

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“EVALUACIÓN FUNCIONAL Y DE SUPRESIÓN DE POLVO QUE
PRESENTA EL CAMINO ESTABILIZADO CON BISCHOFITA SAN
GREGORIO – SOCSO (Km 05+000 – Km 15+000)”.**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

ELABORADO POR

RUBEN MAXLENI PACHECO YANGALI

ASESOR

Ing. JUAN APACLLA CAJA

LIMA-PERÚ

2021

© 2021, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**

Pacheco Yangali Ruben Maxleni
lenin_323_5@hotmail.com
989361515

DEDICATORIA

A Dios, porque gracias a él he aprendido mucho de esta vida y he encontrado mi propósito en este mundo.

A mi padre Moisés Pacheco Velásquez, por haber inculcado en mí, el trabajar duro para cumplir mis metas.

A mi madre Maruja Yangali Araujo, por haber tenido confianza en mí desde siempre y por enseñarme que con constancia, trabajo duro y dedicación se pueden lograr muchas cosas.

A mi esposa Lucero Berenice Calderón Caballero, por brindarme su amor, aliento y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por haber depositado toda su confianza en mí para el desarrollo de la presente tesis.

A mi asesor el Ing. Gonzalo Brazzini Silba, por haber compartido conmigo muchas de sus experiencias obtenidas a lo largo de su carrera en lo concerniente al empleo de sales.

A mi asesor el Ing. Juan Apaella Caja, por haberme asesorado y brindado todo su apoyo para el desarrollo de la presente investigación.

Al Ing. Robert Martínez Dongo, por haber sido mi mentor en lo concerniente a diseño de pavimentos y evaluación funcional de carreteras.

INDICE

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	6
PRÓLOGO.....	8
LISTA DE TABLAS.....	9
LISTA DE FIGURAS.....	12
LISTA DE SIMBOLO Y SIGLAS	19
CAPITULO I : INTRODUCCIÓN.....	22
1.1 GENERALIDADES.....	22
1.2 PROBLEMÁTICA	22
1.3 OBJETIVOS.....	25
1.3.1 Objetivo general	25
1.3.2 Objetivos específicos.....	25
1.4 HIPÓTESIS	26
1.4.1 Hipótesis general.....	26
1.4.2 Hipótesis específicas.....	26
1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO	27
1.5.1 Tipo de Investigación.....	27
1.5.2 Diseño de Investigación	27
1.5.3 Población	28
1.5.4 Muestra de estudio.....	28
1.5.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
1.5.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	29
1.5.7 Financiamiento.....	30
CAPITULO II : MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL	32
2.1 GENERALIDADES.....	32
2.2 CONCEPTOS	32
2.2.1 Carreteras no Pavimentadas y Pavimentadas.....	32
2.2.2 Caminos con Pavimentos Económicos.....	33
2.2.3 Estabilización de suelos	34
2.2.4 Conservación vial	35
2.2.5 Niveles de Servicio.....	36
2.2.6 Niveles de intervención en obras viales.....	37
2.2.7 Polvo	38
2.2.8 Partículas	38
2.2.9 Materiales particulados PM 2.5 y PM 10.....	38
2.3 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS	39
2.3.1 Evaluación funcional	39
2.4 IRI	43
2.4.1 Definición	43
2.4.2 Antecedentes	43
2.4.3 Características del IRI	44
2.4.4 IRI y su relación con la conservación vial	46

2.4.5	Equipos para la medición del IRI	47
2.4.6	Equipo MERLIN y su proceso de medición del IRI	50
2.5	CONDICION DE SUPERFICIE - URCI.....	58
2.5.1	Definición	58
2.5.2	Fundamento Teórico	58
2.5.3	Proceso de medición del URCI.....	66
2.6	PASER.....	73
2.6.1	Definición	73
2.6.2	Fundamento Teórico	73
2.6.3	Proceso de medición del PASER	75
2.7	GRADO DE POLVO(GP)	76
2.7.1	Definición	76
2.7.2	Fundamento Teórico	76
2.7.3	Proceso de medición del GP	76
2.8	PARAMETRO POLVO – URCI (PP – URCI)	77
2.8.1	Definición	77
2.8.2	Fundamento Teórico	77
2.8.3	Proceso de medición del PP – URCI.....	77
2.9	NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE POLVO(NCP)	77
2.9.1	Definición	77
2.9.2	Fundamento Teórico	78
2.9.3	Proceso de medición de los NCP	78
2.10	POLVO EN LOS CAMINOS NO PAVIMENTADOS	79
2.10.1	Introducción.....	79
2.10.2	Generación de polvo en los caminos no pavimentados.....	80
2.10.3	Problemas causados por el polvo en los caminos no pavimentados	80
2.10.4	Tratamientos de mitigación de polvo para los caminos no pavimentados	83
2.10.5	Beneficios que brinda la mitigación de polvo en los caminos no pavimentados.....	83
2.11	CLORURO DE MAGNESIO HEXAHIDRATADO COMO ADITIVO ESTABILIZADOR DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS.	84
2.11.1	Cloruro de Magnesio Hexahidratado	84
2.11.2	Propiedades del Cloruro de Magnesio Hexahidratado.....	85
2.11.3	Recomendaciones para la aplicación de Cloruro de magnesio.....	86
2.11.4	Características de las capas de rodadura estabilizadas con Cloruro de Magnesio Hexahidratado.....	89
2.11.5	Propiedades de los suelos estabilizados con Cloruro de Magnesio Hexahidratado.....	90
2.11.6	Efectos negativos a la salud de las personas y problemas medioambientales que puede ocasionar el Cloruro de Magnesio Hexahidratado.....	91
2.11.7	Ventajas y desventajas observadas al estabilizar una capa de rodadura con Cloruro de Magnesio Hexahidratado.....	92
CAPITULO III	: DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	95
3.1	GENERALIDADES.....	95
3.2	ASPECTOS GENERALES DEL TRAMO II (KM 03+500 – KM 24+680) DEL CAMINO VECINAL SAN GREGORIO- SOCSO.	95

3.2.1	Antecedentes	95
3.2.2	Ubicación geográfica, altitud y accesibilidad.....	96
3.2.3	Descripción general.....	98
3.3	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL TRAMO II (KM 03+500 – KM 24+680) DEL CAMINO VECINAL SAN GREGORIO- SOCSO.	98
3.3.1	Estudio de caracterización climática.....	98
3.3.2	Estudio Hidrológico	101
3.3.3	Estudio de tráfico.....	101
3.3.4	Estudio de diseño geométrico	103
3.3.5	Estudio geológico y geotécnico.	103
3.3.6	Estudio de suelos, canteras y fuentes de agua.....	104
3.3.7	Estudio de diseño de pavimento.....	106
3.3.8	Estudio de dosificación de Cloruro de Magnesio	107
3.4	PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TRAMO II (KM 03+500 – KM 24+680) DEL CAMINO VECINAL SAN GREGORIO- SOCSO.	108
3.4.1	Obras preliminares	108
3.4.2	Movimientos de Tierra.....	109
3.4.3	Producción del material granular y posterior mezclado con la bischofita.	109
3.4.4	Transporte del material granular mezclado con bischofita	110
3.4.5	Conformación y Perfilado	110
3.4.6	Compactación	111
3.4.7	Proceso de aplicación del tratamiento supresor de polvo	112
3.4.8	Proceso de curado y apertura del trafico	113
CAPITULO IV : MEDICION, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		
	115
4.1	GENERALIDADES.....	115
4.2	EVALUACIÓN FUNCIONAL.....	115
4.2.1	Análisis de Antecedentes	115
4.2.2	Detección de las deficiencias relacionadas a la calidad de la superficie y el estado de la condición del pavimento.	116
4.2.3	Análisis del estado de conservación de la superficie de rodadura.	134
4.3	EVALUACIÓN DE SUPRESION DE POLVO	184
4.3.1	Evaluación de supresión de polvo.	184
4.3.2	Análisis de los resultados obtenidos.....	189
CONCLUSIONES.....		192
RECOMENDACIONES.....		197
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		199
ANEXOS.....		202

RESUMEN

El Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) del Perú presenta una extensa red de carreteras con superficie de rodadura granular cuyas características funcional y estructural requieren ser optimizadas en forma recurrente para brindar un buen servicio al usuario. En ese contexto, las intervenciones que con mayor frecuencia y costo se efectúan en la superficie de rodadura son para corregir las deformaciones superficiales como baches y encalamados. Estas se originan como resultado de la acción de la precipitación pluvial, el tránsito vehicular y la exposición solar por la pérdida de su compacidad. Esto produce pérdida de material fino en forma de polvo lo que pone en riesgo la estabilidad de la plataforma y la transitabilidad vehicular. Para evitar esta situación recurrente se estabiliza la capa de rodadura granular mediante la estabilización química, la estabilización con sales, la estabilización con emulsiones, entre otros, lo que permite garantizar la vida útil de la plataforma y el tránsito vehicular durante las 24 horas de los 365 días del año.

Actualmente existe una gran diversidad de aditivos estabilizadores que pueden ser empleados en caminos de bajo volumen de tránsito. La aplicación de estos aditivos mejora la transitabilidad y durabilidad del camino sin que represente un gasto mayor de ejecución. Es obligación del ingeniero a cargo del diseño de pavimentos tener conocimiento de estas alternativas. Una de estos aditivos es el Cloruro de Magnesio Hexahidratado también llamado Bischofita que ya se aplicó en países como Chile y Argentina con resultados satisfactorios desde hace más de 10 años. Este aditivo tiene un gran potencial de aplicación por lo que su estudio técnico se vuelve necesario.

La presente investigación estudió el Cloruro de Magnesio Hexahidratado como aditivo estabilizador y supresor de polvo. Para ello se optó por evaluar funcionalmente y de manera periódica una carretera donde se haya aplicado Cloruro Magnesio Hexahidratado en la estabilización de la capa granular de rodadura teniendo en cuenta su ubicación geográfica, diseño geométrico, diseño de pavimento, dosificación de estabilización y dosificación de riego supresor. La carretera que se eligió como objeto de evaluación fue el tramo II del camino rehabilitado San Gregorio - Socso. Esta carretera presenta una capa de rodadura

granular de 15cm de espesor que presenta un riego supresor de polvo en la superficie

Los resultados que se obtuvieron muestran que el aditivo estabilizador Cloruro de Magnesio Hexahidratado fue rentable mejorando la transitabilidad de la vía Se encontró una alta eficacia de supresión de polvo de hasta 90% Con respecto a la gestión vial, se prolongó la vida útil de la vía requiriendo mantenimientos preventivos con conservación periódica recién al cuarto año.

ABSTRACT

The National Highway System (SINAC) of Perú has an extensive network of highways with unsurfaced road whose functional and structural characteristics need to be optimized on a recurring basis to provide good Service to the user In this context. the most frequent and costly interventions carried out on the running surface are to corred surface deformations such as potholes and recesses These onginate as a result of the action of rainfall, vehicular traffic and sun exposure due to the loss of its compactness This causes loss of fine material in the form of dust. which puts the stability of the platform and vehicular traffic at risk To avoid this recurring situation, the granular layer thickness is stabilized through Chemical stabilization. stabilization with salts, stabilization with emulsions. among others. which allows guaranteeing the useful life of the platform and vehicular traffic during the 24 hours of the 365 days a year

Currently there is a great diversity of stabilizing additives that can be used on low-volume roads The application of these additives improve the walkability and durability of the road without representing a greater cost of execution. It is the duty of the engineer in charge of pavement design to be aware of these altematives. One of these additives is Magnesium Chloride Hexahydrate, also called Bischofita. which has already been applied in countries such as Chile and Argentina with satisfactory results for more than 10 years This additive has a great potential for application so its technical study becomes necessary.

The present investigation studied Magnesium Chloride Hexahydrate as a stabilizer and dust suppressant additive. For this. it was decided to functionally and periodically evaluáte a road where Magnesium Chloride Hexahydrate has been applied in stabilizing the granular layer thickness. taking into account its geographical location. geometric design, pavement design, stabilization dosage and dosage of suppressive irrigation. The road that was chosen as the object of evaluation was section II of the rehabilitated San Gregorio - Socso road. This road has a 15cm-thick granular layer that presents a suppressive irrigation of dust on the surface

The results obtained show that the stabilizing additive Magnesium Chlonde Hexahydrate was profitable. improving the trafficability of the road A high dust

suppression efficiency of up to 90% was found. Regarding road management, the useful life of the road was prolonged, requiring preventive maintenance with a periodic maintenance until the fourth year.

PRÓLOGO

La presente tesis de grado se fundamenta, en evaluar de manera periódica el aspecto funcional de un camino estabilizado con cierto aditivo, para luego con los resultados determinar la aplicabilidad del aditivo y planificar su gestión; cabe indicar, que debido a la gran cantidad de variables presentes en una carretera, no se puede establecer conclusiones generales con este método, sino más bien, específicas para el camino en evaluación y a lo más, para caminos que presenten características de diseño, geografía y clima semejantes.

La evaluación funcional se aplicó a la carretera San Gregorio – Socso, cuya capa de rodadura granular (tipo afirmado) se estabilizó con Cloruro de Magnesio Hexahidratado, ubicado en la franja costera de la región Arequipa, con un clima cálido, húmedo y de escasa precipitación pluvial. El material presente en la capa de rodadura es granular no plástico.

La evaluación se realizó de manera periódica involucrando mediciones de Índices de condiciones de superficie, tales como, IRI, URCI y PASER y la aplicación de métodos que permiten evaluar la eficacia de supresión de polvo, tales como, GP (Grado de Polvo), PP-URCI (Parámetro Polvo URCI) y NCP (Niveles de Concentración de Polvo). Finalmente, adicional a la evaluación funcional realizada, se optó por realizar mediciones complementarias, tales como medición de la humedad relativa, temperatura, grado de compactación y extracción de muestras de la capa de rodadura, con la finalidad de tener un mejor entendimiento de las características técnicas de la capa granular y el comportamiento funcional de la vía y con ello determinar la aplicabilidad del Cloruro de Magnesio Hexahidratado.

LISTA DE TABLAS

Tabla Nº 1 Clasificación de los estabilizadores	34
Tabla Nº 2 Tabla de niveles de servicio para una carretera afirmada	37
Tabla Nº 3 Tabla de niveles de severidad para baches	64
Tabla Nº 4 Calificación del deterioro superficial, según el manual PASER.	74
Tabla Nº 5 Tabla de Grados de Polvo.....	76
Tabla Nº 6 Valores límites de concentración de partículas PM 2.5 y PM 10.	82
Tabla Nº 7 Valores límites de concentración de partículas PM 2.5 y PM 10, para el caso peruano.....	82
Tabla Nº 8 Relación de dosis de Bischofita en función del IP	87
Tabla Nº 9 Granulometría recomendada por Thenoux.....	87
Tabla Nº 10 Coordenadas UTM de los puntos de Inicio y fin del tramo II del camino vecinal San Gregorio – Socso	96
Tabla Nº 11 Ubicación, altitud y periodo de registro de la estación Camaná.....	99
Tabla Nº 12 Ubicación, altitud y periodo de registro de la estación Hacienda Pampata	99
Tabla Nº 13 Serie histórica de precipitaciones máximas en 24 horas estación Hacienda Pampata	100
Tabla Nº 14 Estación de conteo Pampata – Socso, IMD corregido (Veh / día)	102
Tabla Nº 15 Proyección del tráfico al año 2021, estación Pampata - Socso	102
Tabla Nº 16 Resumen de las características geométricas de diseño del tramo II del camino vecinal San Gregorio – Socso.....	103
Tabla Nº 17 Propiedades de los materiales de canteras de río	105
Tabla Nº 18 Propiedades de los materiales de canteras a pie de cerro.	105
Tabla Nº 19 Franjas granulométricas según el tipo de afirmado.	108
Tabla Nº 20 Resultados de la medición del IRI huella izquierda y derecha, primera evaluación (22/07/2014) / APERTURA DE LA OBRA	118
Tabla Nº 21 Resultados de la medición del IRI huella izquierda, segunda evaluación (02/09/2015)	119
Tabla Nº 22 Resultados de la medición del IRI huella derecha, segunda evaluación (02/09/2015)	119
Tabla Nº 23 Resultados de la medición del IRI huella izquierda - derecha, tercera evaluación (16/05/2016)	120
Tabla Nº 24 Resultados de la medición del URCI, primera evaluación (22/07/2014) / APERTURA DE LA OBRA.....	123
Tabla Nº 25 Resultados de la medición del URCI, segunda evaluación (02/09/2015)	123
Tabla Nº 26 Resultados de la medición del URCI, tercera evaluación (16/05/2016)	128
Tabla Nº 27 Resultados de la medición del PASER, primera evaluación (22/07/2014) / APERTURA DE LA OBRA.....	133
Tabla Nº 28 Resultados de la medición del PASER, segunda evaluación (02/09/2015)	133
Tabla Nº 29 Resultados de la medición del PASER, tercera evaluación (16/05/2016)	134
Tabla Nº 30 CBR compuesto de Subrasante, calculado para el 95% de la MDS.	135

Tabla Nº 31 Capacidad de soporte promedio correspondiente a cada sector Homogéneo.....	136
Tabla Nº 32 Propiedades físicas y mecánicas de la Cantera de cerro del Km 09+550 al Km 09+950.	141
Tabla Nº 33 Propiedades físicas y mecánicas de la Cantera de cerro del Km 10+100 al Km 10+330.	141
Tabla Nº 34 Propiedades físicas y mecánicas de la Cantera de cerro del Km 14+180 al Km 15+220.	142
Tabla Nº 35 Pendiente promedio de la rasante por cada sector homogéneo...	143
Tabla Nº 36 Ecuaciones de Fitzpatrick para la estimación de las velocidades de operación.	146
Tabla Nº 37 Tabla donde se muestra la velocidad de operación, V_{85} , calculada a partir del radio de curvatura.....	146
Tabla Nº 38 Velocidad de operación promedio por cada sector homogéneo ...	151
Tabla Nº 39 Resultados de la medición de la humedad relativa y temperatura, fecha de medición 20/06/2017	153
Tabla Nº 40 Resultados de laboratorio de los ensayos de clasificación y grado de compactación, fecha de extracción de muestra 02/09/2015.	154
Tabla Nº 41 Resultados de laboratorio de los ensayos de contenidos de sales, fecha de extracción de la muestra 02/09/2015.	154
Tabla Nº 42 Cálculo del IRI característico para cada sector homogéneo, fecha de medición 16/05/2016	156
Tabla Nº 43 Distribución en % de las pendientes que presentan cada sector..	164
Tabla Nº 44 Distribución en % de las velocidades de operación que presentan cada sector	167
Tabla Nº 45 Influencia de las variables precitadas en el deterioro de la superficie de rodadura.....	169
Tabla Nº 46 IRIc para cada sector, resultados de las tres mediciones realizadas	171
Tabla Nº 47 URCI promedio para cada sector homogéneo, fecha de medición 16/05/2016	174
Tabla Nº 48 URCI promedio ponderado por cada sector propuesto en la sectorización por IRIc.....	175
Tabla Nº 49 Comparación entre las escalas de medida del IRIc y URCI.....	179
Tabla Nº 50 URCI promedio por cada sector, resultados de las tres mediciones realizadas.....	181
Tabla Nº 51 Resultados de la medición del GRADO DE POLVO, primera evaluación (02/09/2015 – 14 meses después de haberse rehabilitado el tramo II).....	184
Tabla Nº 52 Resultados de la medición del GRADO DE POLVO, segunda evaluación (16/05/2016 – 22 meses después de haberse rehabilitado el tramo II).....	185
Tabla Nº 53 Resultados de la medición del PARAMETRO POLVO URCI, primera evaluación (02/09/2015 - 14 meses después de haberse rehabilitado el tramo II).....	185
Tabla Nº 54 Resultados de la medición del PARAMETRO POLVO URCI, segunda evaluación (16/05/2016 – 22 meses después de haberse rehabilitado el tramo II).....	186

Tabla N° 55 Resultados de la medición de los NIVELES DE CONCENTRACION DE POLVO primera evaluación 08/10/2013 – 9 meses antes de la Rehabilitación)	186
Tabla N° 56 Resultados de la medición de los NIVELES DE CONCENTRACION DE POLVO segunda evaluación 24/10/2014 – 3 meses después de la Rehabilitación).....	187
Tabla N° 57 Resultados de la medición de los NIVELES DE CONCENTRACION DE POLVO tercera evaluación 12/10/2016 – 27 meses después de la Rehabilitación).....	188
Tabla N° 58 Resumen de los resultados de la medición del Grado de Polvo (GP).	195
Tabla N° 59 Resumen de los resultados de la medición del PP-URCI.	195
Tabla N° 60 Resumen de los resultados y porcentajes de efectividad de supresión de polvo medidos en partículas PM10 y PM2.5.....	196
Tabla N° 61 Valores deductivos para la falla tipo polvo según su nivel de severidad.	241

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1 Vista en planta de la muestra representativa del Tramo II del camino vecinal San Gregorio – Socso.	28
Figura N° 2 Comparación gráfica de los diámetros correspondientes a un PM10, un PM2.5 y un cabello humano	39
Figura N° 3 Mapa conceptual del proceso de una evaluación funcional.....	41
Figura N° 4 Representación gráfica del modelo "Cuarto de Carro"	44
Figura N° 5 Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos ...	45
Figura N° 6 Curva de deterioro de las vías en el transcurso del tiempo.	47
Figura N° 7 Curvas comparativas del ciclo fatal y deseable de vías.....	47
Figura N° 8 Equipo Road Profile Beam	48
Figura N° 9 Perfilómetro ADPL	49
Figura N° 10 Esquema de instalación del equipo Bump Integrator.....	49
Figura N° 11 Esquema del Rugosímetro MERLIN.	52
Figura N° 12 Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie de un pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio.....	52
Figura N° 13 Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto a una cuerda promedio.....	53
Figura N° 14 Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva.	54
Figura N° 15 Formato para la recolección de datos de campo.....	57
Figura N° 16 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo Sección Transversal Inadecuada.	59
Figura N° 17 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo Drenaje inadecuado en la carretera.	61
Figura N° 18 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo encalaminado.	62
Figura N° 19 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo polvo.	63
Figura N° 20 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo polvo.	64
Figura N° 21 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo ahuellamiento.	65
Figura N° 22 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo ahuellamiento.	66
Figura N° 23 Mapa de una red de caminos seccionado, en la figura se puede observar los ramales Goose Pond Road, Dodge Road, Brook Road, Boot Hill Road y las unidades de muestreo BHR1, BHR2, BHR3, BR1, DR1, DR2, GPR1, GPR2.	67
Figura N° 24 Sección BHR1 dividido en dos unidades de muestreo una de 30.48 m y la otra de 35m.	68
Figura N° 25 Hoja de campo bridada por el manual URCl	69
Figura N° 26 Hoja de campo completamente llena.	70
Figura N° 27 Curvas en función del TDV y q para determinar el valor URCl.....	71
Figura N° 28 Escala URCl	72
Figura N° 29 Equipo DUSTMATE	78
Figura N° 30 Montaje del equipo DUSMATE.	79

