.30	4.31	4.31	95.69
1 1/2"	37.500	143.40	2.50	6.80	93.20
1"	25.000	740.30	12.89	19.69	80.31
3/4"	19.000	442.70	7.71	27.40	72.60
3/8"	09.500	1123.60	19.63	47.03	52.97
No 004	04.750	551.90	9.61	56.64	43.36
No 010	02.000	432.30	7.53	64.16	35.84
No 020	00.850	201.50	3.51	67.67	32.33
No 040	00.425	135.20	2.35	70.03	29.97
No 060	00.250	196.50	3.42	73.45	26.55
No 100	00.150	455.50	7.93	81.38	18.62
No 200	00.075	528.70	9.20	90.58	9.42
Platillo	12.00	541.00	9.42	100.00	0.00
Total	5210.90	5744.00	100.00	-	-



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.26 : Proctor Modificado (Sin Aditivo)

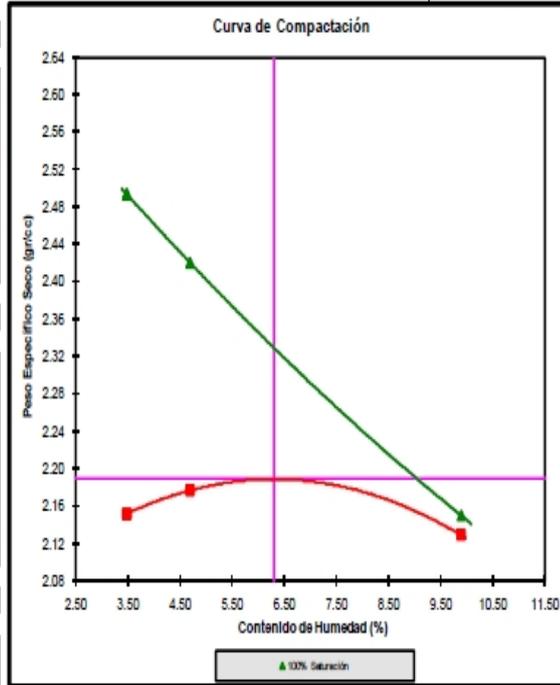
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO	
				#REF!	
PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (Ss)		2.73			
ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR					
Tamiz		Peso Parcial Retenido	% Parcial Retenido	% Acum Retenido	
-	(mm)	(gr)	(%)	(%)	
3/4"	19	510.00	24.40	24.40	
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19	
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00	
Platillo		1645.00	50.00	100.00	
Total		2090.00	100.00		
METODO DE COMPACTACION		C			
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)					
1	No recipiente			2	
2	W recipiente	(gr)		20.47	
3	W recipiente sw	(gr)		138.06	
4	W recipiente s	(gr)		133.43	
5	W w : 3-4	(gr)		4.63	
6	W s : 4-2	(gr)		112.96	
7	w : 100*5/6	(%)		4.10	
8	w promedio	(%)		4.10	
O.C.H. PROBABLE (%)		4.50			
INCREMENTO DE AGUA (ΔVw i y ΔVw (1 %))					
9	W sw	(gr)		7000.00	
10	W s : 100*9/(100+8)	(gr)		6724.38	
11	w	(%)		4.50	
12	ΔVw i : (11-8)*10/100	(cc)		26.98	
13	ΔVw (1 %) : (1)*10/100	(cc)		67.24	
				OCH (%)	4.50
				yd max (gr/cc)	2.13
No DE ENSAYO	1	2	3	4	5
PESO ESPECIFICO (γ)					
14	No molde			6"	
15	V molde	(cc)		2129.0000	
16	W molde	(gr)		6470.00	
17	W molde sw	(gr)	11050.00	11230.00	11210.00
18	W sw : 17-16	(gr)	4580.00	4760.00	4740.00
19	γ : 18/15	(gr/cc)	2.15	2.24	2.23
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)					
20	No recipiente	212	231	223	224
21	W recipiente	(gr) 178.05	187.23	175.04	175.15
22	W recipiente sw	(gr) 345.66	334.95	397.41	395.94
23	W recipiente s	(gr) 342.15	330.62	385.82	384.94
24	W w : 22-23	(gr) 3.51	4.33	11.59	11.00
25	W s : 23-21	(gr) 164.10	143.39	210.78	209.79
26	w : 100*24/25	(%) 2.14	3.02	5.50	5.24
27	w promedio	(%) 2.58	2.58	5.37	6.80
PESO ESPECIFICO SECO (γd)					
28	γd : 100*19/(100+27)	(gr/cc) 2.10	2.12	2.08	2.10
PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γd)					
29	γd : 100*Ss/(100+Ss*27)	(gr/cc) 2.55	2.38	2.30	2.55