Figura N° 31	Polvo elevado sobre los 2.5m, vista de la carretera San Gregorio – Socso antes de ser estabilizada con Bischofita.....	81
Figura N° 32	Ubicación geográfica del tramo II del camino vecinal San Gregorio - Socso	97
Figura N° 33	Hietograma de precipitación max.24 horas, estación Hacienda Pampata	100
Figura N° 34	Ensanche de la plataforma con un tractor sobre orugas en la Prog. 21+800	109
Figura N° 35	Maquina “zaranda mecánica” instalada dentro de la cantera	110
Figura N° 36	Cantera ubicada en la progresiva Km 20+200, la imagen muestra cómo se mezcló la salmuera con el material granular previamente cubicado.	110
Figura N° 37	Progresiva Km 24+200, conformación y perfilado del material granular	111
Figura N° 38	Progresiva Km 22+950, compactado del afirmado estabilizado ..	112
Figura N° 39	Progresiva Km 24+360, aplicación del tratamiento supresor de polvo sobre la superficie compactada.	113
Figura N° 40	Vista de los dos trabajadores y el técnico responsable encargado de realizar la medición de la rugosidad en la huella derecha, al fondo de la imagen se puede observar a la persona encargada del desvió del tráfico.....	117
Figura N° 41	Vista del equipo de trabajo que estaba encargado de realizar las marcas en el camino.....	117
Figura N° 42	Hoja Excel elaborada para procesar los datos Merlín obtenidos de campo.....	118
Figura N° 43	Medición de la falla perdida de agregado.....	122
Figura N° 44	Foto tomada al programa UNI - URCI.	122
Figura N° 45	Fragmento del Mapa vial de la provincia de Camaná departamento de Arequipa.	135
Figura N° 46	Sectorizacion de la muestra de estudio en funcion de la capacidad de soporte de la subrasante.....	136
Figura N° 47	Distribución de suelos que componen la subrasante del Sector A-1, según el sistema de clasificación AASHTO.	137
Figura N° 48	Distribución de suelos que componen la subrasante del Sector A-2, según el sistema de clasificación AASHTO.	138
Figura N° 49	Distribución de suelos que componen la subrasante del Sector A3, según el sistema de clasificación AASHTO.	138
Figura N° 50	Distribución de suelos que componen la subrasante del Sector A4, según el sistema de clasificación AASHTO.	139
Figura N° 51	Distribución de suelos que componen la subrasante del Sector A5, según el sistema de clasificación AASHTO.	140
Figura N° 52	Distribución de suelos que componen la subrasante del Sector A-6, según el sistema de clasificación AASHTO.	140
Figura N° 53	Cota de la rasante vs progresiva.....	142
Figura N° 54	Grafico que se obtiene luego de aplicar el método de DIFERENCIAS ACUMULADAS, empleando como variable de estudio las pendientes de la rasante.....	143
Figura N° 55	Pendiente promedio de la rasante por cada sector	145

Figura N° 56 Gráfico que se obtiene luego de aplicar el método de DIFERENCIAS ACUMULADAS, empleando como variable de estudio la velocidad de operación.....	150
Figura N° 57 Velocidad de operación promedio por cada sector.....	152
Figura N° 58 IRI vs PROGRESIVAS.....	155
Figura N° 59 Sectorización de la muestra de estudio en función del IRI medido cada 400m, aplicando el METODO DE DIFERENCIAS ACUMULADAS, fecha de medición 16/05/2016.....	156
Figura N° 60 IRI característico por cada sector homogéneo, fecha de medición 16/05/2016.....	158
Figura N° 61 Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por capacidad de soporte y por IRlc.....	160
Figura N° 62 Superposición entre el perfil longitudinal y la sectorización por IRlc.....	162
Figura N° 63 Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por pendiente de rasante y por IRlc.....	164
Figura N° 64 Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por velocidad de operación y por IRlc.....	167
Figura N° 65 Proyección del IRlc, para las huellas izquierda y derecha.....	172
Figura N° 66 URCl vs PROGRESIVA.....	173
Figura N° 67 Sectorización de la muestra de estudio en función del URCl medido cada 50m, aplicando el METODO DE DIFERENCIAS ACUMULADAS, fecha de medición 16/05/2016.....	173
Figura N° 68 Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por URCl y por IRlc.....	175
Figura N° 69 URCl promedio ponderado por cada sector propuesto en la sectorización por IRlc.....	178
Figura N° 70 Desgaste de la capa de rodadura en la huella derecha, izquierda y parte central.....	179
Figura N° 71 Proyección del URCl promedio, considerando las tres evaluaciones realizadas.....	181
Figura N° 72 PASER vs PROGRESIVA.....	183
Figura N° 73 Sectorización de la muestra de estudio mediante el PASER.....	183
Figura N° 74 Monitoreo de material particulado PM10 y PM 2.5(08/10/2013)-TRAMO A.....	187
Figura N° 75 Monitoreo de material particulado PM10 y PM 2.5(08/10/2013)-TRAMO B.....	187
Figura N° 76 Monitoreo de material particulado PM10 y PM 2.5(24/10/2014)-TRAMO A.....	188
Figura N° 77 Monitoreo de material particulado PM10 y PM 2.5(24/10/2014)-TRAMO B.....	188
Figura N° 78 Monitoreo de material particulado PM10 y PM 2.5(12/10/2016)-TRAMO A.....	189
Figura N° 79 Monitoreo de material particulado PM10 y PM 2.5(12/10/2016)-TRAMO B.....	189
Figura N° 80 Porcentaje de eficiencia de supresión de polvo del Tramo A.....	191
Figura N° 81 Porcentaje de eficiencia de supresión de polvo del Tramo B.....	191
Figura N° 82 Vista hacia adelante del Km 05+100, foto tomada antes de la rehabilitación del camino. (28-12-2011).....	204

Figura N° 83 Vista hacia adelante del Km 05+500, foto tomada antes de la rehabilitación del camino. (28-12-2011)	204
Figura N° 84 Vista hacia adelante del Km 07+100, foto tomada antes de la rehabilitación del camino. (28-12-2011)	205
Figura N° 85 Vista hacia adelante del Km 08+100, foto tomada antes de la rehabilitación del camino. (28-12-2011)	205
Figura N° 86 Vista hacia atrás del Km 12+000, foto tomada antes de la rehabilitación del camino. (28-02-2011)	206
Figura N° 87 Vista hacia adelante del Km 14+200, foto tomada antes de la rehabilitación del camino. (28-12-2011)	206
Figura N° 88 Vista hacia atrás del Km 05+400, foto tomada a los 0 meses de haberse rehabilitado el camino. (22-07-2014)	207
Figura N° 89 Vista hacia atrás del Km 07+700, foto tomada a los 0 meses de haberse rehabilitado el camino. (22-07-2014)	207
Figura N° 90 Vista hacia atrás del Km 14+230, foto tomada a los 0 meses de haberse rehabilitado el camino. (22-07-2014)	208
Figura N° 91 Vista hacia atrás del Km 18+200, foto tomada a los 0 meses de haberse rehabilitado el camino. (22-07-2014)	208
Figura N° 92 Vista hacia atrás del Km 21+600, foto tomada a los 0 meses de haberse rehabilitado el camino. (22-07-2014)	209
Figura N° 93 Vista hacia atrás del Km 05+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)	209
Figura N° 94 Vista hacia atrás del Km 06+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)	210
Figura N° 95 Vista hacia atrás del Km 07+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)	210
Figura N° 96 Vista hacia adelante del Km 08+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)	211
Figura N° 97 Vista hacia adelante del Km 09+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)	211
Figura N° 98 Vista hacia adelante del Km 10+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)	212
Figura N° 99 Vista hacia adelante del Km 11+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)	212
Figura N° 100 Vista hacia adelante del Km 12+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)	213
Figura N° 101 Vista hacia atrás del Km 13+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)	213
Figura N° 102 Vista hacia atrás del Km 14+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)	214
Figura N° 103 Vista hacia atrás del Km 15+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)	214
Figura N° 104 Vista hacia atrás del Km 05+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)	215
Figura N° 105 Vista hacia atrás del Km 06+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)	215
Figura N° 106 Vista hacia atrás del Km 07+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)	216
Figura N° 107 Vista hacia adelante del Km 08+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)	216

Figura N° 108 Vista hacia adelante del Km 09+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)	217
Figura N° 109 Vista hacia adelante del Km 10+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)	217
Figura N° 110 Vista hacia adelante del Km 11+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)	218
Figura N° 111 Vista hacia adelante del Km 12+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)	218
Figura N° 112 Vista hacia atrás del Km 13+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)	219
Figura N° 113 Vista hacia adelante del Km 14+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)	219
Figura N° 114 Vista hacia atrás del Km 15+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)	220
Figura N° 115 Ensanche de la plataforma con excavadora sobre orugas. Prog.km 21+080.....	222
Figura N° 116 Ensanche de la plataforma con un tractor sobre orugas. Prog.km 21+800.....	222
Figura N° 117 Mezcla en cantera del material previamente cubicada con la salmuera. Prog.km 09+550.	223
Figura N° 118 Mezcla en cantera del material previamente cubicada con la salmuera. Prog.km 20+200.	223
Figura N° 119 Conformación del material granular, el material granular empleado fue previamente mezclado con salmuera en la cantera. Prog.km 23+800.....	224
Figura N° 120 Conformación del material granular, el material granular empleado fue previamente mezclado con salmuera en la cantera. Prog.km 24+200.....	224
Figura N° 121 Compactado del material granular previamente conformado. Prog.km 21+360.	225
Figura N° 122 Compactado del material granular previamente conformado. Prog.km 22+950.	225
Figura N° 123 Sellado del afirmado estabilizado previamente compactado con salmuera. Prog.km 19+000.	226
Figura N° 124 Sellado del afirmado estabilizado previamente compactado con salmuera. Prog.km 24+360.	226
Figura N° 125 Inicio del demarcado superficial de la capa de rodadura para delimitar las unidades de muestra. Prog.km 05+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino (02-09-2015) .	228
Figura N° 126 Medición de la falla superficial perdida de agregado. Prog.km 10+400, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino (16-05-2016).....	228
Figura N° 127 Medición de la falla superficial perdida de agregado. Prog.km 14+700, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino (16-05-2016).....	229
Figura N° 128 Piedra perteneciente a la capa de rodadura mayor a 2". Prog.km 07+350, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino (16-05-2016).....	229

Figura N° 129 Piedra perteneciente a la capa de rodadura mayor a 6". Prog.km 15+210, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino (02-09-2015).....	230
Figura N° 130 Humedad retenida en la superficie por el Cloruro de Magnesio. Prog.km 07+100, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino (16-05-2016).....	230
Figura N° 131 Medición de la rugosidad empleando el equipo MERLIN. Prog.km 14+200, foto tomada a los 0 meses de haberse rehabilitado el camino (22-07-2014).....	231
Figura N° 132 Medición de la rugosidad empleando el equipo MERLIN. Prog.km 11+500, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino (16-05-2016).....	231
Figura N° 133 Medición del Parámetro polvo URCI Y Grado de Polvo. Prog.km 07+750, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino (16-05-2016).....	232
Figura N° 134 Medición de polvo empleando el equipo DUSTMATE. Prog.km 24+100, foto tomada a los 27 meses de haberse rehabilitado el camino (12-10-2016).....	232
Figura N° 135 Extracción de muestra y ensayo de densidad de campo. Prog.km 15+210, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino (02-09-2015).....	234
Figura N° 136 Extracción de muestra y ensayo de densidad de campo. Prog.km 11+640, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino San Gregorio Socso (02-09-2015).....	234
Figura N° 137 Extracción de muestra y ensayo de densidad de campo. Prog.km 08+690, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino San Gregorio Socso (02-09-2015).....	235
Figura N° 138 Toma de datos de humedad y Temperatura. Prog.km 07+450, foto tomada a los 35 meses de haberse rehabilitado el camino San Gregorio Socso (20-06-2017).....	235
Figura N° 139 Toma de datos de humedad y Temperatura. Prog.km 12+000, foto tomada a los 35 meses de haberse rehabilitado el camino San Gregorio Socso (20-06-2017).....	236
Figura N° 140 Curvas de valores deductivos para la falla tipo sección transversal inadecuada, para usarse en unidades métricas.	238
Figura N° 141 Curvas de valores deductivos para la falla tipo sección transversal inadecuada, para usarse en unidades inglesas.....	238
Figura N° 142 Curvas de valores deductivos para la falla tipo inadecuado drenaje en la carretera, para usarse en unidades métricas.....	239
Figura N° 143 Curvas de valores deductivos para la falla tipo inadecuado drenaje en la carretera, para usarse en unidades inglesas.	239
Figura N° 144 Curvas de valores deductivos para la falla tipo encalaminado, para usarse en unidades métricas.	240
Figura N° 145 Curvas de valores deductivos para la falla tipo encalaminado, para usarse en unidades inglesas.....	240
Figura N° 146 Curvas de valores deductivos para la falla tipo baches, para usarse en unidades métricas.	241
Figura N° 147 Curvas de valores deductivos para la falla tipo baches, para usarse en unidades inglesas.....	242

Figura N° 148 Curvas de valores deductivos para la falla tipo ahuellamiento, para usarse en unidades métricas.	242
Figura N° 149 Curvas de valores deductivos para la falla tipo ahuellamiento, para usarse en unidades inglesas.	243
Figura N° 150 Curvas de valores deductivos para la falla tipo perdida de agregados, para usarse en unidades métricas.	243
Figura N° 151 Curvas de valores deductivos para la falla tipo perdida de agregados, para usarse en unidades inglesas.	244

LISTA DE SIMBOLO Y SIGLAS

- AASHTO** : American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociacion Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.
- ASTM** : American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.
- BID** : Banco Interamericano de Desarrollo.
- BM** : Banco Mundial.
- DG ()** : Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.
- EG ()** : Manual de Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras del Perú.
- EM ()** : Manual de Ensayo de Materiales para la Construcción de Carreteras. Manual de Dispositivos de control de Transito Automotor para Calles y Carreteras.
- FHW** : Federal Highway Administration o Administración Federal de Carreteras.
- GP** : Grado de Polvo.
- IRI** : International Roughness Index o Índice Internacional de Rugosidad.
- MERLIN** : Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation o Maquina para Evaluar Rugosidad usando Instrumentación de Bajo Costo.
- MTC** : Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.
- NTP** : Norma Técnica Peruana.
- NCP** : Niveles de Concentración de Polvo.
- PATS** : Programa de Apoyo al Transporte Subnacional.
- PASER** : Pavement Surface Evaluation and Rating o Evaluación y Valoración superficial de Pavimentos.
- PCI** : Pavement Condition Index o Indice de Condicion de Pavimento.
- PP-URCI** : Parámetro Polvo URCl.
- PSI** : Present Serviceability Index o Indice de capacidad de Servicio Actual.
- PTRD** : Programa Sectorial de Transporte Rural Descentralizado.
- RAE** : Real Academia Española.

- SI** : Sistema Internacional de Unidades(Sistema Métrico Modernizado).
- SINAC** : Sistema Nacional de Carreteras.
- TRRL** : Transport and Road Research Laboratory o laboratorio de Investigacion de Transporte y Carreteras.
- URCI** : Unsurfaced Road Condition Index o Indice de Condicion de Superficie no Pavimentada.

CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN



CAPITULO I : INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

En el presente capítulo se plantea la problemática, los objetivos e hipótesis desarrollados y se describe detalladamente la metodología de trabajo que se empleó para el desarrollo de la presente tesis.

1.2 PROBLEMÁTICA

Al 31 de diciembre del 2014, según el MTC, el SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS (SINAC) del Perú consta de 141,868.00 Km, de los cuales el 84.9%(120,506.00 Km) son carreteras no pavimentadas, muchos de ellos conformados por vías vecinales y departamentales, que cumplen roles muy importantes en el desarrollo del país, como integrar económicamente a toda la nación y mejorar la calidad de vida de las personas brindándoles acceso a la salud y educación.

Debido a la importancia de estas carreteras y a la gran demanda de su mejoramiento, se tienen que plantear soluciones inmediatas referentes al tema de pavimentación, con soluciones que sean de fácil aplicabilidad, económicas para el Estado y que se adecuen a nuestra geografía; pensar en las soluciones tradicionales, implica aplicar pavimentos flexibles o rígidos, los mismos que no son la solución inmediata, ya que muchas de estas vías en su mayoría no cuentan con el tránsito mínimo para hacerlas viables económicamente; pensar en los afirmados suena muy tentador, sin embargo, su aplicación rigurosa como tal, implica que su tiempo de vida útil sea deficiente, deteriorándose muchas veces antes de cumplir su periodo de diseño. En vista que las soluciones tradicionales y el uso de afirmado no se acondicionan a la realidad peruana, el Estado en los últimos años ha ido apostando por alternativas no convencionales a las cuales llama soluciones básicas “Los cuales son alternativas técnicas, económicas y ambientales, que consisten principalmente en la aplicación de estabilizadores de suelos, recubrimientos bituminosos y otros, posibilitando que las capas de rodadura de las carreteras no pavimentadas, tengan una mayor vida útil y presten un mejor nivel de servicio”(Proyecto de Documento Técnico “Soluciones Básicas en Carreteras”, 2014, p.01). Estas soluciones básicas se caracterizan por presentar un costo inicial ligeramente más alto que el de una carretera convencional de tierra, grava

o afirmado, costo que en el tiempo se ve compensado por el buen comportamiento a nivel funcional y estructural que le da la estabilización, el cual hace que requiera un menor gasto de mantenimiento. Como parte de esta implementación el Estado ha ido ejecutando programas tales como el PROYECTO PERÚ y viene implementando programas tales como el PATS (PROGRAMA DE APOYO AL TRANSPORTE SUB-NACIONAL), con la finalidad de verificar la rentabilidad económica de las carreteras a nivel de soluciones básicas frente a las de tierra, grava o afirmado y así poder corroborar los buenos resultados experimentados por los países vecinos, tales como Chile y Argentina.

Esta situación ha traído consigo realizar evaluaciones económicas de rentabilidad post inversión, las cuales consideran principalmente el costo total de la carretera (costo de estudio, costo de obra y el costo de mantenimiento durante su tiempo de vida útil), que dan resultados erróneos porque no se aplicaron los criterios de ingeniería adecuados, ya que la mala elección o aplicación de una solución básica podría traer como consecuencia un bajo rendimiento de la vía, situación que conllevaría a invertir demasiado en su mantenimiento, lo cual devendría en que las soluciones básicas resultan antieconómicas e inclusive perjudiciales, por ese motivo la solución básica para un proyecto en específico se debe proponer teniendo en consideración las especificaciones técnicas y las experiencias obtenidas en el laboratorio, tramos de prueba y carreteras existentes donde se haya aplicado; de modo que resulta fundamental proyectar tramos de prueba donde se pueda identificar el tipo de solución básica idóneo para un proyecto en específico.

Ahora, si bien es necesario proyectar tramos de prueba, también es necesario contar con una metodología de evaluación que nos permita evaluar su comportamiento en el tiempo y con ello poder obtener conclusiones acertadas respecto del estabilizador. Al momento de mencionar la palabra evaluar, se tiene que pensar en cómo evaluar, que parámetros e índices se debe tener en cuenta y si se tiene la metodología necesaria para dicho propósito. Lamentablemente el Perú actualmente no cuenta con una metodología normada respecto a este tema, sin embargo, frente a esta necesidad los ingenieros han decidido optar por emplear índices tales como el IRI, URCI, PSI u otros que indiquen el deterioro de la capa de rodadura en el tiempo (comportamiento funcional) y con ello comparar velocidad de desgaste de las capas de rodadura que emplean soluciones básicas frente a las que emplean soluciones convencionales. Es preciso mencionar que

esta salida ha dado buenos resultados anteriormente, ya que permite de manera directa comparar velocidad de desgaste de la carpeta de rodadura de distintas alternativas, además permite acumular una base tangible de experiencia acumulada, por lo que a la fecha aún se sigue evaluando de esta forma. Los autores Thenoux y Gaete (2012) en sus distintas investigaciones han optado por llamar a esta manera de evaluar “evaluación funcional”, a lo que ellos definen como el tipo de evaluación que tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente a la comodidad, seguridad y economía.

A la fecha Mayo del 2017 existen ya tramos de prueba y caminos donde se han utilizado soluciones básicas, uno de estos es el camino vecinal San Gregorio – Socso, ubicado en la región de Arequipa, provincia de Camaná, jurisdicciones distritales de Nicolás de Piérola, siendo la única opción de intercomunicación vial entre las unidades productivas y los asentamientos humanos dispersos a lo largo de la parte baja del valle del río Camaná, constituyendo por tanto el principal elemento articulador y dinamizador de la economía local. Dicho camino se caracteriza por encontrarse en un clima semicálido dentro de una geografía desértica, donde la única fuente de agua la compone el río Camaná, río que es responsable de la agricultura presente en la zona; desde el punto de vista técnico el tráfico presente en esta vía según su IMDA es del Tipo T3, clasificación propuesta por el Manual de Bajo Volumen de Transito (actualmente no vigente), por lo que se le clasifica como de bajo volumen de tránsito, presentando además un relieve tipo accidentado, diseñado con una velocidad de 30 km/h, con radios mínimos de 30 m, con ancho de plataforma variable de 3.95 a 4.10 m, con pendiente máxima de 9%, los tipos de suelos encontrados tanto a lo largo de la vía como en las canteras son del tipo GP, GM, SP, SM con plasticidad nula y donde el espesor de la estructura de la capa de rodadura varía según el tramo al que corresponde, siendo de 0.2m para el tramo I(00+000 Km – 03+500 Km) y de 0.15 para el tramo II(03+500 Km – 24+680 Km), las cuales están estabilizadas con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en una dosis de 3 Kg/m²; sin embargo esto no siempre ha sido así, la vía antes de presentar las características anteriormente detallados estaba compuesta por una capa de rodadura de afirmado el cual se encontraba muy deteriorado aproximadamente a nivel de terreno natural, lo que originaba elevados costos de transporte, daños físicos en los vehículos, alto

deterioro de los neumáticos, alto contenido de polvo, originando deterioro de los cultivos en áreas adyacentes, enfermedades respiratorias en la población y otros de igual de importancia como deterioro de la seguridad vial por factores de visibilidad, razón por la cual las autoridades locales recurrieron a PROVIAS DESCENTRALIZADO para que se encargue de la rehabilitación de la misma, entidad que luego de realizar un análisis social y económico acepto rehabilitar la vía, enmarcándola dentro del Programa Sectorial de Transporte Rural Descentralizado (PTRD).

La elección del Cloruro de Magnesio Hexahidratado como solución básica de esta vía, fue el resultado de evaluar sus bondadosas propiedades para trabajar en geografías desérticas con climas semiáridos, su versatilidad para trabajar con suelos NP y su gran eficacia como supresor de polvo; según criterios teóricos y producto de la experiencia de otros países, lo cual obliga a realizar preguntas tales como ¿Será rentable aplicar dicho estabilizador en esta zona?, ¿ qué efectos producirá la aplicación de dicho estabilizador al tráfico?, ¿ cada que tiempo se deberá realizar los mantenimientos rutinarios y periódicos respectivamente?, ¿mitigará por completo el problema del polvo?. Preguntas que podrían resolverse si se responde a la pregunta siguiente, ¿Cuál será el comportamiento funcional y de supresión de polvo que presentará el camino estabilizado con Cloruro de Magnesio Hexahidratado San Gregorio – Socso, durante sus dos primeros años?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar el comportamiento funcional y de supresión de polvo, de la capa de rodadura estabilizada con Cloruro de Magnesio Hexahidratado del tramo II del camino de bajo volumen de transito San Gregorio – Socso, ubicado en una zona árida con un clima semicálido y húmedo. Durante sus dos primeros años.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la rugosidad (IRI) de la capa de rodadura estabilizada con Cloruro de Magnesio Hexahidratado, a los 0, 14 y 22 meses de haberse realizado la estabilización.