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.27 : Proctor Modificado (Adicionando 3 % de Bischofita)

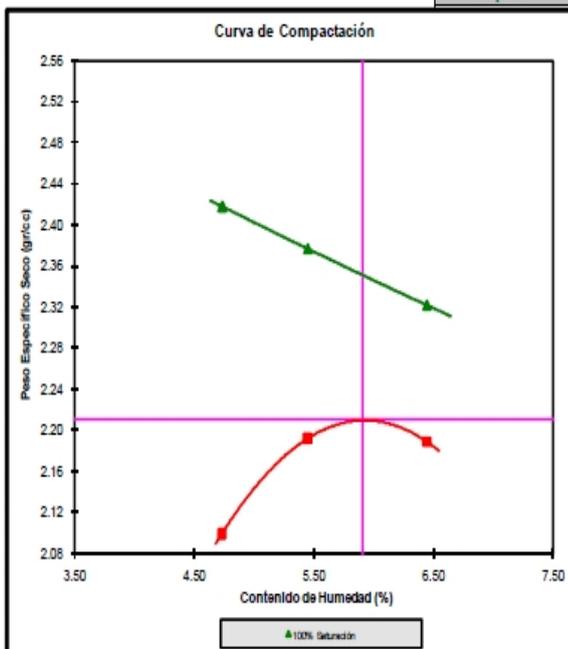
PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO				
				#REF!				
PESO ESP. RELATIVO DE SOLIDOS (S _s)		2.73						
ANALISIS GRANULOMETRICO PRELIMINAR								
Tamiz		Peso Parcial Retenido	% Parcial Retenido	% Acum. Retenido				
-	(mm)	(gr)	(%)	(%)				
3/4"	19	510.00	24.40	24.40				
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19				
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00				
Platillo		1045.00	50.00	100.00				
Total		2090.00	100.00	-				
METODO DE COMPACTACION		C						
CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)								
1 No recipiente		8						
2 W recipiente		(gr)	20.71					
3 W recipiente sw		(gr)	116.16					
4 W recipiente s		(gr)	111.64					
5 W w : 3-4		(gr)	4.52					
6 W s : 4-2		(gr)	90.93					
7 ω : 100*5/6		(%)	4.97					
8 ω promedio		(%)	4.97					
O.C.H. PROBABLE (%)		5.00						
INCREMENTO DE AGUA (ΔVw ₁ y ΔVw ₂ (%))								
9 W sw		(gr)	7000.00					
10 W s : 100*9/(100+8)		(gr)	6668.52					
11 ω		(%)	5.00					
12 ΔVw ₁ : (11-8)*10/100		(cc)	1.94					
13 ΔVw ₂ : (1)*10/100		(cc)	66.69					
		OCH (%)	6.30					
		yd max (gr/cc)	2.19					
No DE ENSAYO		1	2	3	4			
PESO ESPECIFICO (γ)								
14 No molde		6"						
15 V molde		(cc)	2129.0000					
16 W molde		(gr)	6470.00					
17 W molde sw		(gr)	11210.00	11321.00	11450.00			
18 W sw : 17-16		(gr)	4740.00	4851.00	4980.00			
19 γ : 18/15		(gr/cc)	2.23	2.28	2.34			
CONTENIDO DE HUMEDAD (ω)								
20 No recipiente		T-3	T-4	EI-500	T-5	241	302	
21 W recipiente		(gr)	114.25	118.86	205.60	118.20	175.83	178.17
22 W recipiente sw		(gr)	343.22	389.96	424.57	286.35	464.16	447.42
23 W recipiente s		(gr)	335.72	380.60	414.50	279.01	438.83	422.64
24 W w : 22-23		(gr)	7.50	9.36	10.07	7.34	25.33	24.78
25 W s : 23-21		(gr)	221.47	261.74	208.90	160.81	263.00	244.47
26 ω : 100*24/25		(%)	3.39	3.58	4.82	4.56	9.63	10.14
27 ω promedio		(%)	3.48		4.69		9.88	
			3.48		3.48		3.48	
PESO ESPECIFICO SECO (γ _d)								
28 γ _d : 100*19/(100+27)		(gr/cc)	2.15	2.18	2.13	2.15	2.15	
PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γ _d)								
29 γ _d : 100*S _s /(100+S _s *27)		(gr/cc)	2.49	2.42	2.15	2.49	2.49	