- Determinar el Índice de Condición de Superficie no Pavimentada (URCI) de la capa de rodadura estabilizada con Cloruro de Magnesio Hexahidratado, a los 0, 14 y 22 meses de haberse realizado la estabilización.
- Determinar el Índice de Valoración de Superficies Pavimentadas con grava (PASER) de la capa de rodadura estabilizada con Cloruro de Magnesio Hexahidratado, a los 0, 14 y 22 meses de haberse realizado la estabilización.
- Determinar el grado de polvo originado por el paso vehicular sobre la capa de rodadura estabilizada con Cloruro de Magnesio Hexahidratado, a los 14 y 22 meses de haberse realizado la estabilización.
- Determinar el parámetro polvo - URCI originado por el paso vehicular sobre la capa de rodadura estabilizada con Cloruro de Magnesio Hexahidratado, a los 14 y 22 meses de haberse realizado la estabilización.
- Determinar los niveles de concentración de polvo originados por el paso vehicular sobre la capa de rodadura estabilizada con Cloruro de Magnesio Hexahidratado, a los 9 meses antes y a los 3 y 27 meses después de haberse realizado la estabilización

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis general

- La aplicación de Cloruro de Magnesio Hexahidratado, como riego supresor de polvo y aditivo estabilizador de capa de rodadura, mejora el comportamiento funcional y reduce la presencia de polvo del tramo en estudio.

1.4.2 Hipótesis específicas.

- La aplicación de Cloruro de Magnesio Hexahidratado, como riego supresor de polvo y aditivo estabilizador de capa de rodadura, contribuye en reducir la velocidad de degradación de la rugosidad (IRI) del tramo de estudio.
- La aplicación de Cloruro de Magnesio Hexahidratado, como riego supresor de polvo y aditivo estabilizador de capa de rodadura, contribuye en reducir la velocidad de degradación del Índice de Condición de Superficie no Pavimentada (URCI) del tramo de estudio.
- La aplicación de Cloruro de Magnesio Hexahidratado, como riego supresor de polvo y aditivo estabilizador de capa de rodadura, contribuye en reducir la velocidad de degradación del Índice de Valoración de Superficies Pavimentadas con grava (PASER) del tramo de estudio.

- La aplicación de Cloruro de Magnesio Hexahidratado, como riego supresor de polvo y aditivo estabilizador de capa de rodadura, contribuye a mejorar el parámetro Grado de Polvo del tramo de estudio.
- La aplicación de Cloruro de Magnesio Hexahidratado, como riego supresor de polvo y aditivo estabilizador de capa de rodadura, contribuye a mejorar el parámetro de polvo - URCI del tramo de estudio
- La aplicación de Cloruro de Magnesio Hexahidratado, como riego supresor de polvo y aditivo estabilizador de capa de rodadura, contribuye a reducir los niveles de concentración de polvo del tramo de estudio.

1.5 METODOLOGÍA DE TRABAJO

1.5.1 Tipo de Investigación

Según la descripción mostrada por el Ingeniero Manuel Borja S. en el libro Metodología de la investigación científica, la presente investigación se caracteriza por ser:

- a) De acuerdo con el fin que persigue
Investigación Tecnológica
- b) De acuerdo con los tipos de datos analizados
Investigación Cuantitativa
- c) De acuerdo con la metodología para demostrar la hipótesis.
Investigación Experimental

1.5.2 Diseño de Investigación

Según la descripción mostrada por el Ingeniero Manuel Borja S. en el libro Metodología de la investigación científica, el presente diseño de investigación se caracteriza por emplear un diseño de:

- a) Pre – experimento

Diseño donde se analiza una sola variable y prácticamente no existe ningún tipo de control. No existe la manipulación de la variable independiente ni se utiliza el grupo de control.

Estudio con varias mediciones de post – prueba con un solo grupo

G → **X** → **M1, M2, M3, ...**

Donde:

G: Grupo

X: Variable

M1, M2, M3, ...: Mediciones

En el caso de la presente investigación el grupo, las variables y las mediciones fueron las siguientes:

G: Tramo II (Km 03+500 – Km 24+680) del camino vecinal de bajo volumen de tránsito San Gregorio – Socso.

X: Cloruro de Magnesio Hexahidratado

M1: Monitoreo 1

M2: Monitoreo 2

M3: Monitoreo 3

1.5.3 Población

La población en las investigaciones es el conjunto de objetos, hechos o eventos que son materia de estudio.

En la presente investigación la población, abarca todo el tramo II (Km 03+500 – Km 24+680) del camino vecinal de bajo volumen de tránsito San Gregorio – Socso. No se considera el tramo I (Km 00+000 – Km 03+500), debido a que esta posee un tráfico y un espesor de capa de rodadura diferente al que presenta el tramo II.

1.5.4 Muestra de estudio

El tamaño de la muestra de estudio es de 10 Km, y se encuentra comprendido entre las progresivas Km 05+000 y Km 15+000, ver figura N°1, del tramo II.

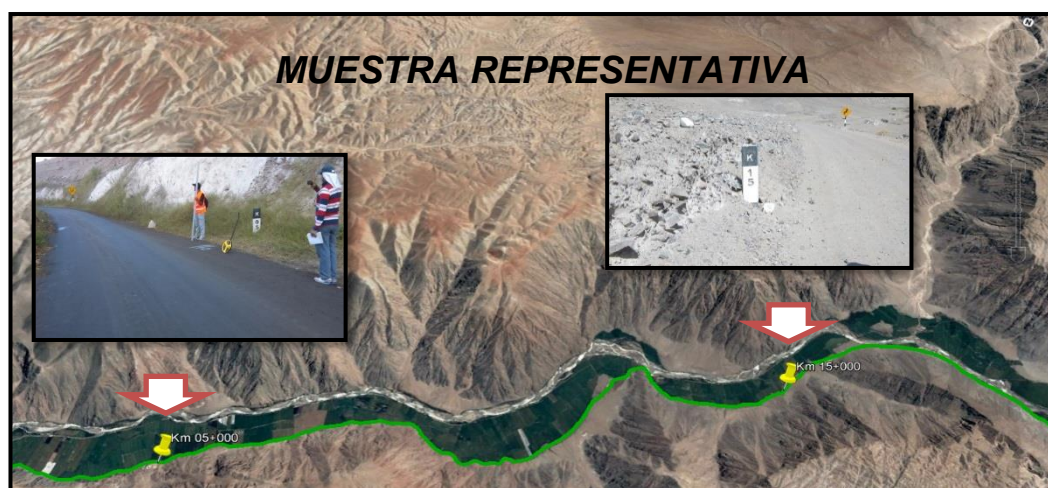


Figura N° 1 Vista en planta de la muestra representativa del Tramo II del camino vecinal San Gregorio – Socso.

Fuente: Elaboración personal

1.5.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la realización de la presente tesis se procedió primero, a recopilar información teórica, el cual fue fundamental para precisar que índices determinan una evaluación funcional y de supresión de polvo. La recopilación de información teórica consistió en realizar una búsqueda intensiva de bibliografía respecto a evaluaciones funcionales y de supresión de polvo realizados anteriormente tanto en el Perú como el extranjero, bibliografía que sirvió para analizar las metodologías empleadas. También se buscó información referente a investigaciones que contemplen estabilizaciones de capas de rodadura con Cloruro de Magnesio Hexahidratado, conceptos básicos tales como propiedades del Cloruro de Magnesio Hexahidratado, tipos de carretera, tipos de intervención, etc.

Segundo, se procedió a elaborar el programa de campo, el cual consistió en realizar tres evaluaciones funcionales y de supresión de polvo de manera periódica, los cuales implicaron realizar mediciones de la rugosidad (IRI), mediciones del Índice de Condición de Superficie (URCI), mediciones del Índice de Valoración de Superficies Pavimentadas con grava (PASER), mediciones del grado de polvo, mediciones del parámetro polvo – URCI y mediciones de la concentración de polvo, dicho programa en mención se basó en las metodologías de evaluación descritas en el capítulo II de la presente Tesis y se describe en detalle en el capítulo IV del mismo.

1.5.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- Para la determinación del IRI, se verificó, proceso y analizó los datos obtenidos de campo, con ayuda del programa Excel, el cual se ha elaborado con los criterios estadísticos que menciona el manual del equipo Merlín.
- Para la determinación del URCI, se verificó, proceso y analizó los datos obtenidos de campo con ayuda del programa UNI – URCI, programa de elaboración propia, el cual se ha elaborado teniendo en cuenta el manual URCI.
- Para la determinación del PASER, se verificó, proceso y analizó los datos obtenidos de campo con ayuda del programa EXCEL, el cual se ha elaborado teniendo en cuenta el manual PASER.

- Para la determinación del grado de polvo, se verificó, proceso y analizó los datos obtenidos de campo con ayuda del programa UNI – URCl, programa de elaboración propia, el cual se ha elaborado teniendo en cuenta el manual URCl.
- Para la determinación de los niveles de concentración de polvo, se verificó, proceso y analizó los datos obtenidos de campo con ayuda del programa Software DUSMATE y posteriormente se exportó a una hoja-Excel.

1.5.7 Financiamiento

En lo que respecta a financiamiento se contó con el apoyo de PROVIAS DESCENTRALIZADO y la empresa LIPLATA.

PROVIAS DESCENTRALIZADO se encargó de financiar las evaluaciones funcionales , los cuales consistieron en realizar mediciones de la rugosidad (IRI), mediciones del Índice de Condición de Superficie no Pavimentada (URCl) y mediciones del Índice de Valoración de Superficies Pavimentadas con grava (PASER), por otro lado la empresa LIPLATA se encargó de financiar las evaluaciones de supresión de polvo, los cuales consistieron en realizar mediciones del grado de polvo, mediciones del parámetro polvo – URCl y mediciones de concentración de polvo.

CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL



CAPITULO II : MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 GENERALIDADES

En el presente capítulo se describe los conceptos primordiales que se tuvo cuenta para el desarrollo de la presente tesis, se toca específicamente el tema de evaluación de pavimentos (lo que vendría ser evaluación funcional y evaluación de mitigación de polvo), se explica clara y detalladamente cada uno de los índices en los que se fundamenta dicha evaluación IRI, URCI, PASER, grado de polvo y niveles de concentración de polvo, se desarrolla el tema de polvo en los caminos no pavimentados y finalmente se versa acerca de las propiedades del Cloruro de Magnesio Hexahidratado y de la experiencia peruana en el uso de dicho estabilizador.

2.2 CONCEPTOS

2.2.1 Carreteras no Pavimentadas y Pavimentadas

El Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos Sección: Suelos y Pavimentos, aprobado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante Resolución Directoral N.º 10-2014- MTC/14, de fecha 09 abril 2014, define a las vías consideradas dentro del Sistema Nacional de Carreteras (SINAC) del Perú, como caminos con superficie de rodadura no pavimentada y pavimentada.

Los caminos con superficie de rodadura no pavimentada, según el manual precitado se clasifican como:

- Caminos de tierra
Constituidos por suelo natural y mejorado con grava seleccionada por zarandeo.
- Caminos de grava (lastrados)
Constituidos por una capa de revestimiento con material natural pétreo seleccionados manualmente o por zarandeo de tamaño máximo de 75mm.
- Caminos afirmados
Constituidos por una capa de revestimiento con materiales de cantera, dosificados naturalmente o por medios mecánicos (zarandeo), con una dosificación especificada, compuestos por una combinación apropiada de tres tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla, siendo el tamaño máximo de 25mm.

- Caminos afirmados con superficie de rodadura estabilizada con materiales industriales
- Afirmados con grava tratada con materiales como: asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros.
- Suelos naturales estabilizados con: material granular y finos ligantes, asfalto, cemento, cal, aditivos químicos y otros.

Los caminos con superficie de rodadura pavimentada, según el manual precitado se clasifican como:

- Pavimentos flexibles
Compuestos por capas granulares (subbase y base drenante) y una capa de rodadura de mezcla asfáltica en frío o en caliente.
- Pavimentos semirrígidos
Conformado por capas asfálticas (base asfáltica y carpeta asfáltica en caliente); también se considera como pavimento semirrígido, la estructura compuesta por carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con cemento o cal.
- Pavimentos rígidos
Conformado por bases de concreto de cemento hidráulico y buena subbase granular para uniformizar las características de cimentación de la losa.

2.2.2 Caminos con Pavimentos Económicos

Si bien el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos no menciona explícitamente el término de pavimentos económicos o soluciones básicas, es necesario mencionar la existencia de estos, y en vista que actualmente se están empleando como una alternativa adicional, en los caminos no pavimentados, para su definición se tomará como referencia el documento técnico: "Soluciones Básicas en Carreteras no Pavimentadas", aprobado por el MTC mediante la RD N° 024-2014-MTC/14, el cual define el término de soluciones básicas como "Las alternativas técnicas, económicas y ambientales que consisten principalmente en la aplicación de estabilizadores de suelos, recubrimientos bituminosos y otros, posibilitando que las capas de rodadura de las carreteras no pavimentadas, tengan una mayor vida útil y presten un mejor nivel de servicio". Para su clasificación se tomará como referencia el manual de pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación

y evaluación social de proyectos de inversión pública del MEF, el cual clasifica a los pavimentos económicos de la siguiente manera:

- Caminos afirmados estabilizados sin recubrimiento.
 Caminos a nivel de superficie de rodadura compuesto por afirmados estabilizados con productos de origen natural o químico o caminos a nivel de superficie de rodadura con suelos estabilizados.
- Caminos afirmados estabilizados con recubrimiento.
 Caminos compuestos por afirmados o suelos estabilizados con una capa de protección bituminosa.
- Caminos con soluciones básicas pavimentadas.
 Caminos con pavimentos compuestos por capas granulares y base estabilizada, con una superficie de rodadura bituminosa en frío como: tratamiento superficial monocapa, lechada asfáltica o mortero asfáltico, micro pavimento en frío, carpetas de mezclas asfálticas en frío, etc.

2.2.3 Estabilización de suelos

¹ “La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas y/o mecánicas, tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o comprensibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otros. Para este fin se pueden emplear estabilizadores de origen natural o artificial (ver tabla N°1), los cuales se mezclan de manera homogénea con los suelos cuyas propiedades se desean mejorar”.

Tabla N° 1 Clasificación de los estabilizadores

TIPO DE ESTABILIZADOR	ESTABILIZADOR
Absorbentes de agua	Cloruro de calcio Cloruro de sodio Cloruro de magnesio
Derivados del petróleo	Emulsión asfáltica Líquidos asfálticos Emulsiones de asfalto modificado
No derivados del petrolero	Grasa de animales Lignosulfatos Melaza – azúcar de betarraga Emulsiones de aceite de tallos

¹ “Definición obtenida del manual de pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras del MEF”

TIPO DE ESTABILIZADOR	ESTABILIZADOR
	Aceites vegetales
Electroquímicos	Enzimas Productos iónicos Aceite sulfonatos
Polímeros sintéticos	Acetato polivinílico Vinil acrílico
Aditivos de arcilla	Bentonita Montmorrillonita
Cementantes	Cemento Cal Cenizas

Fuente: MTC – Dirección de Estudios Especiales

2.2.4 Conservación vial

El Manual de Carreteras de Mantenimiento o Conservación Vial, aprobado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante Resolución Directoral N° 08-2014-MTC/14, de fecha 23 de marzo del 2014, define conservación vial como “El conjunto de actividades técnicas destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario, puede ser de naturaleza rutinaria o periódica”.

Las Especificaciones Técnicas Generales para construcción de carreteras aprobado por Resolución Directoral N°22-2013-MTC, define conservación vial como el “Conjunto de actividades que se realizan para mantener en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen la vía y, de esta manera, garantizar que el tránsito sea cómodo, seguro, fluido y económico”

- **Conservación periódica**

El Manual de Carreteras de Mantenimiento o Conservación Vial, aprobado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante Resolución Directoral N° 08-2014-MTC/14, de fecha 23 de marzo del 2014, define conservación periódica como “El conjunto de actividades, programables cada cierto periodo, que se realizan en las vías para recuperar sus condiciones de servicio”, estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a:

- ❖ Reposición de capas de rodadura, colocación de capas nivelantes y sello.
- ❖ Reparación o reconstrucción puntual de capas inferiores del pavimento
- ❖ Reparación o reconstrucción puntual de túneles, muros, obras de drenaje

- ❖ Reposición o instalación de elementos de seguridad vial y señalización
 - ❖ Reparación o reconstrucción puntual de la plataforma de carretera
 - ❖ Reparación o reconstrucción puntual de los componentes de los puentes tanto de la superestructura como de la subestructura y pintado general del puente.
- Conservación rutinaria

El Manual de Carreteras de Mantenimiento o Conservación Vial, aprobado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante Resolución Directoral N° 08-2014-MTC/14, de fecha 23 de marzo del 2014, define conservación rutinaria como “El conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de derrumbes de pequeña magnitud; así como limpieza o reparación de señales y/o elementos de seguridad, limpieza o reparación de juntas de dilatación”.

2.2.5 Niveles de Servicio

El Manual de Carreteras de Mantenimiento o Conservación Vial, aprobado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante Resolución Directoral N° 08-2014-MTC/14, de fecha 23 de marzo del 2014, define niveles de servicio como “Indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales puedan evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y de seguridad. Los indicadores son propios a cada vía y varían de acuerdo con factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles”.

A modo de ejemplo y para un mejor entendimiento del concepto de niveles de servicio se presenta la tabla N°2, el cual contiene los niveles de servicio que debe mantener un camino afirmado.

Tabla N° 2 Tabla de niveles de servicio para una carretera afirmada

PARÁMETRO	MEDIA	NIVEL DE SERVICIO
Deformación	Porcentaje máximo de área con deformaciones mayores a 50 mm.	5%
Erosión	Porcentaje máximo de área con erosión mayor a 50 mm.	10%
Baches (Huecos)	Porcentaje máximo de área con baches (huecos).	0%
Encalaminado	Porcentaje máximo de área con encalaminado.	10%
Lodazal y cruce de agua	Porcentaje máximo de área con lodazal y cruce de agua	5%
Rugosidad obras nuevas	Rugosidad característica del tramo obra nueva	5.0 IRlc(*)
Rugosidad con mantenimiento periódico	Rugosidad característica del tramo con mantenimiento periódico	6.0 IRlc(*)
Rugosidad durante el periodo de servicio	Rugosidad característica del tramo en periodo de servicio	8.0 IRlc(*)
(*) IRI característico (IRlc), a la confiabilidad de 70% $IRlc = IRlp + 0.524(ds)$ IRlp = IRI promedio ds = desviación estándar		

Fuente: Manual de Carreteras de Mantenimiento o Conservación vial del MTC.

2.2.6 Niveles de intervención en obras viales

- **Construcción**

“Proceso por el cual se crean vías con características geométricas acorde a las normas de diseño y construcciones vigentes”. (Manual de Carreteras de Mantenimiento o Conservación Vial, 2014).

- **Rehabilitación**

“Proceso por el cual se devuelve a la infraestructura vial sus características originales y se le adecua a su nuevo periodo de servicio: reparación y ejecución de pavimentos, puentes, túneles, obras de drenaje, movimientos de tierra en zonas puntuales”. (Manual de Carreteras de Mantenimiento o Conservación Vial, 2014).

- Mejoramiento

“Proceso por cual se eleva el estándar de la vía. Implica modificación sustancial de la geometría y de la estructura del pavimento; así como la construcción y/o adecuación de los puentes, túneles, obras de drenaje, muros y señalización necesarias”. (Manual de Carreteras de Mantenimiento o Conservación Vial, 2014).

2.2.7 Polvo

Según la Real Academia Española el polvo se define como “El conjunto de partículas sólidas que flotan en el aire y se posan sobre los objetos”. Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo de España se define al polvo como “La dispersión de partículas sólidas en el ambiente. Cuando estas partículas son más largas que anchas, se habla de fibras”.

Como se puede observar tanto la RAE como el ISHT de España usan el termino partícula para definir al polvo, por ello se procederá a definir a continuación.

2.2.8 Partículas

Rubén Marcos en su trabajo de investigación sobre la determinación de polvo atmosférico sedimentable en la ciudad universitaria San Marcos – Lima, define el termino partículas, como “Los contaminantes generados por procesos extractivos, transporte, concentración, fundición, refinería y comercialización de la actividad minera; quema de combustibles fósiles; emisiones volcánicas; polen de la fase de floración de las plantas; fotoquímica de gases contaminantes primarios, etc.”.

2.2.9 Materiales particulados PM 2.5 y PM 10

Se denomina PM10 a las partículas respirables presentes en la atmosfera, cuyos diámetros aerodinámicos son iguales o inferiores a 10 μm , del mismo modo se denomina PM2.5 a las partículas respirables presentes en la atmosfera, cuyos diámetros aerodinámicos son iguales o inferiores a 2.5 μm , 1 μm corresponde a la milésima parte de un milímetro.

A continuación, se muestra una imagen comparativa, entre un PM10, un PM2.5 y un cabello.

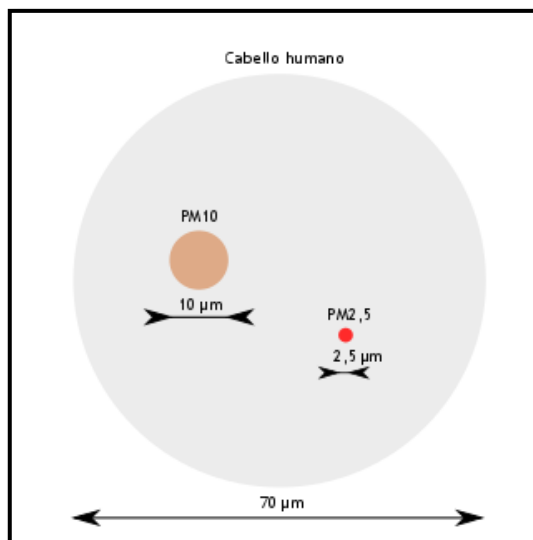


Figura N° 2 Comparación gráfica de los diámetros correspondientes a un PM10, un PM2.5 y un cabello humano

Fuente: California Environmental Protection Agency. Air Resources Board, ed. (26 de septiembre de 2011)

2.3 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

La evaluación de pavimentos consiste en identificar el estado en el que se halla la superficie y estructura de este, dicha evaluación permite determinar la capacidad estructural y funcional del pavimento y establecer las causas del porque se encuentra en el estado que presenta al instante de la evaluación. Una correcta evaluación permite conocer a tiempo los deterioros presentes tanto en la superficie como en la estructura del pavimento, lo cual es necesario corregir si se requiere prolongar la vida útil de la carretera.

“La evaluación de pavimentos, se divide en evaluación estructural y evaluación funcional. La primera se enfoca principalmente en determinar el módulo de elasticidad del pavimento y con ello su capacidad admisible, y la segunda tiene por objeto el reconocimiento de las deficiencias relacionadas a la calidad de la superficie”. (Tesis de Grado, Armando, P. y Marcos, C.,2015)

2.3.1 Evaluación funcional

“La evaluación funcional del pavimento, tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando

todos aquellos factores que afectan negativamente a la comodidad, seguridad y economía (Thenoux y Gaete, 2012)²(Armando, P. y Marcos, C.,2015, pag.28)

Las deficiencias que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento pueden ser medidos a través de los siguientes factores:

- Rugosidad

En la norma de ensayo ASTM E 867-06, se define Roughness (Rugosidad), como “La desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad del manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal y el transversal”. Para su medición se emplea el IRI (Índice Internacional de Rugosidad)

- Fallas superficiales

Las fallas superficiales en una carretera se encuentran relacionados con los baches, ahuellamientos, encalaminados, etc.

- Fricción

La fricción se define como la fuerza que se origina en la superficie del pavimento cuando las ruedas dejan de rotar. Para su medición se emplea el IFI (Índice Internacional de la Fricción). (Tesis de grado, Giuliana Barraza Elespuru,2014)

- Adherencia

El estudio de la adherencia en carreteras se encuentra relacionado a la adherencia existente entre el neumático de un vehículo y el pavimento. (Tesis de grado, Giuliana Barraza Elespuru,2014)

- Costo usuario

El estudio del costo usuario se define como el gasto total que realiza el conductor para poder transportarse por la carretera, dicho costo contempla el tiempo de transporte, gasto en combustible, daños originados en el vehículo, etc.

² Armando, P. y Marcos, C. (2015). Tesina de pregrado Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el Método del PCI. Lima: Perú.

- Polvo

El estudio de polvo comprende en determinar la cantidad de material particulado en suspensión originado por el paso de los vehículos

- Medio ambiente

El estudio del medio ambiente comprende en determinar los daños medioambientales ocasionados por el deterioro superficial de la vía.

A continuación, se muestra un mapa conceptual, ver figura N° 3, donde se resume el procedimiento para realizar una evaluación funcional.

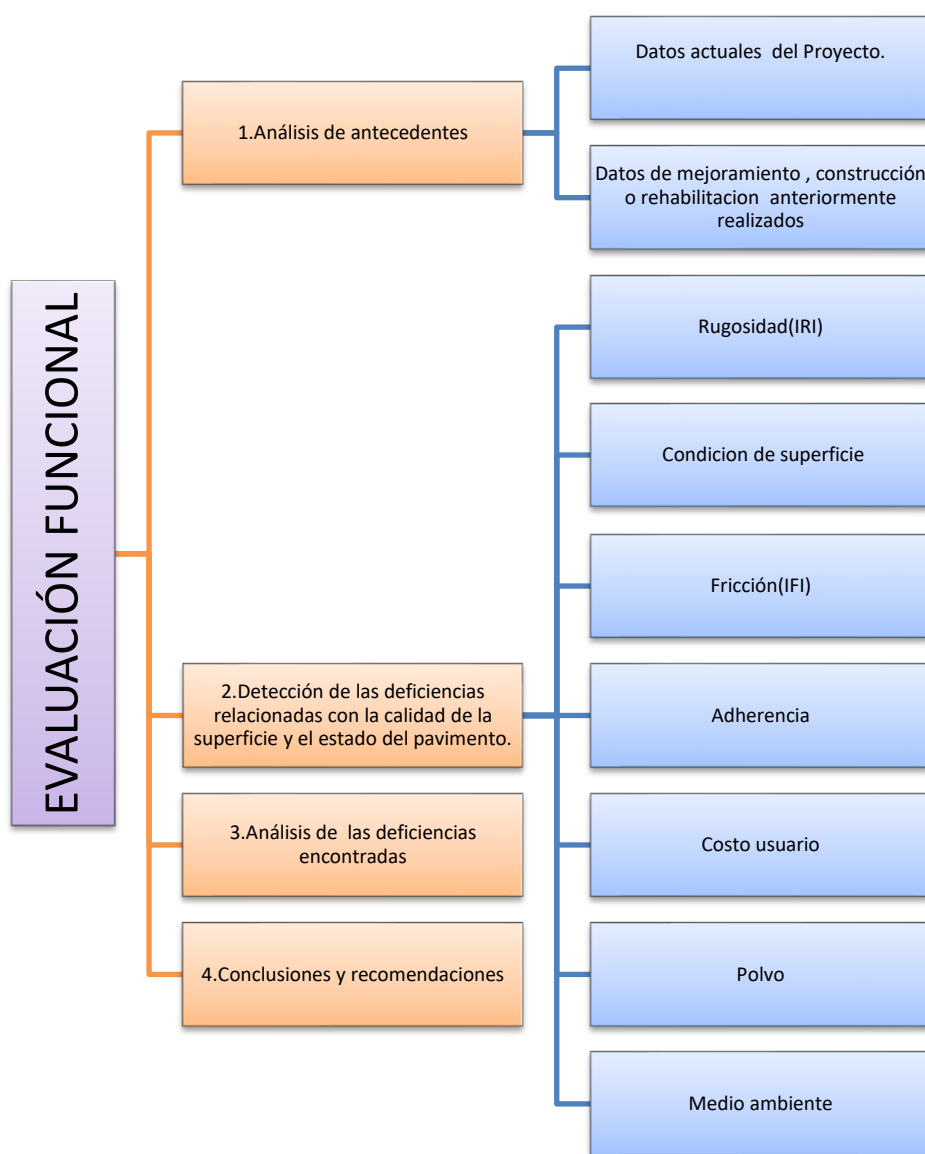


Figura N° 3 Mapa conceptual del proceso de una evaluación funcional

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta el mapa conceptual y la definición de evaluación funcional, se deduce que realizar una evaluación funcional implica reconocer el deterioro superficial de una vía mediante el estudio de diversos factores, tales como la rugosidad, condición de superficie, etc. Lo cual resulta costoso, por lo que muchas veces se realiza esta evaluación teniendo en cuenta solo algunos factores, tal es el caso de la presente tesis, el cual solo considerará los factores rugosidad, condición de superficie y polvo, por ser los que más afectan directamente al usuario y a la seguridad vial.

A continuación, se procederá a describir en que consiste identificar las deficiencias superficiales por medio de los factores rugosidad, condición de superficie y polvo.

- Evaluación funcional del incremento de la rugosidad

Como se mencionó anteriormente la rugosidad representa la desviación de una determina superficie respecto de una superficie plana teórica, de ello se desprende que rugosidades altas implican desviaciones altas, por lo que de manera directa es un indicativo del estado superficial de la vía. Lo que se busca con el análisis funcional del incremento de la rugosidad no solo es detectar la rugosidad presente, sino más bien se busca detectar en qué momento la vía pasará por una rugosidad crítica, superficie deteriorada que puede ser recuperada, y con ello poder plantear programas de conservación coherentes que permitan mantener la vía siempre con una funcionalidad aceptable.

- Evaluación funcional de deterioro de la condición de superficie

La condición de superficie se encuentra relacionado directamente con el estado de la superficie, ya que mide directamente los deterioros reales observables en la superficie tales como baches, encalaminados ahuellamientos, etc., para medir la condición de superficie se emplean índices tales como el URCI, PASER u otros que permiten representar las fallas superficiales presentes en la superficie en un índice, generalmente estos índices brindan valores altos a superficies en buen estado y valores bajos a superficies en mal estado.

- Evaluación funcional de supresión de polvo

Se denomina evaluación de supresión o mitigación de polvo a la evaluación funcional cuyo objetivo es detectar la cantidad de material particulado en

suspensión antes y después de la aplicación de una medida de mitigación de polvo. Para la detección de polvo se pueden emplear métodos cualitativos como son el grado de polvo y parámetro polvo URCl y cuantitativos como la determinación de los niveles de concentración de polvo con el equipo Dustmate y otros equipos, siendo estos últimos los más verosímiles debido a su carácter objetivo.

Es preciso mencionar que este tipo de evaluación permite detectar de manera indirecta la presencia de deficiencias superficiales, por ejemplo, una vía en buen estado de conservación presenta menos presencia de polvo que una vía con deterioro superficial.

2.4 IRI

2.4.1 Definición

Se denomina IRI al resultado del ensayo del modelo matemático cuarto de carro (Quarter-Car), el cual es mundialmente aceptado para medir la rugosidad de una vía. Sus aplicaciones son diversas en ingeniería, tales como la aplicación para evaluación económica de proyectos de carreteras, conservación vial, niveles de servicio, etc. (Índice internacional en la red de carreteras de México, IMT)

2.4.2 Antecedentes

En la década del setenta el Banco Mundial patrocinó varios programas de investigación con el fin de determinar cuáles eran los principales problemas que aquejaban a las carreteras de los países en vías de desarrollo, dando como resultado que los países con poca inversión en infraestructura vial eran los que más gastaban en transporte, situación que no les permitían progresar, también se concluyó que los datos de rugosidad de distintos países no podían ser comparados, esto debido a que cada país empleaban sus propios índices y escalas para determinar su rugosidad, situación que no permitía tener una idea clara de la condición de las carreteras de estos países, al observar esta necesidad en el año 1982 el Banco Mundial inició un trabajo de investigación en Brasil con el fin de determinar si estos índices se podían correlacionar entre sí y de ser afirmativo ¿cuál de estos índices emplear?, la investigación dio como resultado que si se podían correlacionar entre sí, y se tomó como índice patrón al IRI.

El IRI como se mencionó es el resultado de emplear el equipo cuarto de carro (Quarter-Car), ver figura N° 4, el cual permite medir las deflexiones presentadas

por un sistema en suspensión, la medición del IRI con este equipo consiste en determinar el cociente entre la sumatoria de todos los desplazamientos generados al emplear el equipo en un tramo respecto de la longitud del tramo.

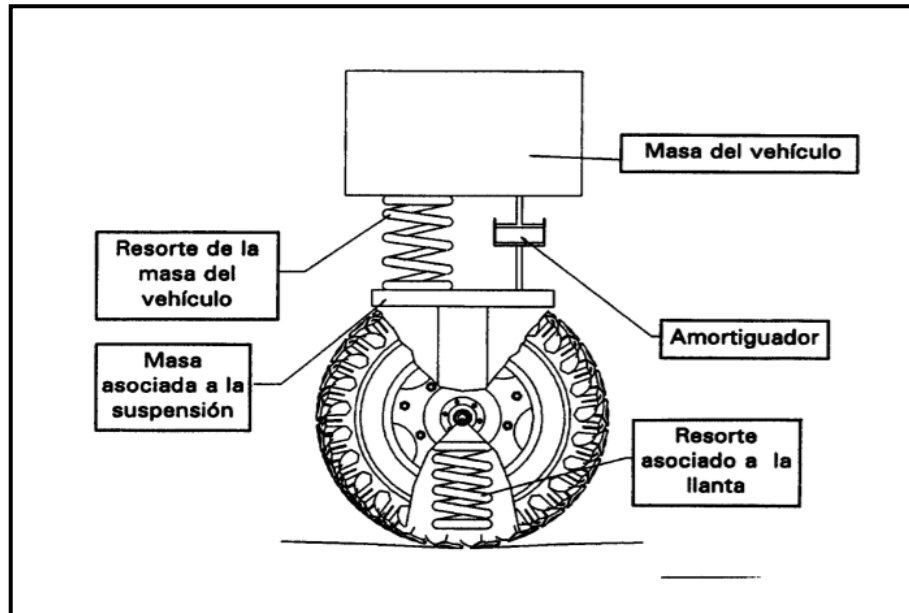


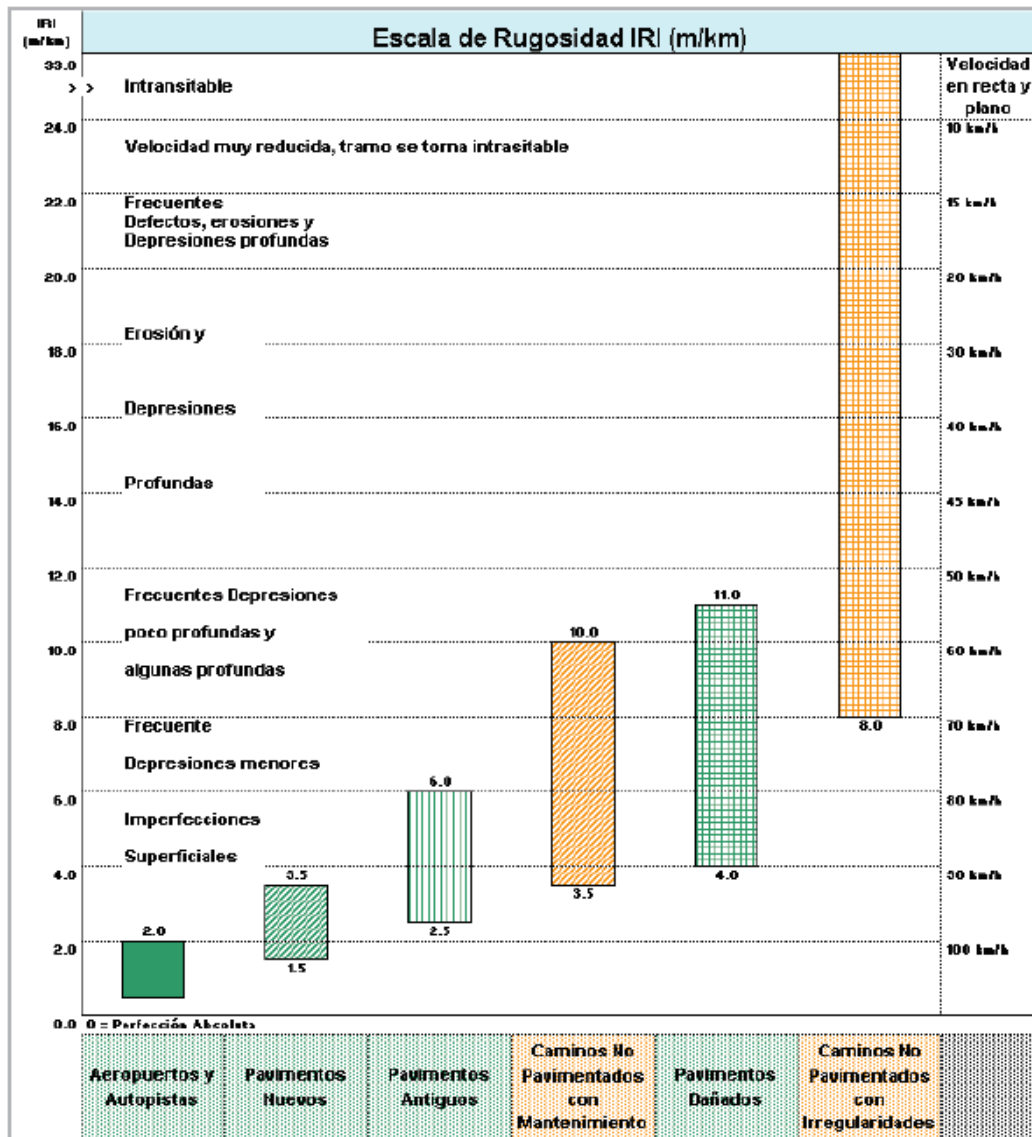
Figura N° 4 Representación gráfica del modelo "Cuarto de Carro"

Fuente: Índice internacional en la red de carreteras de México (IMT)

2.4.3 Características del IRI

Las unidades del IRI están expresadas en mm/m o m/km. Para superficies con pendiente constante ya sea plano o inclinado, sin deformaciones verticales, el IRI es igual a cero, de allí que no importa los cambios de pendiente en la determinación del IRI.

A continuación, se muestra una tabla donde se indica los rangos en la escala del IRI para distintos tipos de pavimentos:



	Pavimentadas	No pavimentadas
Estado	Rugosidad	Rugosidad
Bueno	$0 < IRI \leq 2,8$	$IRI \leq 6$
Regular	$2,8 < IRI \leq 4,0$	$6 < IRI \leq 8$
Malo	$4,0 < IRI \leq 5,0$	$8 < IRI \leq 10$
Muy malo	$5 < IRI$	$10 \leq IRI$

Figura N° 5 Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos

Fuente: Manual de carreteras de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos y el manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de carreteras del MTC.

2.4.4 IRI y su relación con la conservación vial

El ciclo de deterioro de la capa de rodadura de un camino no pavimentado en el tiempo tiene un comportamiento no lineal (ver figura N° 6), el cual se puede dividir en cuatro etapas, la primera etapa (fase B), es la etapa donde los daños y la velocidad de deterioro es mínima, sin embargo es necesario proyectar mantenimientos rutinarios permanentes para prolongar su duración, luego se presenta una segunda etapa (fase C1), en esta los deterioros son más notorios que los presentados en la primera, por lo que se requiere proyectar mantenimientos periódicos para evitar que sigan aumentando, luego de este se presenta una tercera etapa (fase C2), en esta el camino se encuentra muy deteriorado, además se presentan altas velocidades de deterioro, si se quiere recuperar el camino es necesario proyectar una rehabilitación, finalmente se presenta una cuarta etapa (fase D), en esta la capa de rodadura se encuentra colapsado, imposibilitando muchas veces el tránsito, aquí se requiere una reconstrucción. (Curso de deterioro de vías, Ing. Emilio Castillo Aroní)

Lo que se busca con la gestión de conservación vial es preservar el camino mediante programas de mantenimientos periódicos y rutinarios a tiempo para no llegar a la tercera etapa, puesto que por cada “1 sol que no se invierte en mantenimientos periódicos costara 5 soles en rehabilitación” (Exposición proyecto Perú, Ing. John A. Vega, 2010).

Teniendo en cuenta lo mencionado y que el índice Internacional de Rugosidad (IRI) nos indica de manera objetiva el estado superficial en el que se encuentra una capa de rodadura en un momento dado, se puede programar evaluaciones periódicas de mediciones de IRI, con la finalidad de poder observar en qué etapa de su ciclo se encuentra y cuál es su velocidad de deterioro, de manera que sirva como herramienta para poder realizar proyecciones de deterioro y con esto usarlo para proyectar mantenimientos rutinarios y periódicos o proponer una rehabilitación si fuese el caso; evitando con esto los ³ Ciclos fatales que afrontan las vías tal como se muestra en la figura N° 7.

³ Ciclos fatales: Son aquellos ciclos donde no se aplicaron ningún tipo de mantenimiento a la vía, presentando un deterioro creciente de la vía a lo largo del tiempo.

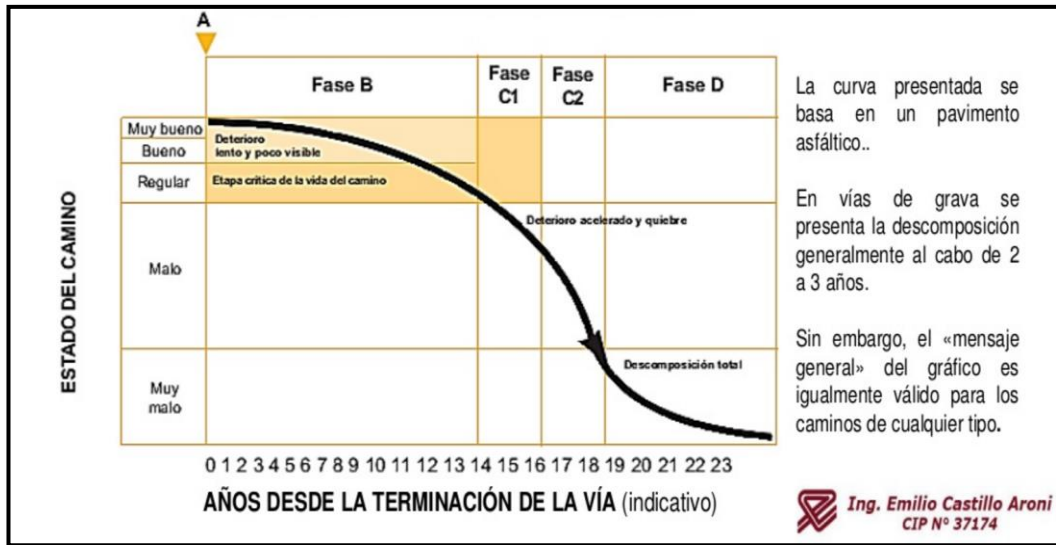


Figura N° 6 Curva de deterioro de las vías en el transcurso del tiempo.

Fuente: Ing. Emilio Castillo Aroní.

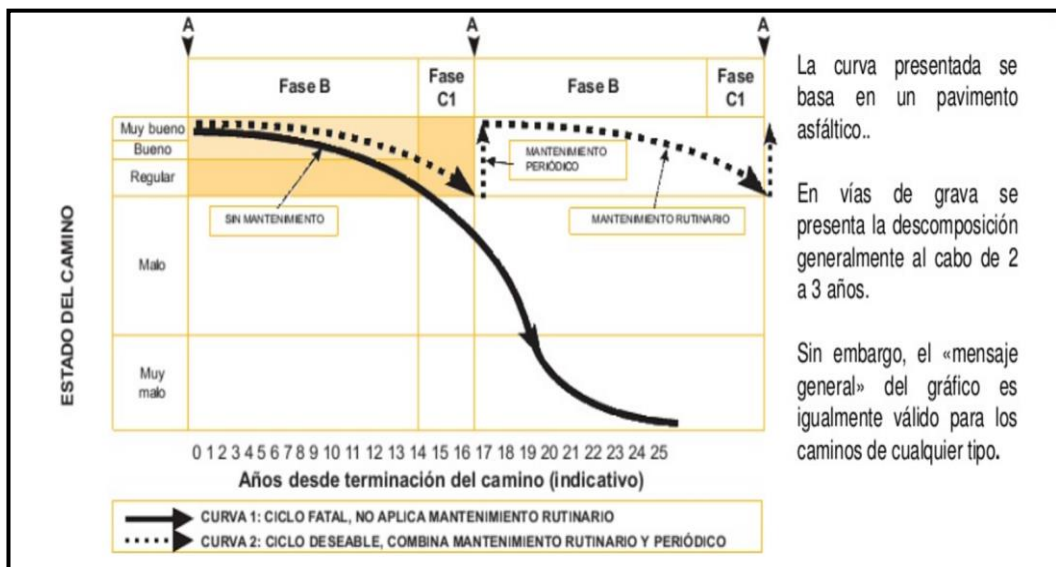


Figura N° 7 Curvas comparativas del ciclo fatal y deseable de vías.

Fuente: Ing. Emilio Castillo Aroní.

2.4.5 Equipos para la medición del IRI

El Banco Mundial clasifica a los equipos empleados para la medición de la rugosidad en 4 clases, los cuales se procederán a explicar a continuación.

- Clase 1

En esta clase se encuentran los equipos de alta precisión para la medición de perfiles longitudinales y obtención del IRI, los cuales permiten obtener mediciones

de las cotas del perfil con una precisión de 0.5mm o menos, tomando datos espaciados sobre el perfil longitudinal de la vía en distancias no mayores de 25cm, es preciso indicar que, debido a su gran precisión, estos sirven también para la calibración o verificación de las medidas obtenidas por otros equipos de menor rango.

Entre estos equipos se encuentran el perfilómetro laser, el perfilómetro óptico, el TRL Road Profile Beam (ver figura N° 8), entre otros.



Figura N° 8 Equipo Road Profile Beam

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

- Clase 2

En esta clase se encuentran todos los equipos o métodos para obtener el perfil longitudinal y el IRI de una carretera en forma continua y a una velocidad preestablecida, con precisión igual o menor que las obtenidas en la clase anterior. Entre estos se encuentran los perfilómetros de alta velocidad como el ADPL Tráiler (ver figura N° 9) y el GMR – Type Inertial Profilometer.



Figura N° 9 Perfilómetro ADPL

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

- Clase 3

En esta clase se encuentran todos los equipos que obtienen el IRI por medio de correlaciones a partir de datos de campo obtenidos mediante mejoramiento dinámicos.

En estos se encuentran los equipos de alto rendimiento como el Mays Meter, Bump Integrator (ver figura N° 10), Mis-3, Mis-4, Cos Meter, PCA Meter, NAASRA Meter, entre otros y los de bajo rendimiento como el Merlin.

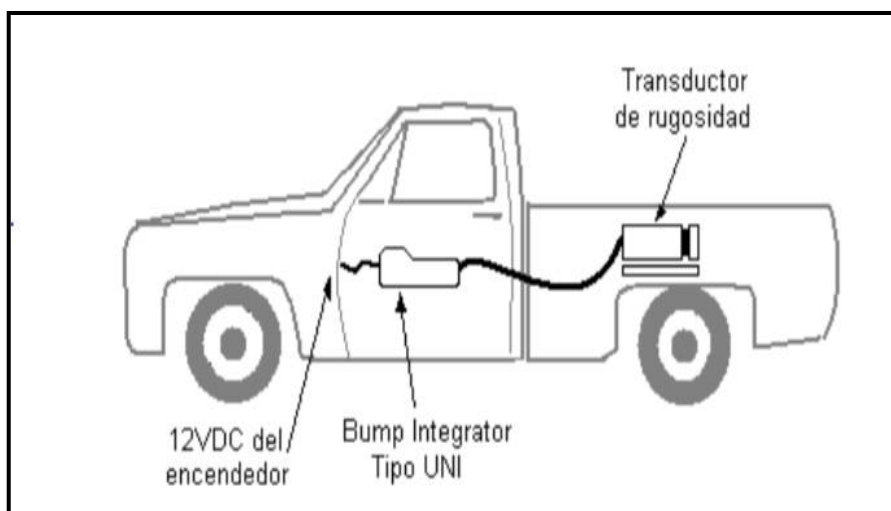


Figura N° 10 Esquema de instalación del equipo Bump Integrator

Fuente: Informe de supervisión del Proyecto Perú

- Clase 4

Esta clase no emplea ningún tipo de equipo, por lo que la determinación del IRI se rige a una determinación subjetiva, sin mayor exactitud. Su uso es referencial y generalmente se emplea para tener una idea básica del estado superficial del camino.