Fuente: Elaboración propia

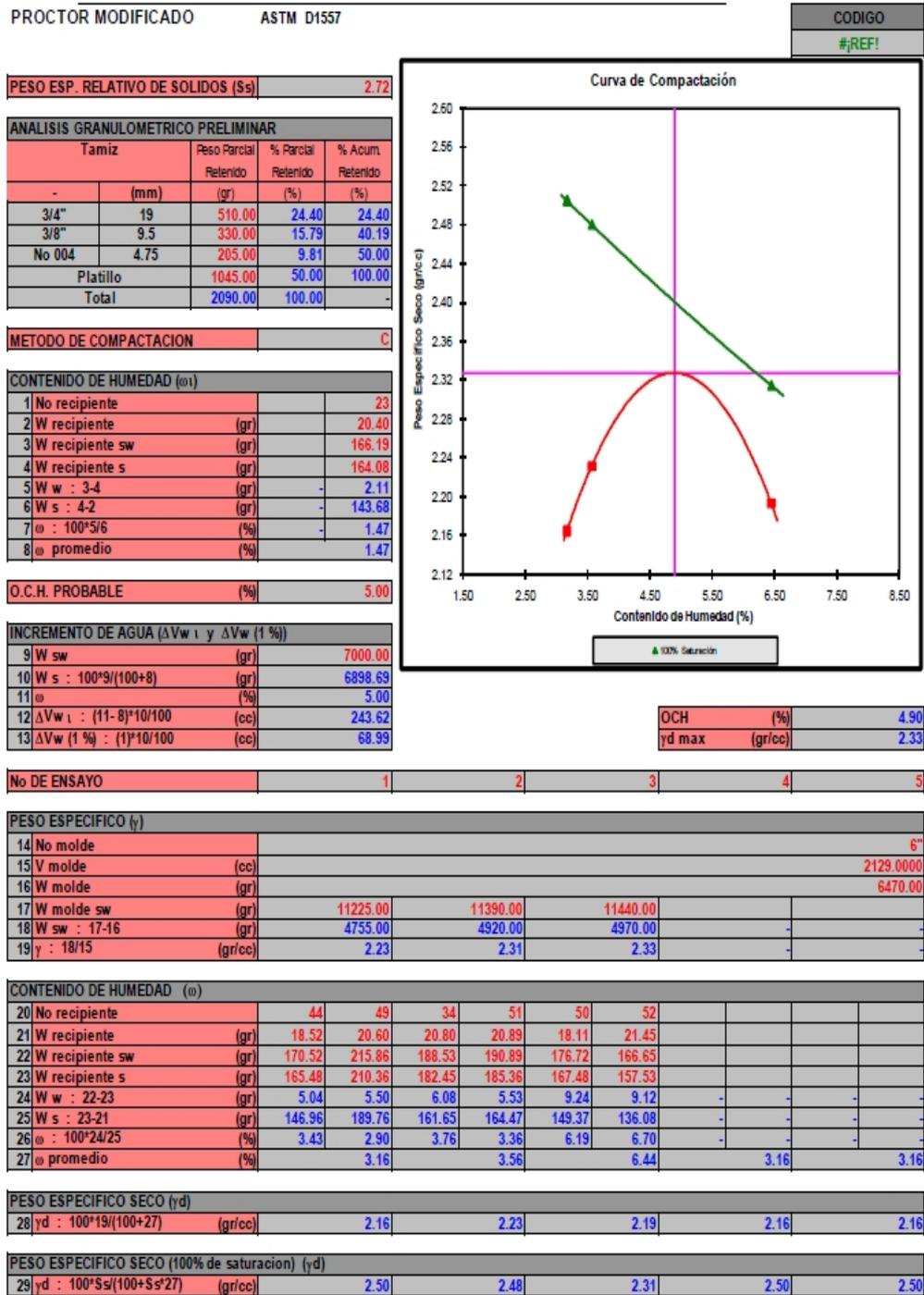
Tabla N° 3.28 : Proctor Modificado (Adicionando 4 % de Bischofita)