2.4.6 Equipo MERLIN y su proceso de medición del IRI

El MERLIN es un equipo de alta precisión, bajo costo, fácil calibración, uso y mantenimiento, que obtiene el IRI de una vía por medio de correlaciones. Fue diseñado y desarrollado por el TRRL (Transport and Road Research Laboratory), con el fin de ser empleado por los países en vías de desarrollo para que estas puedan determinar las rugosidades de sus vías.

El equipo MERLIN es de diseño simple, está conformado por un marco metálico compuesto por tres elementos verticales y uno horizontal, ver figura N°11, el primer elemento vertical se ha diseñado parecido a las horquillas de una bicicleta, el cual sirve para colocar el eje de la llanta y la llanta misma, la llanta lleva una gutapercha, que sirve para medir el giro completo de la llanta a la hora de realizar el ensayo, el segundo elemento vertical tiene en su extremo inferior un pivote sobre el cual gira un brazo móvil, este brazo tiene de dos partes la primera que es la más grande mide aproximadamente 100 cm, en su extremo superior se ubica un puntero y en su extremo inferior el pivote, la segunda parte contiene dos posiciones en las cuales se puede colocar el patín móvil, el primero se encuentra a 10 cm y el segundo a 20cm del pivote; de esto se desprende que para la primera posición del patín móvil existe una relación de brazos de 1 a 10 y para la segunda de 1 a 5, de modo que un desplazamiento de 1mm del patín móvil producirá un desplazamiento del puntero de 10mm para la primera posición y de 5mm para la segunda, el tercer elemento vertical cuenta con un patín fijo en su extremo inferior que sirve de apoyo a la hora de realizar el ensayo, además del patín fijo este tercer elemento lleva adosado dos elementos inclinados uno hacia la derecha y otro hacia la izquierda, el de la derecha sirve para apoyar el patín fijo a la hora del ensayo y el de la izquierda para descansar el equipo. El elemento horizontal tiene en su extremo inferior dos manijas las cuales sirven para empujar el equipo hacia adelante, tal como se haría con una carretilla, también se encuentra adosado a este un tablero metálico, en la cual se coloca una escala gráfica de 50 unidades, donde cada unidad mide 5mm; sobre el cual se desliza el puntero, ver figura N°12.

- Fundamento Teórico

El MERLIN se sustenta en usar el desplazamiento vertical entre el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante y la superficie del camino, ver figura N°13, al desplazamiento vertical mencionado se le conoce como “la desviación respecto de la cuerda promedio”.

La correlación entre el MERLIN y el IRI se da teniendo en cuenta la dispersión obtenida luego de haber medido en el tramo de estudio varias desviaciones respecto de la cuerda promedio, para ello se ha determinado que la longitud constante de la cuerda promedio sea de 1.8 m, y que se realicen 200 mediciones consecutivas de longitud constante a lo largo de la vía, en la práctica y por facilidad de trabajo se emplea una longitud constante equivalente a una vuelta completa de la rueda, 2m, la cual es medida con ayuda de una gutapercha que se encuentra adosada en esta. Para medir la dispersión de las desviaciones medidas, se emplea el parámetro estadístico denominado rango de la muestra(D) o ancho de muestra, el cual se determina luego de haber elaborado el histograma de distribución de frecuencias de las 200 desviaciones y haber depurado 20 mediciones, 10 en cada cola del histograma, ver figura N°14.

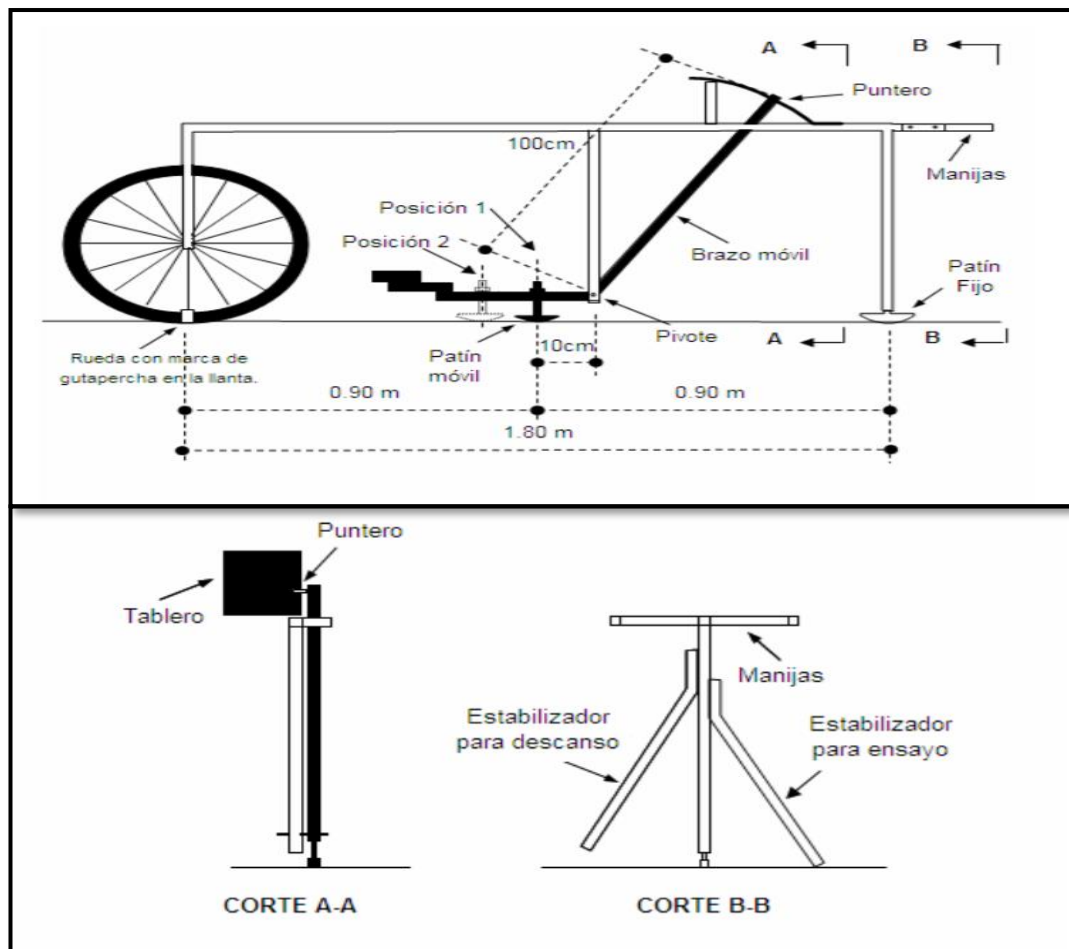




Figura N° 11 Esquema del Rugosímetro MERLIN.

Fuente: Manual de usuario Merliner. y JMR equipos SAC

RUGOSIMETRO MERLIN	
1 DIVISION = 5 mm	
DEPRESIONES	50
	49
	48
	47
	46
	45
	44
	43
	42
	41
ELEVACIONES	40
	39
	38
	37
	36
	35
	34
	33
	32
	31
	30
	29
	28
	27
	26
	25
	24
	23
	22
	21
20	
19	
18	
17	
16	
15	
14	
13	
12	
11	
10	
9	
8	
7	
6	
5	
4	
3	
2	
1	

Figura N° 12 Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie de un pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio.

Fuente: Manual de usuario Merliner.

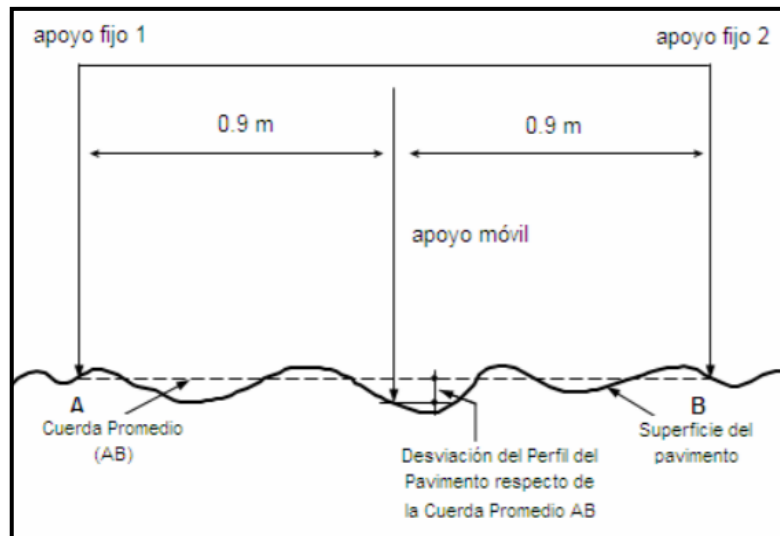


Figura N° 13 Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto a una cuerda promedio.

Fuente: Manual de usuario Merliner.

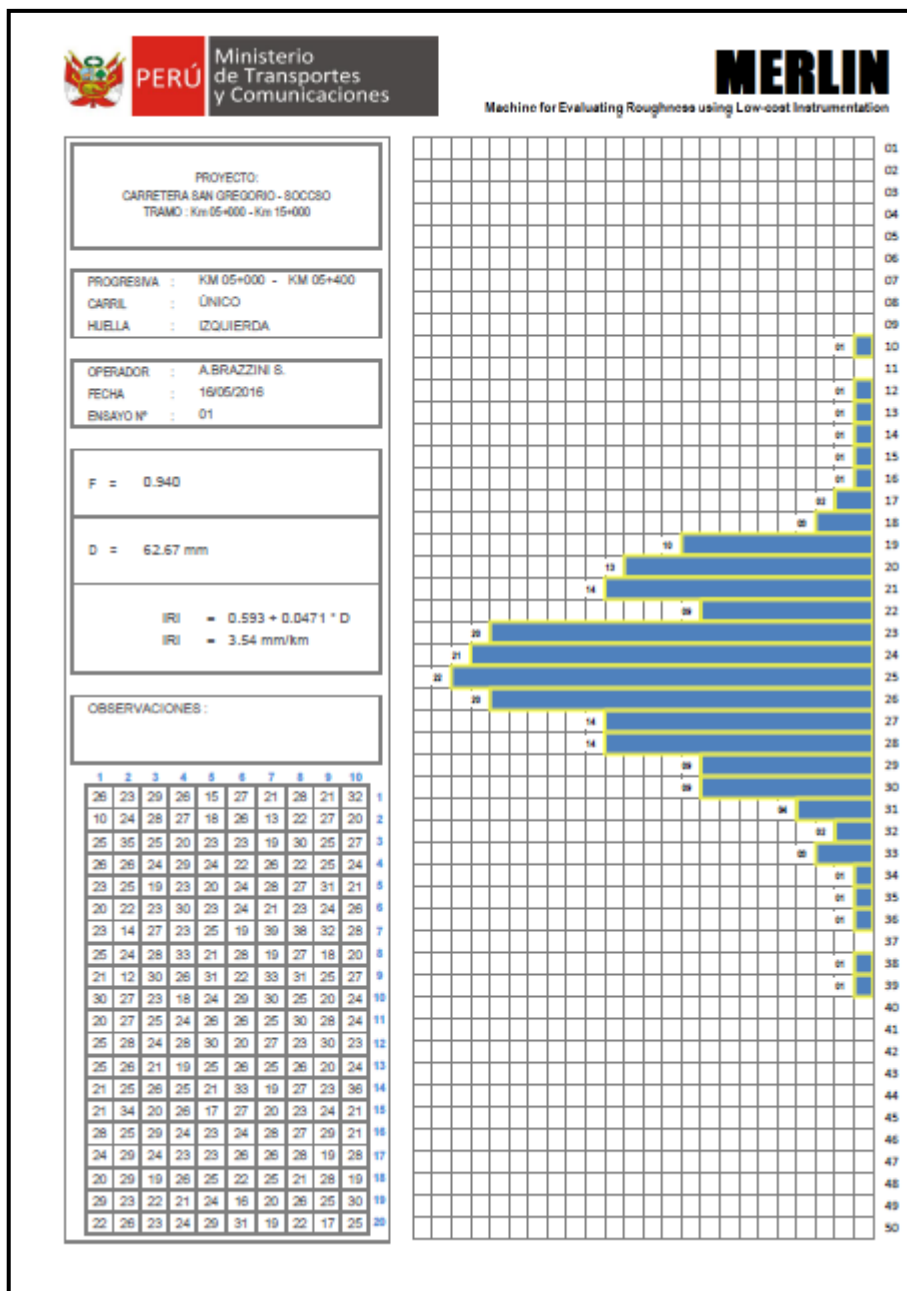


Figura N° 14 Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva.

Fuente: Elaboración propia-estudio realizado para el MTC

- Correlaciones de D vs IRI

Actualmente en el Perú para correlacionar las unidades MERLIN, rango de muestra(D) de la distribución de frecuencia de las 200 desviaciones, con las unidades IRI, se emplean las siguientes expresiones:

Cuando $2.4 < IRI < 15.9$, entonces $IRI = 0.593 + 0.0471 * D$ (1)

Cuando $IRI < 2.4$, entonces $IRI = 0.0485 * D$ (2)

La primera expresión fue establecida por el TRRL (Laboratorio Británico de Investigación de Transporte y Caminos), esta ecuación de correlación se ha establecido para pavimentos en servicio, pudiendo emplearse en caminos pavimentados, no pavimentados y pavimentos económicos, siempre y cuando su rugosidad se encuentre comprendido en el intervalo descrito.

La segunda expresión fue establecida por la experiencia peruana, como resultado de haber evaluado más de 3000 km y haber concluido que la primera expresión no era aplicable para el caso de pavimentos nuevos o poco deformados, entiéndase por pavimentos nuevos o pocos deformados aquellos pavimentos cuyo IRI no es mayor que 2.4, por lo que se estableció una expresión particular para estos pavimentos empleando la misma metodología empleada por el TRRL.

- Cálculo del rango D

Para determinar el valor del rango D, primero se elabora un histograma de distribución de frecuencias con las 200 mediciones de las desviaciones de la superficie con respecto a la cuerda promedio, tal como se muestra en la figura N°14; luego se elimina 20 datos, 10 datos en cada cola del histograma, finalmente se mide el rango de la distribución de frecuencias ya depurada considerando para ello tres decimales.

Es preciso mencionar que el valor del rango D obtenido está en unidades MERLIN, por lo que es necesario antes de emplear las expresiones de correlación multiplicarlo 5mm, 5mm es la medida de cada división de la escala grafica MERLIN.

- Factor de corrección del rango D

Las expresiones 1 y 2 han sido elaboradas para correlacionar el IRI con el rango D, siempre y cuando las mediciones para la obtención de D se realicen considerando una relación de brazos de 1 a 10, condición que en la práctica muchas veces no se logra, debido a que el patín tiende a desgastarse en el tiempo, modificando con ello la relación de brazos del equipo; sin embargo, es posible emplear esas expresiones aun teniendo una relación de brazos distinta a 1 a 10,

para ello es necesario corregir mediante un factor de corrección el rango D antes de ser empleado.

El valor del factor de corrección se determina empleando la expresión 3, la cual requiere tres valores, la primera es el espesor de la pastilla, para ello el TRRL recomienda usar una placa de bronce de 5 cm de diámetro y 6mm de espesor, la segunda y tercera son las posiciones inicial y final que indica el puntero del MERLIN antes y después de colocar la placa debajo del patín móvil, estas dos últimas medidas se toman en lugar plano.

$$FC = \frac{(EP * 10)}{[(LI - LF) * 5]} \dots \dots \dots (3)$$

Donde,

- EP : Espesor de la pastilla.
- LI : Posición inicial del puntero.
- LF : Posición final del puntero.
- FC : Factor de corrección.

- Variación de relación de brazos

Para facilidad de trabajo el MERLIN admite dos posiciones para el patín móvil, la primera es a 10 cm del pivote, ver figura N°11, la cual se denomina posición estándar, es usado para determinar la rugosidad de pavimentos nuevos o superficies muy lisas en ella la relación de brazos es de 1 a 10, la segunda es a 20cm del pivote, ver figura N°11, la cual se denomina posición alterna, es usado para pavimentos deteriorados o afirmados muy rugosos en ella la relación de brazos es de 1 a 5, para la toma de datos en esta segunda posición es necesario multiplicar cada una de las mediciones obtenidas por 2.

- Proceso del ensayo

El ensayo consiste en tomar mediciones de las desviaciones respecto de la cuerda promedio de las huellas externas del camino en estudio, para este fin se recorre cada huella con el MERLIN, tal como se haría con una carretilla, para ello se requiere de dos personas, el primero se va encargar de trasladar el MERLIN y leer las desviaciones del camino cada 2m, para medir las desviaciones basta con posicionar el patín fijo sobre la superficie, dejar caer el patín móvil y leer lo que indica el puntero, para poder determinar la longitud de 2m basta con esperar que

la rueda de un giro completo al hacer el recorrido, esto se observa fácilmente gracias a la gutapercha que va adosada a la rueda, por otro lado el segundo va ser el encargado de apuntar en una libreta de campo las mediciones leídas por el primero, para ello se puede emplear el formato que recomienda el MANUAL DE USUARIO MERLINER, ver figura N°15. El ensayo acaba cuando se han tomado 200 mediciones, lo cual es aproximadamente 400m.

**ENSAYOS PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
(HOJA DE CAMPO)**

PROYECTO : _____ OPERADOR : _____
 SECTOR : _____ SUPERVISOR : _____
 TRAMO : _____ FECHA : _____
 CARRIL : _____

ENSAYO N° KM + HORA :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1											TIPO DE PAVIMENTO :
2											AFIRMADO <input type="checkbox"/>
3											BASE GRANULAR <input type="checkbox"/>
4											BASE IMPRIMADA <input type="checkbox"/>
5											TRAT. BICAPA <input type="checkbox"/>
6											CARPETA EN FRIO <input type="checkbox"/>
7											CARP. EN CALIENTE <input type="checkbox"/>
8											RECAPEO ASFALTICO <input type="checkbox"/>
9											SELLO <input type="checkbox"/>
10											OTROS <input type="checkbox"/>
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											

OBSERVACIONES : _____

Figura N° 15 Formato para la recolección de datos de campo.

Fuente: Manual de usuario Merliner.

2.5 CONDICION DE SUPERFICIE - URCI

2.5.1 Definición

El manual del Índice de Condición de Superficie no Pavimentada (Unsurfaced Rate Condition Index (URCI)), es un manual americano cuyo objetivo es poder valorar visualmente y por medio de herramientas básicas, tales como, odómetro, regla de aluminio de 5.25m, cinta métrica entre otros, el estado de la condición superficial en la que se encuentra una capa de rodadura en un momento determinado. Entender por estado de la condición superficial al grado de deterioro que presenta la superficie de una capa de rodadura.

2.5.2 Fundamento Teórico

El manual URCI fue elaborado por los Ingenieros Robert A. Eaton, el Senior Scientist Sidney Gerard y el Sr David W. Cate a finales de los años 80. Por esos años cerca de los dos tercios de las vías americanas eran carreteras no pavimentadas, situación que obligaba al estado buscar metodologías que permitieran inventariar el estado superficial en que estas se encontraban a fin de poder gestionarlas, como resultado de esa búsqueda es que se implementa el manual URCI, el cual contiene una metodología muy útil para inventariar este tipo de vías.

El manual URCI se fundamenta en la detección y cuantificación de siete tipos de fallas presentes en las carreteras no pavimentadas, fallas que el ingeniero Robert A. Eaton y su equipo técnico establecieron como primordiales para poder caracterizar la condición de superficie; además se encuentra respaldado por la experiencia de muchos años de los ingenieros civiles encargados de la realización de los mantenimientos de los caminos no pavimentados de las vías americanas. A continuación, describiremos los siete tipos de fallas contemplados en dicho manual.

- Sección Transversal Inadecuada

Este tipo de falla está relacionado con el estado en que se encuentra la sección transversal de la carretera al momento de ser evaluado, consiste en verificar si la sección cumple con las características necesarias para realizar un correcto drenaje como es poseer un bombeo definido (sin baches) o encontrarse bien perfilado.

La sección transversal inadecuada es medida, según el manual URCI, en metros por unidad de muestreo a lo largo del eje central, pudiendo por unidad de muestreo tener distintos tipos de severidad. La máxima longitud será igual a la longitud de la unidad de la muestra.

Los tipos de severidad (ver figura N° 16) presentes en este tipo de falla son los siguientes:

- Severidad Leve
 - ❖ Cuando se encuentra una cantidad pequeña de agua estancada o evidencia de encharcamiento leve en la superficie.
 - ❖ Cuando la superficie del camino está completamente plana (Sin pendiente en la sección transversal).
- Severidad Moderada
 - ❖ Cuando se encuentra una cantidad moderada de agua estancada o evidencia de encharcamiento moderado en la superficie.
 - ❖ Cuando la superficie del camino está en forma de cuenco
- Severidad Severa
 - ❖ Cuando se encuentra una gran cantidad de agua estancada o evidencia de encharcamiento severo en la superficie.
 - ❖ La superficie del camino contiene severas depresiones.

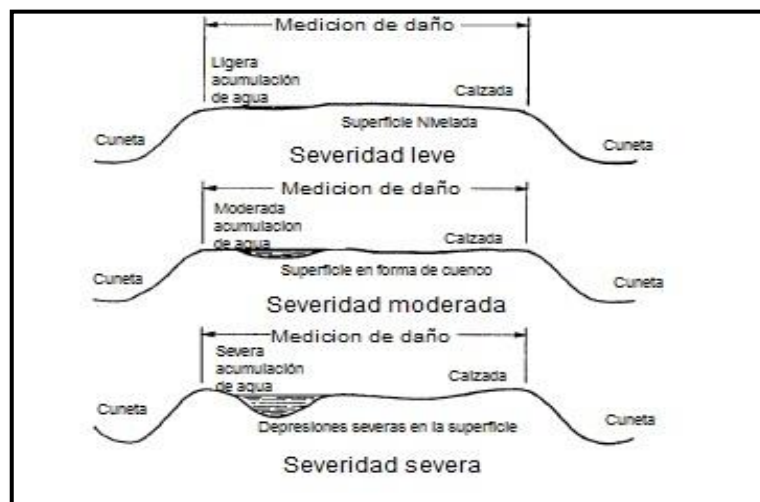


Figura N° 16 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo Sección Transversal Inadecuada.

Fuente: Reporte Especial 87-15, manual del índice de Condición de Superficie no Pavimentada (Unsurfaced Rate Condition Index (URCI)).

- Inadecuado drenaje en la carretera

Este tipo de falla está relacionado con la capacidad que tiene la carretera para conducir el agua, dicha capacidad depende del grado de deterioro de las cunetas o zanjas de drenaje.

La sección transversal inadecuada es medida, según el manual URCI, en metros por unidad de muestreo para cada lado de la vía (lo que corresponde a sus cunetas), pudiendo por unidad de muestreo tener distintos tipos de severidad. La máxima longitud que pudiese tener este tipo de falla es el doble de la longitud de la unidad de muestreo.