PROCTOR MODIFICADO		ASTM D1557		CODIGO	
				#REF!	
PESO ESP. RELATIVO DE SÓLIDOS (Ss)		2.73			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PRELIMINAR					
Tamiz	Peso Parcial Retenido	% Parcial Retenido	% Acum. Retenido		
(mm)	(gr)	(%)	(%)		
3/4"	19	510.00	24.40	24.40	
3/8"	9.5	330.00	15.79	40.19	
No 004	4.75	205.00	9.81	50.00	
Platillo		1045.00	50.00	100.00	
Total		2090.00	100.00		
METODO DE COMPACTACION		C			
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)					
1 No recipiente				8	
2 W recipiente	(gr)			20.71	
3 W recipiente sw	(gr)			116.16	
4 W recipiente s	(gr)			111.64	
5 W w : 3-4	(gr)			4.52	
6 W s : 4-2	(gr)			90.93	
7 w : 100*5/6	(%)			4.97	
8 w promedio	(%)			4.97	
O.C.H. PROBABLE (%)		5.00			
INCREMENTO DE AGUA (ΔVw i y ΔVw (1 %))					
9 W sw	(gr)			7000.00	
10 W s : 100*9/(100+8)	(gr)			6668.52	
11 w	(%)			5.00	
12 ΔVw i : (11-8)*10/100	(cc)			1.94	
13 ΔVw (1 %) : (1)*10/100	(cc)			66.69	
OCH (%)				5.91	
yd max (gr/cc)				2.21	
No DE ENSAYO	1	2	3	4	5
PESO ESPECIFICO (γ)					
14 No molde				6"	
15 V molde	(cc)			2129.0000	
16 W molde	(gr)			6470.00	
17 W molde sw	(gr)	11150.52	11390.15	11430.20	
18 W sw : 17-16	(gr)	4680.52	4920.15	4960.20	
19 γ : 18/15	(gr/cc)	2.20	2.31	2.33	
CONTENIDO DE HUMEDAD (w)					
20 No recipiente		16	236	T-6	7
21 W recipiente	(gr)	183.99	184.00	116.48	166.21
22 W recipiente sw	(gr)	393.40	400.26	320.71	308.20
23 W recipiente s	(gr)	382.71	391.78	310.58	300.58
24 W w : 22-23	(gr)	10.69	8.48	10.13	7.62
25 W s : 23-21	(gr)	198.72	207.78	194.10	134.37
26 w : 100*24/25	(%)	5.38	4.08	5.22	5.67
27 w promedio	(%)	4.73		5.44	6.44
PESO ESPECIFICO SECO (γd)					
28 γd : 100*Ss/(100+27)	(gr/cc)	2.10	2.19	2.19	2.10
PESO ESPECIFICO SECO (100% de saturacion) (γd)					
29 γd : 100*Ss/(100+Ss*27)	(gr/cc)	2.42	2.38	2.32	2.42



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.29 : Proctor Modificado (Adicionando 5 % de Bischofita)



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV: DISCUSION

CAPITULO IV

DISCUSION

La principal aplicación del aditivo Cloruro de Magnesio o Bischofita es el uso que se le da como estabilizador de caminos no pavimentados; razón por la cual y basado en la experiencia acumulada a la fecha, RoadMag permite estabilizar casi cualquier tipo de suelo. Sin embargo, se obtiene un mejor desempeño del producto con suelos que poseen estabilidad mecánica (CBR > 50–60% saturado o no sumergido según requerimientos de proyecto), además de cumplir ciertos requerimientos de granulometría y plasticidad.