Los tipos de severidad (ver figura N° 17) presentes en este tipo de falla son los siguientes:

- Severidad Leve
 - ❖ Cuando se encuentra una cantidad pequeña de agua estancada o evidencia de acumulación de agua en las cunetas.
 - ❖ Cuando se observa una pequeña cantidad de acumulación de escombros en las cunetas
- Severidad Moderada
 - ❖ Cuando se encuentra una cantidad moderada de agua estancada o evidencia de acumulación moderada de agua en las cunetas.
 - ❖ Cuando se observa una cantidad moderada de acumulación de escombros en las cunetas
 - ❖ Cuando las cunetas erosionan parte de las bermas o la misma calzada.
- Severidad Severa
 - ❖ Cuando se encuentra una gran cantidad de agua estancada o evidencia de acumulación severa de agua en las cunetas.
 - ❖ Se observa una gran cantidad de acumulación de escombros en las cunetas
 - ❖ Cuando las cunetas erosionan de manera severa las bermas o la misma calzada.

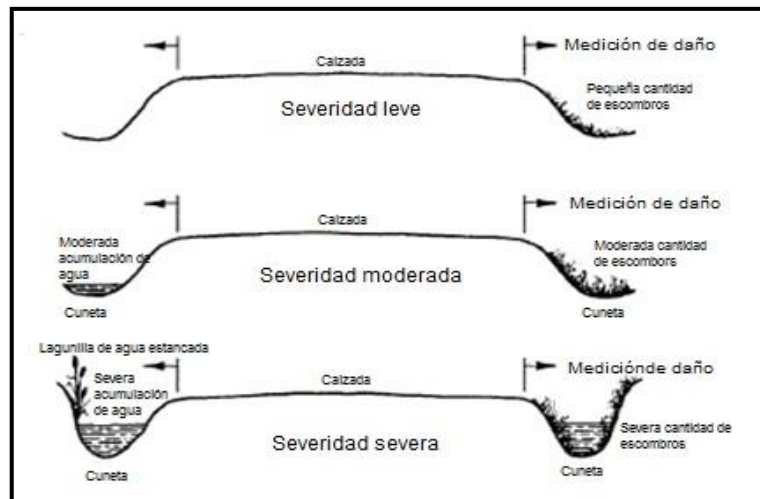


Figura N° 17 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo Drenaje inadecuado en la carretera.

Fuente: Reporte Especial 87-15, manual del índice de Condición de Superficie no Pavimentada (Unsurfaced Rate Condition Index (URCI)).

- Encalaminado

Este tipo de falla está relacionado con las ondulaciones que se forman en la vía, dichas ondulaciones constan de crestas y valles estrechamente espaciados a intervalos más o menos regulares, dicha falla es causada principalmente por el tráfico y la pérdida de agregados presentándose generalmente en las colinas, curvas, en áreas de aceleración o desaceleración o en áreas donde el camino está blando con baches.

Los encalaminados se miden, según el manual URCI, en metros cuadrados o área de superficie por unidad de muestreo, en este caso la máxima área de encalaminado que pudiese haber en el camino es el área total del camino, pudiendo por unidad de muestreo tener distintos tipos de severidad.

Los tipos de severidad (ver figura N° 18) presentes en este tipo de falla son los siguientes:

- Severidad Leve
 - ❖ Cuando la diferencia de cotas entre la cresta y el valle es menor a 1 pulgada
- Severidad Moderada
 - ❖ Cuando la diferencia de cotas entre la cresta y el valle es mayor a 1 pulgada, pero menor a 3 pulgadas.

- Severidad Severa
- ❖ Cuando la diferencia de cotas entre la cresta y el valle es mayor a 3 pulgadas.

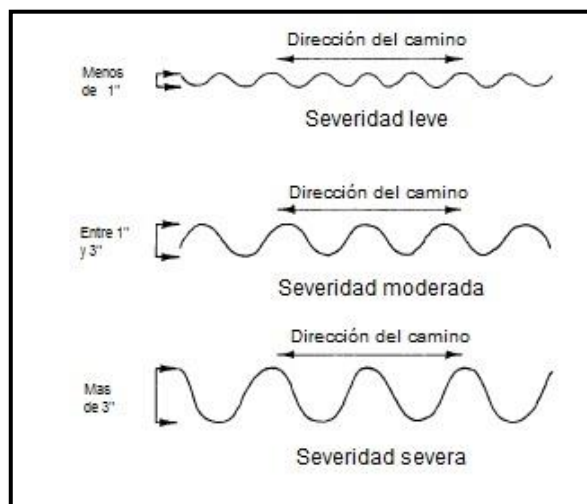


Figura N° 18 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo encalaminado.

Fuente: Reporte Especial 87-15, manual del índice de Condición de Superficie no Pavimentada (Unsurfaced Rate Condition Index (URCI)).

- Polvo

Este tipo de falla está relacionado con las emisiones de polvo que genera el tráfico vehicular en un camino, dicho polvo se genera debido a la remoción de las partículas finas de la superficie por la acción vehicular, el polvo es inherente a los caminos no pavimentados ya que estos tienen materiales finos dentro de su composición.

Para su medición el Reporte Especial 87-15(Manual URCI) contempla un método sencillo de aplicar, el cual consiste en manejar un vehículo a 25mph (40.23 Km/h) y observar la nube de polvo que esta genera. La emisión de polvo vista en campo se puede clasificar como severidad leve, severidad Moderada o Severidad Alta.

Los tipos de severidad (ver figura N° 19) serán descritos a continuación:

- Severidad Leve
- ❖ Cuando el tráfico produce un polvo fino que no obstaculiza la visibilidad, la altura de este polvo respecto del suelo es menor que 0.91 m

- Severidad Moderada
- ❖ Cuando el tráfico produce una nube moderadamente gruesa que parcialmente obstaculiza la visibilidad y hace que el tráfico reduzca su

velocidad, la altura de este polvo respecto del suelo es mayor que 0.91 m pero menor que 2.73 m.

- Severidad Severa
- ❖ Cuando el tráfico produce una nube de polvo muy gruesa que obstruye severamente la visibilidad y hace que el tráfico disminuya severamente la velocidad o inclusive pare, la altura de este polvo respecto del suelo es mayor que 2.73m.

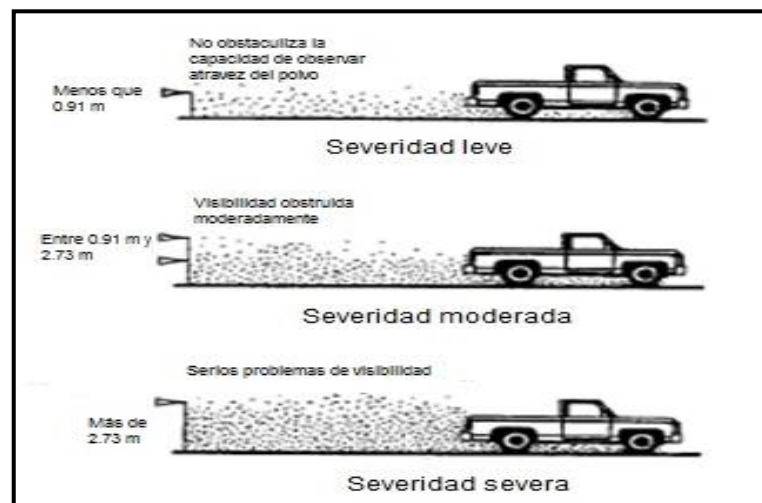


Figura N° 19 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo polvo.

Fuente: Reporte Especial 87-15, manual del índice de Condición de Superficie no Pavimentada (Unsurfaced Rate Condition Index (URCI)).

- Baches

Este tipo de falla está relacionado con las depresiones en forma de cuenco que se generan en la superficie, usualmente dichos baches tienen menos de 0.91m de diámetro. Los baches se producen cuando el tráfico desprende pequeñas piezas de la superficie de rodadura y crecen en dimensión aceleradamente cuando el agua se acumula dentro de estos.

Los baches son medidos, según el manual URCI, por conteo según el tipo de severidad, las cuales pueden ser leves, moderadas o severas (Ver figura N° 20). Para poder detectar a qué tipo de severidad corresponden, el Reporte Especial 87-15(Manual URCI) brinda un cuadro resumen de las severidades según las dimensiones del bache (Ver Tabla N° 3)

Tabla N° 3 Tabla de niveles de severidad para baches

MÁXIMA PROFUNDIDAD	DIÁMETRO PROMEDIO			
	MENOR A 0.30 m	0.3 m - 0.61 m	0.61 m – 0.91 m	MAYOR A 0.91 m
½" -2"	L	L	M	M
2"-4"	L	M	S	S
>4"	M	S	S	S

Fuente: Reporte Especial 87-15, manual del índice de Condición de Superficie no Pavimentada (Unsurfaced Rate Condition Index (URCI)).

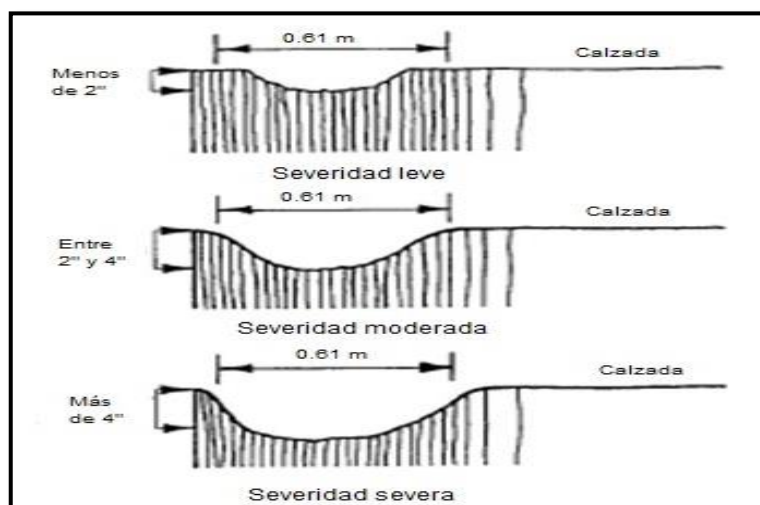


Figura N° 20 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo polvo.

Fuente: Reporte Especial 87-15, manual del índice de Condición de Superficie no Pavimentada (Unsurfaced Rate Condition Index (URCI)).

- Ahuellamiento

Este tipo de falla está relacionado con las depresiones que se forman en las huellas del camino. Este tipo de falla es causado por el paso repetitivo de los vehículos, se manifiesta a temprana edad en caminos que tienen superficies blandas, generando así una deformación permanente en la capa de rodadura. Los ahuellamientos se miden, según el manual URCI, en metros cuadrados o área de superficie por unidad de muestreo, en este caso la máxima área que pudiese haber es el área total del camino, pudiendo por unidad de muestreo tener distintos tipos de severidad.

Los tipos de severidad (ver figura N° 21) presentes en este tipo de falla son los siguientes:

- Severidad Leve
- ❖ Cuando el ahuellamiento tiene menos 1 pulgada de profundidad.

- Severidad Moderada
- ❖ Cuando el ahuellamiento tiene entre 1 y 3 pulgadas de profundidad.

- Severidad Severa
- ❖ Cuando el ahuellamiento tiene una profundidad mayor a 3 pulgadas.

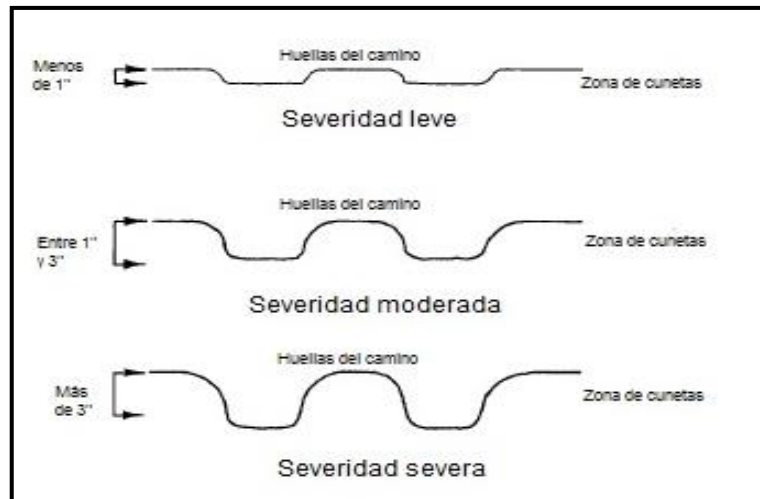


Figura N° 21 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo ahuellamiento.

Fuente: Reporte Especial 87-15, manual del índice de Condición de Superficie no Pavimentada (Unsurfaced Rate Condition Index (URCI)).

- **Perdida de agregados**

Este tipo de falla está relacionado con la pérdida de agregados que tiene la capa de rodadura, dicha pérdida es ocasionado por el tráfico que transcurre en los caminos no pavimentados haciendo que se libere partículas grandes en zonas blandas y estas al ser aplastadas por las llantas del vehículo se incrustan dentro del camino generando así zonas sensibles donde pudiese haber más desprendimiento y así sucesivamente.

Los desprendimientos muchas veces se acumulan en zonas no transitadas como son las bermas o la zona que se encuentra entre las huellas, el manual URCI se apoya en dichas acumulaciones para poder medir la pérdida de agregados del camino (Ver figura N° 22). La medición de pérdida de agregados, según el manual URCI, es en metros lineales y cada acumulación se mide de manera independiente, pudiendo por unidad de muestreo tener distintos tipos de severidad.

A continuación, se procederá a describir los tipos de severidad para la falla por pérdida de agregados.

- **Severidad Leve**

- ❖ Cuando el camino tiene una acumulación de agregados menor a 2 pulgadas.
- Severidad Moderada
- ❖ Cuando el camino tiene una acumulación de agregados mayor a 2 pulgadas, pero menor a 4 pulgadas.
- Severidad Severa
- ❖ Cuando el camino tiene una acumulación de agregados mayor a 4 pulgadas.

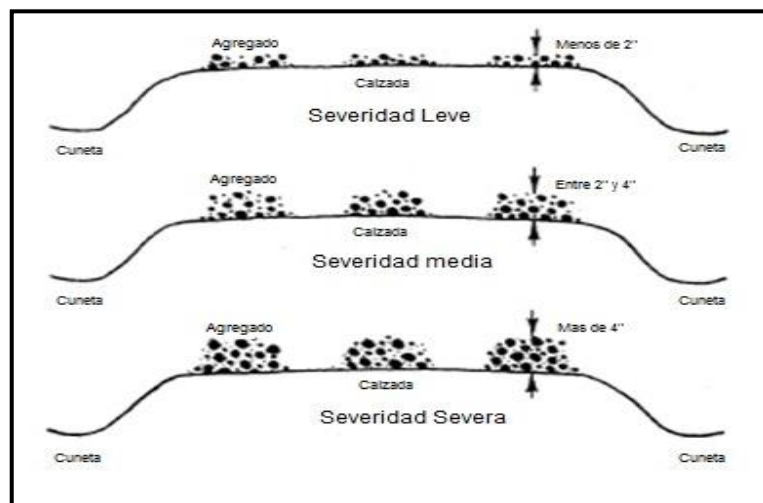


Figura Nº 22 Resumen gráfico de los tipos de severidad para la falla tipo ahuellamiento.

Fuente: Reporte Especial 87-15, manual del índice de Condición de Superficie no Pavimentada (Unsurfaced Rate Condition Index (URCI)).

2.5.3 Proceso de medición del URCI

Para realizar el proceso de medición, el manual URCI sugiere las siguientes etapas:

Primero dividir la red en unidades manejables, segundo inspeccionar las unidades de muestreo (así lo denomina el manual URCI) e identificar las fallas existentes con sus niveles de severidad, tercero calcular las valoraciones correspondientes a cada unidad de muestreo y finalmente realizar un reporte e interpretación de las valoraciones realizadas.

A continuación, se describirá las etapas mencionadas anteriormente.

- PRIMERO Dividir la red en unidades manejables

Antes de hacer el trabajo de campo, se necesita primero dividir la red de caminos en unidades manejables, esto con la finalidad de poder tener un mejor control de las evaluaciones, así como obtener información que sirva para ser inventariada y posteriormente usada como fundamento para prever mantenimientos, rehabilitaciones o mejoramientos. Únicamente se tendrá que hacer esto la primera vez que se use este sistema. Después de esto, se deberá usar siempre las mismas divisiones.

Primero se divide la red de caminos en ramales, los cuales son caminos de muchos kilómetros de largo (Ver figura N° 23). A veces son más pequeños, como un área de estacionamiento inmenso. También se debe tener en consideración que si parte de un ramal es usado exclusivamente por vehículos pesados es mejor separarlo como un ramal aparte.

La idea es cortar la red de caminos en unidades principales reconocibles.

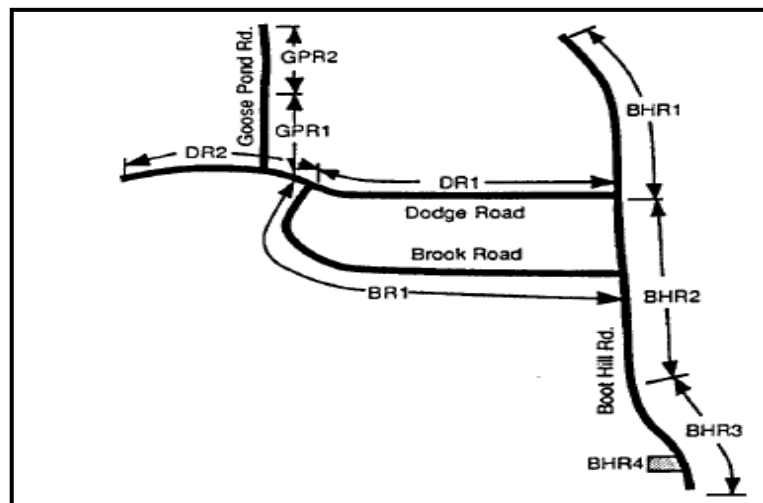


Figura N° 23 Mapa de una red de caminos seccionado, en la figura se puede observar los ramales Goose Pond Road, Dodge Road, Brook Road, Boot Hill Road y las unidades de muestreo BHR1, BHR2, BHR3, BR1, DR1, DR2, GPR1, GPR2.

Fuente: Reporte Especial 87-15, manual del índice de Condición de Superficie no Pavimentada (Unsurfaced Rate Condition Index (URCI)).

Luego los ramales son divididos en secciones (ver figura N° 24), se hace esta división porque muchas veces los ramales son largos y ellos no tienen el mismo mantenimiento a lo largo de toda su longitud, además debido a su gran longitud no todo el ramal cuenta con el mismo tráfico, misma historia, misma calidad de

drenaje, etc. por ende los daños observados no son los mismos y sería erróneo proyectar las mismas soluciones de mantenimiento, rehabilitación y mejoramiento para todo el ramal. Dado esta explicación se procede a dividir los ramales en secciones que tengan la misma estructura de pavimento y mismos materiales de construcción, todas las secciones del camino deben haber sido construidos al mismo tiempo, todas las secciones deben tener el mismo tráfico y la misma categoría (si es un camino de primera, segunda, etc. clase) y deben poseer las mismas condiciones de drenaje. Con la finalidad de que cada sección tenga una tendencia de deterioro particular y se pueda proyectar mantenimientos, rehabilitaciones y mejoramientos a tiempo, mejorando así la vida útil de la carretera.

Finalmente, una sección es dividida en unidades de muestreo (ver figura N°24), las unidades de muestreo son las unidades más pequeñas de una red de caminos, en ellas se realizan las mediciones reales para determinar el estado de la sección. El manual URCI establece que el área de la unidad de muestreo debe estar comprendida entre 139.35 m² y 325.16 m², por lo que la longitud de estudio multiplicada por el ancho de calzada debe cumplir este requisito.

En general, solo son necesarias dos unidades de muestreo por cada 1.61 Km y si el camino es de menos de 1.61 Km solo será necesario una, siempre y cuando las unidades de muestreo seleccionadas sean representativas de toda la sección, es decir, posea los mismos tipos de falla observados a lo largo de la sección. Caso contrario el Ingeniero responsable deberá establecer la cantidad adicionales de unidades de muestreo por cada 1.61 km.

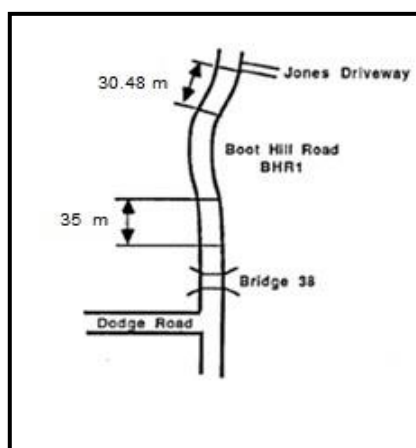


Figura N° 24 Sección BHR1 dividido en dos unidades de muestreo una de 30.48 m y la otra de 35m.

Fuente: Reporte Especial 87-15, manual del índice de Condición de Superficie no Pavimentada (Unsurfaced Rate Condition Index (URCI)).

- SEGUNDO inspeccionar las unidades de muestreo

Como se mencionó las unidades de muestreo son las unidades mínimas en las que se divide una red de caminos, una vez identificados estas unidades de muestreo se procede a realizar la inspección de fallas existentes ⁴, así como el nivel de severidad que le corresponde cada falla encontrada, todos los apuntes pertinentes se pueden hacer en una libreta de campo o se puede usar la hoja de campo brindada por el manual URCI (ver figura N° 25).

UNSURFACED ROAD INSPECTION SHEET

Branch _____ Date _____
 Section _____ Inspector _____
 Sample Unit _____ Area of Sample _____

DISTRESS TYPES

1. Improper Cross Section (linear feet)
2. Inadequate Roadside Drainage (linear feet)
3. Corrugations (square feet)
4. Dust
5. Potholes (number)
6. Ruts (square feet)
7. Loose Aggregate (linear feet)

SKETCH

DISTRESS QUANTITY AND SEVERITY

Type	1	2	3	4	5	6	7
Quantity and Severity							
L							
M							
H							

URCI CALCULATION

Distress Type	Density	Severity	Deduct Value	REMARKS:								
					REMARKS:							
						REMARKS:						
							REMARKS:					
								REMARKS:				
									REMARKS:			
										REMARKS:		
											REMARKS:	
												REMARKS:
				REMARKS:								
Total Deduct Value =					REMARKS:							
q =						REMARKS:						
URCI =	RATING =						REMARKS:					

U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE: 1969 - 486-871-10-81

Figura N° 25 Hoja de campo brindada por el manual URCI

Fuente: Reporte Especial 87-15, manual del índice de Condición de Superficie no Pavimentada (Unsurfaced Rate Condition Index (URCI)).

- TERCERA obtención del Índice URCI

Una vez terminado la inspección en las unidades de muestreo, se procede a realizar el cálculo URCI de dichas unidades, para lo cual se tiene en cuenta la hoja de campo obtenida luego de haber realizado la inspección. El manual URCI muestra como ejemplo una hoja de campo llena, la cual se muestra en la figura N°

⁴ Las fallas existentes contempladas en el manual URCI se explicaron anteriormente dentro de este capítulo, estas son. Sección transversal inadecuada, Inadecuado drenaje en la carretera, etc.

Paso 2. Usar las curvas de valores deductivos para encontrar los valores deductivos de cada tipo de falla con su respectivo nivel de severidad (ver Anexo B).

En la figura N° 26 se observa los valores deductivos obtenidos luego de haber usado las curvas de valores deductivos mostradas en el Anexo B, estas son 6, 2, 2, 23, 16, 18 para los tipos de falla 1, 3, 3, 5, 5, 6 respectivamente, tener en cuenta que en este ejemplo se usó curvas en unidades americanas (en pies y pies²).

Paso 3. Encontrar el Valor Deductivo Total (TDV) y el valor de q. Calcular el TDV sumando todos los valores deductivos. El valor de q es el número de valores deductivos individuales menores que 5. En la figura N° 26 se observa que el TDV es 67 y el valor de q=4.

Paso 4. Use el (TDV) y el valor de q para determinar el Índice de Condición de Caminos no pavimentados (URCI), esto se logra utilizando la curva del URCI (ver figura N° 27). En la figura N°27 se observa un URCI de 62, para un TVD = 67 y un q=4.

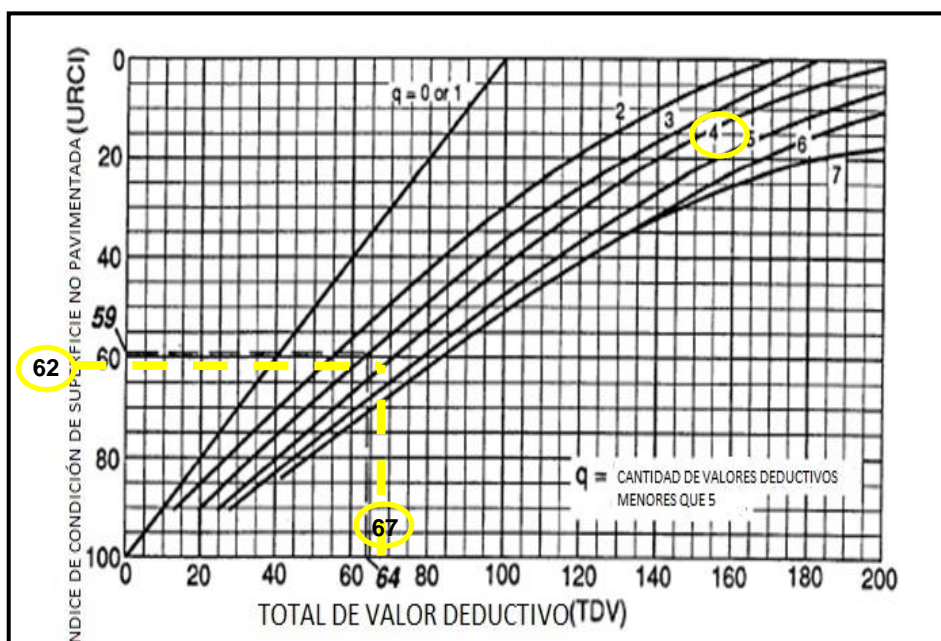


Figura N° 27 Curvas en función del TDV y q para determinar el valor URCI.

Fuente: Reporte Especial 87-15, manual del índice de Condición de Superficie no Pavimentada (Unsurfaced Rate Condition Index (URCI)).

- CUARTO realizar un reporte e interpretación de las valoraciones realizadas.

Luego de haber obtenido los índices URCI de todas las unidades de muestreo correspondiente a cada sección de estudio, se procede a determinar el promedio de los índices URCI de todas las unidades de muestreo correspondiente a dicha sección, esto con la finalidad de poder tener un único valor URCI representativo para la sección.

El manual URCI brinda 7 escalas (ver figura N° 28), las cuales están relacionadas directamente con el valor promedio URCI obtenido para la sección luego de haber realizado la evaluación correspondiente, un valor de 100 indica que el camino se encuentra en excelentes condiciones y un valor de cero indica que un camino se encuentra en pésimo estado (Fallado).

Con toda esta información de la sección analizada, es posible inventariar las evaluaciones realizadas a dicha sección, con la finalidad de poder contar con una base de datos sólida y veraz del deterioro del camino y con esto poder realizar gestiones sostenibles sobre el camino.

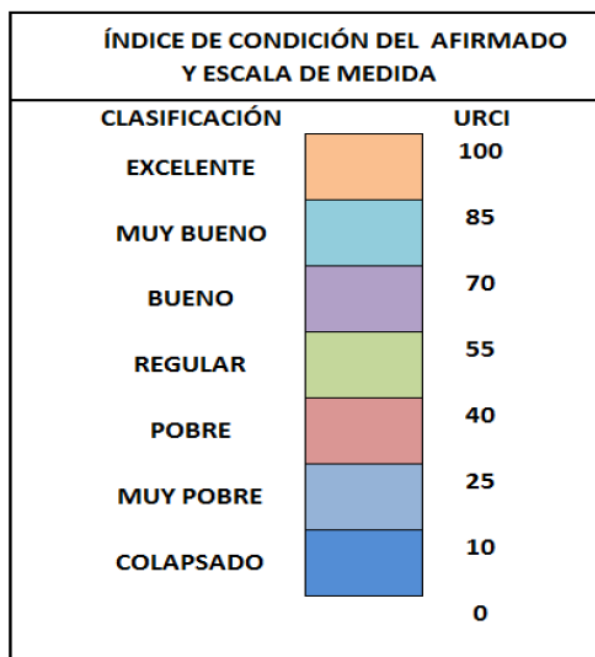


Figura N° 28 Escala URCI

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI.

2.6 PASER

2.6.1 Definición

El manual PASER (traducidos de sus siglas en inglés como evaluación y valoración superficial de los pavimentos), en su versión para caminos de grava, es al igual que el manual URCI, una metodología que sirve para poder determinar visualmente y con herramientas básicas el estado de la condición superficial en la que se encuentra una capa de rodadura en un momento determinado.

2.6.2 Fundamento Teórico

El manual PASER en su versión para caminos de gravas, es un manual creado por la Universidad de Wisconsin, con la finalidad de brindar una metodología sencilla y de rápida aplicación a los gobiernos encargados de la conservación de los caminos locales de Wisconsin DOT. Dicho manual se fundamenta en 6 tipos de fallas los cuales son: Estado de la corona de la carretera (cuya definición es la misma que la falla contemplada en el manual URCI como sección transversal inadecuada), estado del drenaje en la carretera (cuya definición es la misma que la falla contemplada en el manual URCI como inadecuado drenaje en la carretera), capas de grava presentes en la carretera, deformaciones en la superficie (encalaminados y baches), ahuellamientos y pérdida de agregados. Es preciso mencionar, valga la redundancia, que las definiciones de estos tipos de fallas son las mismas explicadas anteriormente, cuando se habló de las fallas contempladas por el manual URCI, siendo la única novedad la falla tipo capas de agregado el cual consiste en determinar el espesor de la capa de agregados que se le ha dado a un camino, discutiendo si esta es la adecuada o no para un tráfico dado. Por ejemplo, en zonas con un bajo volumen de tránsito una capa de 6" suele ser aceptable, menos de esto produciría un rápido deterioro del camino.

Si bien las definiciones para las fallas contempladas en el manual URCI son las mismas definiciones para las fallas contempladas en el manual PASER, se debe aclarar que el manual PASER no cuenta con definiciones para reconocer los tipos de severidad (leve, moderada, severa), presentes por cada falla. Por lo cual se sugiere que cuando se hable de severidad de un tipo de falla, se tenga en cuenta las definiciones brindadas por el Manual URCI.

Como se mencionó en la definición, el manual PASER nos brinda una metodología para poder determinar visualmente el estado de la condición superficial de un camino de manera rápida. Para esto el manual menciona 5 calificaciones, donde

la calificación 5 es para carreteras nuevas y la calificación 1 es para una carretera en muy mal estado.

Este manual se centra en explicar mediante fotografías y una tabla de resumen (ver tabla N° 4) las condiciones que comprende cada calificación, de modo que el ingeniero responsable tenga una idea clara del tipo de calificación que tiene su camino evaluado, además también brinda consejos para corregir las fallas encontradas al evaluar un camino, pudiendo estas ser bacheos en el caso de baches, perfilados si la vía presenta una falla tipo corona, limpieza, etc.

Para finalizar, como ya se mencionó el manual PASER cuenta con 5 rangos de calificación, de modo que se puede llevar un seguimiento del deterioro superficial del camino en el tiempo. Siendo así una herramienta muy útil a la hora de gestionar programas de conservación vial.

Tabla N° 4 Calificación del deterioro superficial, según el manual PASER.

CALIFICACIÓN DE LA SUPERFICIE	DESTROZOS VISIBLES	CONDICIÓN GENERAL/ MEDIDAS DE TRATAMIENTO.
Calificación 5 Excelente	No se encuentran destrozos. Polvo controlado. Excelente condición de la superficie. Vía en excelente estado para viajar.	Nuevas construcciones – o carreteras reconstruidas recientemente. Excelente drenaje. Requiere poco o ningún tipo de mantenimiento.
Calificación 4 Bueno	Polvo bajo condiciones secas. Moderada pérdida de agregados. Encalaminados suaves.	Carretera recientemente nivelada. Buena corona y drenaje en toda la vía. Grava adecuada para el tráfico. Puede ser necesario un nivelado rutinario y control periódico de polvo.
Calificación 3 Regular	Buena corona bombeo de 3" a 6". Adecuadas zanjales de cunetas en más del 50% de la vía. Adecuado estado de la capa de rodadura, pero puede ser necesario en algunas zonas corregir los encalaminados, baches o ahuellamientos aislados. Algunas alcantarillas necesitan limpieza. Encalaminados moderados (de 1" a 2" de profundidad) cubre entre el 10% y 25% del área. Moderada cantidad de polvo, parcial obstrucción de la visión. Ningún o leve ahuellamiento (menos de 1"). Un ocasional bache pequeño (menor de 2" de profundidad). Algunas pérdidas de agregados (2" de profundidad)	Muestra efectos del tráfico. Nivelado (reelaboración) mantenimiento necesario. Necesita algunos mejoramientos en las cunetas. Algunas áreas pueden necesitar grava adicional.
Calificación 2 Pobre	Pequeña o ninguna corona bien definida, el bombeo es de menos de 3", zanjales de cunetas adecuadas en menos del 50% de la vía. Algunas partes de las cunetas se encuentran llenas, cubiertas con maleza y/o muestran erosión. Algunas áreas (25%) con poco o nada de agregados. Las alcantarillas se encuentran parcialmente llenas de escombros. Moderados o severos encalaminados (cerca de 3" de	Se requiere viajar a velocidades bajas (menores a 25mph). Se necesita adicionar nuevas cantidades de agregados. Mayor construcción de zanjales de cunetas y las alcantarillas también requieren mantenimiento.

CALIFICACIÓN DE LA SUPERFICIE	DESTROZOS VISIBLES	CONDICIÓN GENERAL/ MEDIDAS DE TRATAMIENTO.
Calificación 2 Pobre	profundidad) en un 25% del área. Moderados ahuellamientos (entre 1" y 3" de profundidad) cerca del 10 a 25% del área. Baches moderados (entre 2" y 4" de diámetro) cerca del 10% al 25% del área. Severa pérdida de agregados (cerca de 4" de profundidad).	
Calificación 1 Fallado	No existe corona definida o el camino se encuentra en forma de cuenco con gran cantidad de empozamientos. Pequeña o ninguna zanja de cuneta. Alcantarillas colmatadas o dañadas. Severos ahuellamientos (cerca de 3" de profundidad) en un 25% del área. Baches severos (cerca de 4" de profundidad) en un 25% del área. Muchas áreas (cerca del 25%) con pequeña o ninguna cantidad de agregados)	Viajar es dificultoso y el pase puede ser cerrado en ocasiones. Necesita una reconstrucción completa y/o nuevas alcantarillas.

Fuente: Manual PASER, traducido por el tesista.

2.6.3 Proceso de medición del PASER

Para realizar el proceso medición el manual PASER sugiere dividir la red de caminos en secciones⁷ de 800m a 1.6 Km, las cuales deben poseer características similares en construcción y condición, luego de esto se realiza el trabajo de campo el cual consiste en realizar una inspección visual de los tipos de fallas presentes a lo largo de la sección en estudio, para finalmente darle una calificación que concuerde con la tabla N°4.

Como se habrá notado luego de observar la tabla de calificaciones(ver tabla N°4), es muy difícil que una sección cumpla todos los requisitos para pertenecer a una calificación específica, pudiendo faltarle algunos tipos de falla o encontrarse entre dos tipos de calificación, es por esta razón que en este método es muy importante tener en cuenta la experiencia del ingeniero evaluador, ya que él cuenta con la experiencia necesaria para poder distinguir el estado real de la condición de superficie del camino.

Como se puede observar la metodología brindada por el manual PASER es a diferencia del manual URCI, una metodología no cuantitativa, ya que la calificación de la sección analizada se obtiene de manera visual, a grandes rasgos y a criterio del ingeniero evaluador. Sin embargo, presenta una gran ventaja respecto a la evaluación URCI, la cual es, la rapidez con la que se consigue el índice de calificación.

⁷ La metodología PASER menciona dividir directamente la red de caminos en secciones de 800m a 1.6Km, pero para un mejor orden y un mejor inventariado de información, se puede dividir la red de caminos en ramales y secciones, tal como lo indica el manual URCI.

2.7 GRADO DE POLVO(GP)

2.7.1 Definición

El Grado de Polvo es un Índice que emplea una metodología cualitativa diseñada por Jones y Pages-Green en el año 2000, el cual determina la intensidad de material particulado existente en una vía basándose en la pérdida de visibilidad que experimenta un conductor de una camioneta al circular por una vía por efectos del polvo, es preciso agregar también que debido a su carácter cualitativo su aplicación no es muy objetiva, ya que depende mucho de la apreciación del personal que realiza las observaciones

2.7.2 Fundamento Teórico

La metodología para determinar el Grado de polvo se fundamenta en la experiencia y necesidad de comparar distintos niveles de intensidad de emisión de polvo por parte de los autores, por esta razón y en su afán de poder uniformizar sus investigaciones idearon un cuadro de grados de polvo, donde a cada grado de polvo le corresponde una descripción particular, tal como se observa en la tabla N° 5.

Tabla N° 5 Tabla de Grados de Polvo.

GRADO	DESCRIPCIÓN
Grado 1	No hay perdida de visibilidad
Grado 3	Cierta pérdida de visibilidad sin disconformidad
Grado 5	Peligrosa pérdida de visibilidad, significativa disconformidad.

Fuente: Tesis de Grado “Estudio Teórico-Experimental de Demanda, Tecnología y Economía de Métodos para la Supresión de Polvo en caminos de la Región de los Ríos”, Andrés M. García Ruiz, 2012.

2.7.3 Proceso de medición del GP

Para su medición se emplea una camioneta, el cual se le hace circular por una unidad de muestra⁸ a una velocidad de 40Km/h, una vez terminado el recorrido el conductor del vehículo valora el grado de polvo observado de acuerdo con la descripción brindada en la tabla N° 5.

⁸ Jones y Pages- Green no mencionan una medida en particular para la unidad de muestra, por lo que se tomará como referencia la medida propuesta en e manual URCI.

2.8 PARAMETRO POLVO – URCI (PP – URCI)

2.8.1 Definición

El Parámetro Polvo - URCI es un tipo de falla que contempla el manual URCI, el mismo que fue diseñado por los Ingenieros Robert A. Eaton, el Senior Scientist Sídney Gerard y el Sr David W. Cate a finales de los años 80, el cual determina la intensidad de material particulado existente en una vía basándose en la altura de polvo que genera una camioneta al circular a 40 Km/h.

2.8.2 Fundamento Teórico

El Parámetro Polvo - URCI se fundamenta en la medición de la altura de polvo que se genera al hacer circular una camioneta a 40 Km/h por una unidad de muestra⁹. La emisión de polvo vista en campo se puede clasificar como severidad leve (cuando la altura de polvo observada es menor que 0.91m), severidad Moderada (cuando la altura de polvo observada es mayor que 0.91 m, pero menor que 2.73 m), o Severidad Alta (cuando la altura de polvo observada es mayor que 2.73 m).

2.8.3 Proceso de medición del PP – URCI

Para su medición, el Reporte Especial 87-15(Manual URCI) contempla un método sencillo de aplicar, el cual consiste en manejar un vehículo(camioneta) a 25mph (40.2 Km/h) por la unidad de muestra, una vez terminado el recorrido se procede a medir la nube de polvo generado y con ello finalmente determinar el nivel de severidad al cual corresponde.

2.9 NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE POLVO(NCP)

2.9.1 Definición

El Nivel de Concentración de Polvo de un camino es un índice que mide de manera cuantitativa la cantidad de material particulado existente en un camino.

⁹ La unidad de muestra considerada en la medición del PP-URCI para una sección de estudio de 1.6 Km es aproximadamente de 30m, ver la descripción mostrada en el Sub Capítulo URCI.

2.9.2 Fundamento Teórico

El Nivel de Concentración de Polvo de un camino está regido por la cantidad de material particulado existente en la vía.

2.9.3 Proceso de medición de los NCP

Para la medición de los NCP se pueden emplear distintos tipos de metodologías, los cuales se clasifican como móviles y estáticos, los métodos móviles corresponden a los sistemas que van acoplados a un vehículo que transita por el tramo de estudio y van tomando muestras de aire cada cierto tiempo, dentro de estos los más usados actualmente son el Polvometro, Scamper y Dustmate, los métodos estáticos en cambio son sistemas dispuestos en el camino de tal manera que logren captar las partículas de polvo sedimentado, para esto se usan recipientes ubicados estratégicamente al costado del camino.

Uno de los métodos más usados actualmente, el cual es materia de aplicación en la presente Tesis, es el método móvil Dustmate, el cual fue diseñado por Juan Pablo Belloio con apoyado del DICTUC de la Pontificia Universidad Católica de Chile, dicho método utiliza un equipo portátil llamado “DUSTMATE” (Turnkey Instrument, ver figura N° 29), el cual contiene una bomba en su interior que permite obtener una muestra del aire circundante. El equipo cuenta además con un fotómetro láser que permite cuantificar el número y tamaño de las partículas en suspensión que posee el flujo de aire del volumen conocido entregado por la bomba, la cual aspira a 600 cc/min.



Figura N° 29 Equipo DUSTMATE

Fuente: Página Web de Turnkey Instruments Ltd.

Para realizar las mediciones se instala el aspirador en el parachoques trasero del vehículo, justo detrás de la rueda trasera (ver figura N° 30), de esta manera se puede obtener directamente la cantidad de polvo generado por la tracción del neumático con la capa de rodadura. El vehículo a medida que recorre el camino permite al equipo ir almacenando datos segundos a segundo del nivel de polvo en

cada punto. Una vez realizada la medición, el equipo se conecta al computador para poder transferir los datos obtenidos.

Este método presenta ventajas considerables respecto de otros métodos, dentro de las que destaca la medición de la concentración de polvo en cada punto del tramo evaluado, permitiendo identificar diferencias puntuales dentro del mismo, el bajo costo de aplicación entre otros.



Figura N° 30 Montaje del equipo DUSMATE.

Fuente: Elaboración propia

2.10 POLVO EN LOS CAMINOS NO PAVIMENTADOS

2.10.1 Introducción

Como se comentó en el capítulo anterior cerca del 84.9 % de las carreteras del Perú son no pavimentados, fuente SINAC-2014, es por esta razón que resulta primordial tocar el tema de problemas de polvo en caminos no pavimentados, ya que este problema es el pan de cada día en dichos caminos.

El polvo en los caminos no pavimentados se genera principalmente por la circulación de los vehículos y en una menor cantidad por el viento (siendo esto más importante en lugares donde el viento es predominante).

Los problemas generados por el polvo son diversos, estos pueden afectar a las viviendas aledañas, instalaciones industriales vecinas, dañar a los cultivos y generar enfermedades respiratorias en las personas y animales que se encuentran expuestas, además pueden ocasionar problemas de visibilidad en los

conductores, lo que se traduce en accidentes de tránsito y disminución de la velocidad, generando altos tiempos de movilidad y pérdidas económicas a la población.

2.10.2 Generación de polvo en los caminos no pavimentados.

El polvo en un camino no pavimentado se genera cuando la superficie de la capa de rodadura sufre un proceso de secado producto de la inclemencia del sol y la escasa de humedad de la zona, haciendo que las partículas finas pierdan su cohesión, lo que origina que se depositen en la superficie de manera suelta, facilitando su remoción, por lo que cualquier vehículo o fuerte viento puede removerlas fácilmente hacia la atmósfera.

La cantidad de polvo que se desprende va depender en gran medida del grado de compactación que tiene la capa de rodadura, siendo mayor en las que su compactación no ha sido la adecuada.

2.10.3 Problemas causados por el polvo en los caminos no pavimentados

En los caminos no pavimentados el polvo puede llegar a componer cerca del 40% del aire situado a lo largo del mismo¹⁰, por lo que resulta indiscutible abarcar este tema.

A continuación, se procederá a explicar algunos de los problemas generados por el polvo.

- Daños a los cultivos, lagos y ríos.

El polvo generado, en especial las PM 2.5 pueden viajar muchos kilómetros, llegando inclusive a cubrir las áreas de cultivo, lo cual puede originar la degradación en la calidad e incumplimiento de normativa de limpieza de productos frutales u hortalizas, aparición de plagas, etc.

Otra situación afectante sucede cuando las partículas de polvo, producto de la precipitación, se “lavan”, siendo depositadas muchas veces en ríos, arroyos y lagos, aumentando su turbidez modificando totalmente el ecosistema existente hay presente.

¹⁰ Porcentaje sacado de la tesis para optar el grado de magister titulado “Evaluación económica del control de polución y reconstrucción de la carpeta de rodadura en el camino industrial los bronces con supresores de polvo”, pág.10, Daniel I. Cavada Vera, Santiago de Chile – 2016.

- Problemas de visibilidad

Muchas veces el polvo generado se eleva sobre los 2.5m de altura (ver figura N° 31), obstruyendo así la visibilidad del conductor, por lo cual, el conductor se encuentra obligado a disminuir la velocidad del vehículo, generando un mayor tiempo de transporte lo que se resume en mayores costos. Por otro lado, esta afectación también puede ocasionar accidentes de tránsito, que muchas veces se resumen en pérdidas de vidas humanas.



Figura N° 31 Polvo elevado sobre los 2.5m, vista de la carretera San Gregorio – Socso antes de ser estabilizada con Bischofita.

Fuente: Elaboración propia

- Daños en la salud de las personas por exposición al polvo

Actualmente existen muchas investigaciones respecto a las posibles enfermedades que se originan debido al polvo, siendo las más peligrosas las ocasionadas por las partículas PM 2.5, ya que, al ser inhaladas, pueden alcanzar las zonas periféricas de los bronquiolos y alterar el intercambio pulmonar de gases.

Muchas de estas investigaciones, las cuales han sido realizadas por la OMS (Organización Mundial de la Salud), muestran como el nivel y tiempo de exposición con las PM (materias tipo partícula), producen problemas de salud a las personas que se encuentran inmersos en ellas, ya sea, a largo o corto plazo, pudiendo estas ser:

- ❖ Muerte prematura en personas con enfermedad cardíaca o pulmonar.
 - ❖ Ataques cardíacos no mortales.
 - ❖ Latido irregular del corazón.
 - ❖ Agravamiento del asma.
 - ❖ Disminución de la función pulmonar.
 - ❖ Aumento de síntomas respiratorios, tales como irritación de las vías respiratorias, tos, sibilancias y disminución de la función pulmonar, incluso en niños y adultos sanos.
- Normativa que regula los límites permisibles de exposición al polvo

Como medida de prevención la OMS brinda una tabla de valores límites de concentración de PM10 y PM 2.5, que no originen problemas de salud (Ver tabla N° 6).

Tabla N° 6 Valores límites de concentración de partículas PM 2.5 y PM 10.

PM 2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PERIODO PROMEDIO
10	Anual
25	24 horas

PM 10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PERIODO PROMEDIO
20	Anual
50	24 horas

Fuente: OMS, valores límites establecidos por la Directriz de la OMS del 2005.

El Perú también cuenta con una normativa de límites máximos de concentración de PM2.5 y PM10 (ver la tabla N° 7), estos se encuentran contemplados en el DECRETO SUPREMO N° 003-2017-MINAM

Tabla N° 7 Valores límites de concentración de partículas PM 2.5 y PM 10, para el caso peruano.