Otro uso que se le da a la Bischofita es la de supresor de polvo en caminos no pavimentados —principalmente en las carreteras a nivel de afirmado —, aunque también puede ser aplicada en grandes extensiones de tierra, tales como estacionamientos, canchas de acopio y otros. RoadMag suprime el polvo manteniendo húmeda la superficie del camino, esto se debe a que es una sustancia muy higroscópica, es decir, tiene la habilidad de absorber la humedad del ambiente.

En zonas con suficiente humedad, RoadMag absorbe y retiene el agua de la atmósfera y suelo circundante para controlar efectivamente el polvo liberado de la superficie de rodado. En climas muy áridos donde la humedad es demasiado baja, probablemente será necesario aplicar riegos ocasionales de agua sobre el área tratada con la finalidad de rehidratar RoadMag. Cada superficie tratada reacciona un poco diferente, dependiendo de las condiciones climáticas locales y de las características del tránsito.

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. 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:

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 .

Polvo respirable (PM 2,5): 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.

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 producir tos y dificultad para respirar, agravar el asma, provocar daño a los pulmones (incluyendo la disminución de su función y enfermedades respiratorias de por vida) y en casos extremos muerte en individuos con enfermedades de corazón y pulmón.

Los principales problemas asociados con la emisión de polvo son las siguientes:

- Alto riesgo de accidentes por mala visibilidad.
- Efecto en la salud y rendimiento de los trabajadores.
- Aumento del costo operacional de equipos.
- Polvo en suspensión que se traslada grandes distancias.
- Reducción de las velocidades de operación y funcionalidad los equipos. Continuos riegos de agua para mitigar parcialmente el polvo.
- Alta frecuencia de uso de los equipos de mantenimiento.
- Efecto sobre instalaciones contiguas.
- Reducción de efectividad en emergencias y operaciones de rescate.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

CAPITULO V

CONCLUSIONES

1. Los resultados de la investigación en terreno de la Carretera no Pavimentada : Ascope – Contumaza ; muestran que la Bischofita es un efectivo estabilizador de capas granulares de rodadura ubicadas en climas áridos. Caminos estabilizados con Bischofita no presentan liberación de polvo y corrugaciones, reduciéndose la formación de baches y pérdida de material. Además, los caminos estabilizados con Bischofita presentan una excelente calidad de rodadura cercana a la de caminos pavimentados.
2. De los resultados de evaluación funcional y estructural de la carretera no pavimentada, en los sectores I (Ascope – San Benito) y II (San Benito – Cruz Grande) 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.
3. De los resultados de la evaluación funcional, en el sector III (Cruz Grande – Contumaza) a los 2 años de servicio, la rugosidad ha pasado de un estado bueno a regular y se tiene fallas de perdida 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.
4. La efectividad de la Bischofita es superior a dos años sin ningún tipo de conservación. Como consecuencia se pueden obtener importantes ahorros por conceptos de costos de conservación del camino y costos de operación de los vehículos, además de diversos beneficios sociales..

5. Se comprobó el aumento de la máxima densidad seca conforme se le iba aumentando el porcentaje de aditivo (3%, 4% y 5%).
6. Las 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 carreteras pavimentadas.
 - Se reduce el deterioro de la carretera.
 - Mejora la calidad de la población de la zona del estudio.La desventaja es que cuando existe presencia de agua de lluvia, se vuelve un poco resbaladiza.
7. En climas muy secos, la superficie de rodadura no absorbe humedad del ambiente, en este caso, el mecanismo de estabilización que actúa es la cementación de partículas finas de la superficie.
8. La Bischofita produce un importante mejoramiento de las propiedades de compactabilidad de los suelos, debido a un incremento de las densidades secas de compactación y una reducción del contenido de humedad óptimo.
9. Las dosis de Bischofita recomendada varía entre 3 y 5% dependiendo principalmente de las propiedades plásticas del suelo.
10. Se estudiaron suelos con un rango amplio de contenido de finos, entre 8 y 35%, y los resultados no permiten indicar que alguno de estos suelos no sea apto para ser estabilizado con Bischofita, sin embargo, se recomienda limitar el contenido de finos a un máximo de 25%.
11. La calidad final y desempeño del camino estabilizado con Bischofita dependen principalmente de la calidad de la construcción, en particular, de la adecuada homogeneización del suelo con la Bischofita y la terminación superficial de la capa de rodadura.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES

- **Riesgo ambiental y planificación para el desarrollo.**
 - Es conveniente realizar la planificación del ordenamiento territorial, como base para la elaboración de planes operativos y concertados. Procurar que este enfoque registre en su estructura conceptual y técnica el estudio y análisis del riesgo ambiental relacionado a la forma de uso y ocupación del territorio.
 - La realidad dramática generada por los desastres naturales y considerados en esencia promovidos por el hombre mismo, deben ser encarados con un enfoque integral de desarrollo, el desarrollo territorial sostenible, donde la intervención busca ser auténticamente participativa como fórmula central para lograr la sostenibilidad en las decisiones.
 - En el caso de mantenimiento y conservación vial de la infraestructura de superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas, se debe buscar suplir los retos financieros, con mecanismos de participación y supervisión comunitaria. exigiendo las consideraciones básicas de los riesgos ambientales. Estas circunstancias están permitiendo que iniciativas de organizaciones civiles junto con sus gobiernos locales generen instancias resolutorias para **promover la mitigación y la adaptación a los riesgos ambientales.**
 - 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.

➤ **Enfoque no convencional de proyectos.**

- Sugerimos que la investigación de riesgos de la infraestructura de carreteras no pavimentadas, se inscriba en el marco de una investigación sobre la **vulnerabilidad del funcionamiento rural**, acoplando este elemento esencial que es el mantenimiento y conservación vial, a otros elementos esenciales como la educación y la producción.

- Es recomendable que a partir del análisis matricial cualitativo el investigador cartografíe, con ayuda de un sistema de información geográfica, las carreteras no pavimentadas y que no tienen mantenimiento, ni conservación vial y procurar cuantificar las poblaciones involucradas, eventualmente evaluar su grado de afectación por un disfuncionamiento de sistema.

- Es necesario cambiar el enfoque en la formulación y evaluación de proyectos de inversión de la infraestructura pública y específicamente los proyectos de mantenimiento y conservación vial. Estos deben velar por la sostenibilidad del servicio evitando el dispendio de recursos que implica su ejecución improvisada. El análisis de vulnerabilidades es buen método que permita afrontar y corregir las debilidades de los sistemas viales, con una visión amplia de efectos en el ordenamiento del uso y ocupación del territorio.

➤ **Medidas de Reducción de los Riesgos identificados en el sistema.**

- La incorporación de las medidas de reducción de riesgo identificado, debe contribuir a evaluar las pérdidas probables que se generarían ante la ocurrencia de la situación de riesgo y, por tanto permitirá estimar los beneficios de la prevención.

- Con el uso y el paso del tiempo, las superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas se deterioran y envejecen. Por eso es necesario que los municipios desarrollen programas rutinarios de

gestión para mantenimiento y conservación vial, y así garantizar la calidad del servicio en el transporte.

- Existe una amplia brecha en niveles de acceso a los servicios de transporte sostenible en las regiones, por lo tanto, se hace indispensable incorporar la creación de una autoridad unitarias de transporte sostenible para que tome decisiones y que mediante un sistema de licitación haya participación de las Asociaciones Publico Privadas (APP) , para que ejecuten el mantenimiento y conservación vial con sus recursos económicos y posterior recuperación mediante convenio institucional.
- 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.
- En las siguientes investigaciones se debe considerar la medición del polvo, con equipo como por ejemplo DUSTMATE u otro.

**CAPITULO VII:
REFERENCIAS
BIBLIOGRAFICAS**

CAPITULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRIAGA PATIÑO, M.; GARNICA ANGUAS P.; RICO RODRÍGUEZ, A.
(1998) Índice Internacional de Rugosidad en la red carretera de México. México.

BALLARIN ZAVALA M (2006).. Mejoramiento de caminos no pavimentados en el departamento de Huánuco mediante la estabilización de suelos comparando el estabilizador orgánico Permazyme 22x y el probase TX-55. Facultad de Ingeniería Civil. UNI. Lima-Perú. 2006.

BOLANDER, P. (1997) .Chemical Additives for Dust Control. Transportation Research Record N° 1.589, pp. 42-49, Washington DC, 1997.

FOLEY, G., CROPLEY, S. & GIUMMARRA, G. ROAD DUST. (2014). Control Techniques: Evaluation of Chemical Dust Suppressant' Perfomance Australian Road Research Board Special Report N° 54, Vermont South,.

HOUSSA, C. (2000) . (unpublished) Magnesia and Magnesium Compounds: A Global Producers and market Review. Industrial Minerals Research, pp. 152, London,.

HOFFMAN, M. (1985). "Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)". Louis Berger Internacional inc. Lagesa Ingenieros Consultores. Lima.

JUÁREZ, E. Y RICO, (1978) A. Fundamentos de la Mecánica de Suelos - Tomo 1. Editorial Limusa, México,

JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRIGUEZ, Alfonso.(1996). Mecánica de suelos (Tomo II). Editorial Limusa. México.

- KÉZDI, A. (1979) .Stabilized Earth Roads. Elsevier Scientific Publishing Company, New York,
- KIRCHNER Y GALL, (1991). Equilibrio entre la presión de vapor de la solución de $MgCl_2$ y la del aire.
- LEGUA, C. (2009) “Evaluación Estructural de la Carretera Cañete Yauyos Chupaca con Viga Benkelman Método Matemático Tramo km 69+000 - km 74+000”. Informe de Suficiencia. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.
- MENDOZA, E. (2011). “Comparación de costos de un camino afirmado estabilizado con cloruro de magnesio versus un camino afirmado en la costa”. Tesis de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Alas Peruanas. Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2004), “MTC E 1109 –2004 Norma Técnica de Estabilizadores Químicos Dirección General de Caminos y Ferrocarriles DGC y F-Perú”.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2009) Manual de conservación de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Lima Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000). Norma Especificaciones Generales. EG 2000. Lima Perú 2000.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2001) Norma Peruana de Diseño Geométrico. DG 2001. Lima Perú .
- PATERSON D. W. (1987) Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management (World Bank) (Paperback).USA.

- PRADENA, M., MERY, J.-P. y NOVOA, É. (2011). Estabilización y mantenimiento de caminos no pavimentados sometidos a condiciones de hielo-nieve en zona de montaña.
- RICO RODRIGUEZ, Alfonso y DEL CASTILLO, Hermilio .(1984) La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Segunda Edición. LIMUSA. México.
- SINGH, G.& DAS,B.SOIL (1999). Stabilization with Sodium Chloride.Transportation Research Record N° 1.673,pp. 46-55, WashingtonDC
- S. Y. Zolfeghari Far, K. A. Kassim, A. Eisazadeh, and M. Khari.(2013). “An Evaluation of the Tropical Soils Subjected Physicochemical Stabilization for Remote Rural Roads”, Department of Geotechnics and Transportation, Civil Engineering Faculty, University Technology, Malaysia, Procedia Engineering 54 pp. 817-826.
- THENOUX Z.G., VERA A. S. (2014) Evaluación de la efectividad del cloruro de magnesio hexahidratado (Bischofita) como estabilizador químico de capas de rodadura granulares.Chile.