CONTAMINANTES	PERIODO	FORMA DEL ESTANDAR		MÉTODO DE ANÁLISIS
		VALOR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FORMATO	
PM-10	Anual	50	Media aritmética anual	Anual Separación Inercial / filtración (Gravimetría)
	24 h	100	No exceda más de tres veces al año	

CONTAMINANTES	PERIODO	FORMA DEL ESTANDAR		MÉTODO DE ANÁLISIS
		VALOR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FORMATO	
PM-2.5	Anual	25	Media aritmética anual	Anual Separación Inercial / filtración (Gravimetría)
	24 h	50	No exceda más de tres veces al año	

Fuente: DECRETO SUPREMO N° 074-2001-PCM

2.10.4 Tratamientos de mitigación de polvo para los caminos no pavimentados

Como se describió, el polvo presente en los caminos no pavimentados origina muchos problemas ya sea la salud o al medio ambiente, por ese motivo a lo largo de los años se ha buscado formas de poder mitigarla, encontrándose para ello tratamientos especiales, algunos de ellos son:

- ❖ Pavimentar los caminos, lo cual involucra una alta inversión de recursos económicos que puede no justificarse para caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito.
- ❖ Aplicar tratamientos superficiales asfálticos, los cuales se pueden considerar un pavimento más económico, pero también requiere una alta inversión de recursos.
- ❖ Mejorar las propiedades físicas y/o mecánicas del suelo o los agregados que conforman la capa de rodadura, mediante la utilización de la técnica de estabilización.
- ❖ Aplicación de Supresores de Polvo, dentro de estos se encuentra el CLORURO DE MAGNESIO HEXAHIDRATADO, ya sea como riego o estabilización.
- ❖ Implementar un adecuado programa de gestión y conservación de los caminos no pavimentados, para restablecer periódicamente su nivel de servicio.

2.10.5 Beneficios que brinda la mitigación de polvo en los caminos no pavimentados

La mitigación de polvo en los caminos no pavimentados trae consigo muchos beneficios para el usuario. Como ejemplo de esto, podríamos señalar lo expuesto por las Directrices de la OMS, las cuales señalan que mediante la reducción de la contaminación con partículas (PM10) de 70 a 20 microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) es posible reducir en un 15% el número de defunciones relacionadas con

la contaminación del aire. También se debe mencionar que una reducción considerable de emisión de polvo en las carreteras no pavimentadas implica que el camino no está perdiendo material fino, material que es el encargado de mantener unidas las partículas gruesas, prolongando así el tiempo de vida del camino, lo que conlleva a una reducción de requerimientos de materiales pétreos en mantenimientos, por ende, se reducen la necesidad de explotación de canteras y los problemas medioambientales que estos conllevan. Finalmente se debe mencionar que una reducción de la emisión de polvo en los caminos no pavimentados mejora notoriamente la transitabilidad, ya que los conductores no tienen que disminuir su velocidad o incluso detenerse hasta esperar que se despeje el polvo del camino.

2.11 CLORURO DE MAGNESIO HEXAHIDRATADO COMO ADITIVO ESTABILIZADOR DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS.

2.11.1 Cloruro de Magnesio Hexahidratado

El Cloruro de Magnesio Hexahidratado ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) es un cloruro en forma de cristales de color blanco, conocida también bajo su nombre químico de bischofita, su composición química está constituida por 10.5 % de Mg, 33.5 % de Cl, 52 % de H_2O y otros (Dr. Guillermo Thenoux, 2002, Chile).

El Cloruro de Magnesio Hexahidratado tiene como lugar principal de producción a nivel de Sudamérica el “Salar de Atacama”, ubicada en la II Región de Chile, su producción consiste en extraer del subsuelo de este, por medio de bombeo, una salmuera muy rica en diversos componentes minerales, que luego es depositado en piscinas de evaporación y sometido a procesos de evaporación por acción solar, siendo el Cloruro de Magnesio una de las sales que precipitan en el proceso. En los caminos no pavimentados el Cloruro de Magnesio Hexahidratado tiene una alta aplicabilidad, ya que debido a sus propiedades esta puede ser empleada como supresor de polvo o como estabilizador de capas de rodaduras, mostrando en ambos casos ser un eficaz tratamiento para la mitigación de polvo (Ing. Waldemar Pablo, 2008, Chile), no está demás mencionar que dicha sal ha mostrado tener un alto rendimiento, tanto a nivel funcional como estructural en los caminos no pavimentados ubicados en climas áridos y semiáridos, esto según la experiencia del Dr. Guillermo Thenoux.

Para finalizar es preciso mencionar que el Perú en estos últimos años ha ido apostando por la aplicación de esta sal, ya sea como supresor de polvo o

estabilizador de capas de rodaduras, tal es el caso de la vía acceso a Caral, el cual ha sido estudiada por el Magister Pablo Anticona en su estudio “Innovación metodológica para evaluar superficie estabilizada con cloruro de magnesio aplicación vía de acceso a Caral(Km 05+000-Km15+000)”, donde concluye que la vía de acceso a Caral ha presentado un buen comportamiento durante los dos primeros años y se estima un buen comportamiento para unos dos años más, sin embargo también menciona que ha habido tramos de esta vía que han fallado a los dos años, estableciéndose su causa principal a un mal proceso constructivo.

2.11.2 Propiedades del Cloruro de Magnesio Hexahidratado

El Cloruro de Magnesio Hexahidratado tiene muchas propiedades importantes, que la hacen idónea para su empleo como supresor de polvo y estabilizador, a continuación, se procederá a explicar algunas de estas.

- Delicuescencia

Propiedad del Cloruro de Magnesio Hexahidratado que “consiste en absorber la humedad del aire y disolverse en esta humedad para formar una solución líquida. El Cloruro de Magnesio Hexahidratado 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 la atmosfera. Además, tiene la capacidad de retener la humedad absorbida por un tiempo prolongado, el cual depende de la condición climática prevaleciente” (Dr. Guillermo Thenoux, 2002, Chile).

- Presión de Vapor

Una solución de salmuera tiene menor presión de vapor que el agua, con ella se puede reducir la tasa de evaporación del agua hasta en 3.1 veces (Dr. Guillermo Thenoux, 2002, Chile).

- Incremento de la tensión superficial

La adición del $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ al agua permite incrementar la tensión superficial del agua hasta en un 40 % (Dr. Guillermo Thenoux, 2002, Chile).

- Temperatura de congelamiento

La temperatura de congelamiento de soluciones salinas es significativamente menor que la del agua, por ende, es ampliamente utilizada en carreteras para derretir el hielo y la nieve.

- Aglomeración de partículas finas
 - ❖ En capas de rodadura compuesto por materiales no plásticos o de baja plasticidad

En estas capas 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 del suelo es como un “Puente elástico” que une las partículas adyacentes, al agregar bischofita al suelo hace que mejore la resistencia del “Puente Elástico”, ayudando a mantener las partículas e incrementando la resistencia al corte. (Dr. Guillermo Thenoux, 2002, Chile).

- ❖ En capas de rodadura compuesta por materiales de alta plasticidad

En este tipo de capas la aglomeración de partículas se produce por un 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 y la repulsión entre 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. (Dr. Guillermo Thenoux, 2002, Chile).

2.11.3 Recomendaciones para la aplicación de Cloruro de magnesio

El Dr. Guillermo Thenoux en su estudio de Evaluación de la Efectividad del Cloruro de Magnesio Hexahidratado como aditivo estabilizador concluye lo siguiente:

De acuerdo con los ensayos de laboratorio de resistencia a la compresión no confinada, la dosis optima de bischofita se encuentran entre el 3% - 5%, siendo una dosis cercana al 5% la que mejor resultado muestra para suelos no plásticos (independiente de la cantidad de finos) y una dosis cercana al 3% para suelos plásticos. También mencionan que no existe una relación clara entre porcentaje

de finos y concentración de bischofita para suelos plásticos, pero si recomienda una relación de dosis de bischofita en función del I.P (ver tabla N° 8).

Respecto a los límites de Atterberg mencionan que el LL máx. no debe ser superior a 35%, el IP máx. para climas muy áridos no debe ser superior al 15% y el IP máx. para climas húmedos no debe ser superior al 6%.

Respecto a la granulometría nos recomiendan un uso granulométrico, el cual viene expresado en la tabla N° 9.

Tabla N° 8 Relación de dosis de Bischofita en función del IP

IP	DOSIS DE BISCHOFITA
NP – 3	4% - 5%
4-8	3% - 5%
9-15	3% - 4%

Fuente: Evaluación de la efectividad del Cloruro de Magnesio Hexahidratado como aditivo estabilizador (Dr. Guillermo Thenoux, 2002, Chile).

Tabla N° 9 Granulometría recomendada por Thenoux

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
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: Evaluación de la efectividad del Cloruro de Magnesio Hexahidratado como aditivo estabilizador (Dr. Guillermo Thenoux, 2002, Chile).

El Documento Técnico de Soluciones Básicas en carreteras no pavimentadas, aprobado por RD N°024-2014-MTC/14, brinda criterios, procedimientos y especificaciones técnicas que deben emplearse para el diseño de las soluciones

básicas, tal es el caso del Cloruro de Magnesio Hexahidratado, en ella se establece que la capa de rodadura estabilizada con esta sal debe tener un CBR mínimo de 100% en condiciones no saturadas, en lo que respecta al grado de compactación se tendrá que compactar siempre al 100% de la MDS, también se especifica que su uso es solo aplicable en zonas de la costa peruana cuyas altitudes no superen los 500 msnm, los suelos aplicables según el presente documento pueden ser suelos granulares de nula o baja plasticidad(Clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A5), finalmente en lo que respecta a subrasante y proceso constructivo se deben cumplir los requisitos mínimos establecidos en los manuales de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción(EG-2013) y Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – sección Suelos y Pavimentos.

En lo que respecta a la determinación de la dosificación, el manual de Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción(EG-2013), mencionada que la cantidad de cloruro de magnesio necesario para el diseño puede variar entre 50 y 80 Kg/m³ de suelo seco a estabilizar, no obstante, la cantidad adecuada de cloruro de magnesio se definirá en función a las características propias de los materiales y los ensayos CBR ejecutados mediante la norma ASTM D – 1883, y teniendo en cuenta los resultados que se obtenga en el tramo de prueba. El manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – sección Suelos y Pavimentos, por otro lado recomienda emplear dos tipos de dosificaciones, el primero para tratamientos supresores de polvo, para ello recomienda emplear una solución de salmuera cuya proporción en peso del Cloruro de Magnesio respecto del agua sea de 1.5:1, regando 4l/m² la superficie, pudiendo variar la dosis en función a la geometría del camino, tránsito futuro y el porcentaje de finos, adicional a ello recomienda que la superficie a aplicar debe ser previamente preparada, humedecida, compactada y estar libre de polvo, de preferencia también recomienda que el material a aplicar contenga entre el 10% y 20% de materiales finos de ser plásticos mejor y al menos un 20 % con material granular con tamaño superior a 10mm, para asegurar el mínimo de estabilidad estructural. Para el segundo caso, como estabilizador superficial, recomienda emplear una proporción entre 3% y 5 % de peso de suelo seco, dependiendo del índice de plasticidad, a mayor plasticidad mayor será el porcentaje requerido.

2.11.4 Características de las capas de rodadura estabilizadas con Cloruro de Magnesio Hexahidratado

De la experiencia recopilada por varios autores respecto a la evaluación del comportamiento de los caminos estabilizados con cloruro de Magnesio Hexahidratado, tal es el caso del Ing. Manuel Bustos (Argentina, 2009), Ing. Waldemar Pablo (Chile, 2008), Dr. Guillermo Thenoux (Chile, 2002) y otros, se desprende lo siguiente:

- En las carreteras estabilizadas bajo condiciones de baja humedad relativa, generalmente en la tarde en zonas de climas áridos, se produce la cristalización del Cloruro de Magnesio en la fracción superior de la superficie de rodado, cementando las partículas finas. Esto forma una costra dura que resiste la acción de abrasión del tránsito, y, como consecuencia se reduce la tasa de deterioro y mejora la calidad de rodadura.
- Una carretera estabilizada absorbe humedad del ambiente, y esta humedad es retenida durante un tiempo que depende exclusivamente de las condiciones climáticas, de este modo evita la pérdida de partículas finas de polvo y posteriormente la pérdida de partículas más gruesas.
- La estabilización de la capa de rodadura de un camino trae como consecuencia un camino libre de polvo, reduce la presencia de encalaminados, baches, pérdida de material y ahuellamientos.
- Los autores mencionan que de todas las carreteras evaluadas ninguno de ellos presentaba problemas de polvo, verificando así su eficacia como supresor de polvo.
- Un tipo de falla que se observa en las capas de rodadura conformados por arcilla es que para vías ubicadas en lugares donde la precipitación máxima anual supera los 40mm, cada vez que ocurre la precipitación se empieza a formar en la superficie una cápita de 10 mm de espesor saturados con agua, el cual es fácilmente removido por la tracción generada por los neumáticos de los vehículos, sin embargo, aun así, la precipitación no compromete la estabilidad de la estructura.

- Otro punto importante que se debe mencionar es que muchas de las carreteras evaluadas, por los autores mencionados, presentaron un comportamiento excelente durante los dos primeros años sin necesidad de algún tipo de mantenimiento periódico, luego de esto se tuvieron que hacer mantenimientos periódicos, que consistieron principalmente en escarificar ligeramente la capa de rodadura, reponer con material granular de afirmado mezclado con una solución de salmuera hasta volver a recuperar el espesor perdido y regar con una solución de salmuera toda la vía para volver a las condiciones iniciales. Por otra parte, los autores mencionan también que se observaron algunas carreteras estabilizadas donde la falla se presentó al año, luego de realizar la investigación respectiva concluyeron que la falla se debió a un proceso constructivo poco controlado (falta de control en la dosificación de bischofita, homogenización de suelos, compactación y otros).

2.11.5 Propiedades de los suelos estabilizados con Cloruro de Magnesio Hexahidratado.

De la investigación realizada por el Dr. Guillermo Thenoux se desprende lo siguiente:

Para muestras cuyo índice de plasticidad se encuentran entre 6 y 11 no se aprecian cambios significativos en sus límites de Atterberg. Esto se debe a que la cantidad de arcilla y su plasticidad no son suficientes para que se produzca intercambio de IONES.

Respecto a la compactación se menciona que un incremento en la dosis de Bischofita trae consigo un aumento de la máxima densidad seca (Varía entre 0.8% y 5.4%) y una reducción del contenido óptimo de humedad.

Respecto a la resistencia a la compresión no confinada (CNC), se menciona que se observa un incremento de la CNC para un cierto contenido de Cloruro de Magnesio, sin embargo, no se distingue una relación clara entre la magnitud del incremento y las propiedades del suelo, también se observó que existe poca variabilidad en la resistencia a la CNC, para distintas dosis, en especial para dosis comprendidas entre 3% y 5% del peso de la bischofita respecto del suelo seco.

Para finalizar demuestran que un suelo tratado con bischofita presenta un mayor contenido de humedad respecto a un suelo sin tratar.

2.11.6 Efectos negativos a la salud de las personas y problemas medioambientales que puede ocasionar el Cloruro de Magnesio Hexahidratado.

Como se mencionó anteriormente la aplicación de Cloruro de Magnesio Hexahidratado en caminos no pavimentados muestran resultados muy alentadores, además es preciso indicar que el $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ es considerado totalmente seguro y ha sido probado por la Agencia de Protección Ambiental y Servicio Forestal de los Estados Unidos, lo cual lo hace idóneo para ser aplicado, sin embargo, la exposición prolongada o el mal manejo del Cloruro de Magnesio, puede afectar tanto la salud del hombre como al medio ambiente, por lo que a continuación se mencionará los efectos los efectos negativos que se pueden generar:

- Efectos negativos a la salud de las personas, por exposición al Cloruro de Magnesio¹¹:
- ❖ 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)

¹¹ SALMAG. Hoja de Seguridad de Bischofita; pág. 2.

- ❖ 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.
- Problemas medioambientales que puede ocasionar el Cloruro de Magnesio Hexahidratado ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$):
 - ❖ El Cloruro de Magnesio es estable al medio ambiente, sin embargo, verter accidentalmente grandes cantidades de esta sal cerca de acuíferos, ríos, lagos, etc. podría incrementar la salinidad de cuerpos de agua (alterando temporalmente su equilibrio natural), lo cual se vería reflejado en el deterioro de la flora y fauna que se alimentan de esas aguas, por otro lado si estos vertimientos se dieran en suelos de cultivo alterarían el desarrollo natural de la vegetación, provocando la salinización de los mismos. (Tesis de grado, Carlos A. Gutiérrez, Perú- 2010).
 - ❖ El Cloruro de Magnesio bajo ningún motivo debe ser quemado, ya que calentarlos a temperatura comprendidas entre $116^{\circ}C$ - $118^{\circ}C$ conlleva a que se liberen vapores corrosivos de HCl y compuestos de magnesio y si se calentase a temperaturas sobre los $300^{\circ}C$ harían que se liberen humos tóxicos de gas de Cloro. (Tesis de grado, Carlos A. Gutiérrez, Perú- 2010).

2.11.7 Ventajas y desventajas observadas al estabilizar una capa de rodadura con Cloruro de Magnesio Hexahidratado.

- Ventajas
 - ❖ Es un excelente aditivo supresor de polvo, lo cual evita el mantenimiento tradicional de riego de agua, esto se expresa en ahorro de agua, disminución de personal y equipo encargados para esa labor.
 - ❖ Luego de la estabilización, se procede al riego de sello con salmuera, lo cual genera una película de finos mezclado con sal cristalizada muy resistente a la abrasión de los vehículos.
 - ❖ Los caminos estabilizados han mostrado un comportamiento satisfactorio durante dos años, sin necesidad de realizar mantenimientos periódicos costosos, más luego de este tiempo se recomienda el uso de mantenimientos periódicos para su excelente conservación.

- ❖ En zonas donde el tráfico vehicular es alto, el camino estabilizado tiende a tornarse del color del caucho, por lo que le da un aspecto similar a una carretera pavimentada e inclusive es posible su pintado.
- ❖ El proceso constructivo del camino estabilizado con bischofita es parecido al proceso constructivo tradicional (Afirmado), por ende, no requiere grandes costos extras en construcción.
- ❖ Durante el proceso constructivo se observó una mejor trabajabilidad del material granular, esto debido al aumento de la tensión superficial del agua luego de mezclarlo con $MgCl_2 \cdot 6H_2O$.
- ❖ Se obtienen menores números de pasadas de la maquina compactadora y una menor cantidad de agua, esto debido a que el $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ disminuye la humedad de compactación y aumenta la densidad seca de compactación de las capas de rodadura.
- ❖ En climas fríos evita la formación de hielo, esto debido a que el $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ disminuye el punto de congelamiento del agua.
- ❖ En caminos estabilizados con una adecuada calidad de operador de la motoniveladora se han obtenido valores de IRI entre 3 y 4 (Excelente Funcionalidad)
- Desventajas
 - ❖ En zonas lluviosas la superficie de la capa de rodadura se torna resbaladiza esto debido a la capacidad de retención de humedad que tiene la bischofita, impidiendo así su aplicación para zonas lluviosas con alta pendiente.
 - ❖ Se ha observado corrosión de vehículos, infraestructura vial y hormigón, sin embargo, es menos corrosiva que el Cloruro de Magnesio.
 - ❖ Si no se tiene en cuenta las normativas de seguridad e higiene industrial y medio ambiente en el proceso constructivo, se pueden generar problemas medioambientales, tales como salinización de los suelos, lagos, ríos, napas freáticas, etc.; también pudiesen generar daños en la salud de las personas, tales como irritación a los ojos, daños a la piel, intoxicación, etc.
 - ❖ Si bien el mantenimiento periódico se debe realizar cada 2 o 3 años, es necesario realizar un riego anual con una salmuera, cuya proporción en peso del Cloruro de Magnesio respecto del agua sea de 1.5:1 hasta regar $4l/m^2$ de superficie de rodadura, recomendación de la empresa LIPLATA, de modo que permita restituir el lavado de sal producto de las precipitaciones.

CAPITULO III : DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO



CAPITULO III : DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

3.1 GENERALIDADES

El presente capítulo versa acerca de la población de estudio, desarrollando los siguientes puntos:

- ❖ Aspectos generales. - Se describe algunos aspectos generales de la población, tramo II (Km 03+500 – Km 24+680) del camino vecinal San Gregorio – Socso; tales como los antecedentes y objetivos que conllevaron a la concepción del proyecto, los contratos más importantes que se firmaron para su estudio y ejecución, su ubicación geográfica, altitud y otros.
- ❖ Características técnicas. – Se realiza un resumen de las características técnicas de la población, lo cual comprende los estudios básicos de ingeniería tales como: el estudio de caracterización climática, estudio hidrológico, estudio de tráfico, diseño de pavimento, etc.
- ❖ Proceso constructivo. – Se describe detalladamente el proceso constructivo empleado en la población, para ello previamente se realiza una descripción de las canteras y fuentes de agua, luego una descripción de las áreas de producción y el método empleado para el transporte de material de afirmado y finalmente se procede a describir el proceso constructivo empleado en la conformación del camino, el cual se realizó cumpliendo las especificaciones técnicas propuestas en los estudios básicos de ingeniería y las Especificaciones Técnicas del Manual de Carreteras EG-2013. .

3.2 ASPECTOS GENERALES DEL TRAMO II (KM 03+500 – KM 24+680) DEL CAMINO VECINAL SAN GREGORIO- SOCSO.

3.2.1 Antecedentes

El camino vecinal San Gregorio – Socso (L=24.68 Km), tramo I y tramo II; constituye la única opción de intercomunicación vial entre las unidades productivas y los asentamientos humanos dispersos a lo largo de la parte baja del valle del río Camaná, constituyendo por tanto el principal elemento articulador y dinamizador de la economía local.

La propuesta de rehabilitar el camino vecinal San Gregorio-Socso nació como consecuencia de las propuestas de las autoridades locales y del análisis de prioridad, en función a los indicadores técnicos sociales y económicos, desarrollado en el taller de infraestructura vial para caminos vecinales y de herradura, convocado por PROVIAS DESCENTRALIZADO, el cual estuvo

enmarcado dentro del Programa Sectorial de Transporte Rural Descentralizado (PTRD) el mismo que cuenta con financiamiento de recursos del Banco Mundial, del Banco Interamericano de Desarrollo y de la correspondiente partida nacional. A continuación, mostraremos el historial de los contratos más importantes que se firmaron para la rehabilitación del camino vecinal San Gregorio – Socso.

- ❖ La empresa CONSORCIO CONSULTORES ASOCIADOS, suscribió el Contrato 174-2011-MTC/21 con PROVIAS DESCENTRALIZADO, con el cual se encargó de elaborar el expediente técnico del proyecto “REHABILITACIÓN DEL CAMINO VECINAL: SAN GREGORIO - SOCSO (Long. = 24.680 km)”.
- ❖ El CONSORCIO NAZARENO, suscribió el Contrato 237-2013-MTC/21 con PROVIAS DESCENTRALIZADO, con el cual se encargó de realizar la ejecución de la obra “REHABILITACIÓN DEL CAMINO VECINAL: SAN GREGORIO - SOCSO (Long. = 24.680 km)”.
- ❖ El CONSORCIO VÍAS CAMANÁ, el cual está conformado por FYNSA INGENIEROS S.A.C (50% de participación) y CARLOS ALBERTO BURGA RIVAS PLATA (50% de participación), suscribió el Contrato 239-2013-MTC/21 con PROVIAS DESCENTRALIZADO, con el cual se encargó de realizar la supervisión externa de la obra “REHABILITACIÓN DEL CAMINO VECINAL: SAN GREGORIO - SOCSO (Long. = 24.680 km)”.

3.2.2 Ubicación geográfica, altitud y accesibilidad.

- Ubicación geográfica

El tramo II (Km 03+500 – Km 24+680) del camino vecinal San Gregorio – Socso se encuentra ubicado en la región de Arequipa, provincia de Camaná, jurisdicciones distritales de Nicolás de Piérola (ver figura N° 32), su longitud se desarrolla a lo largo de la margen derecha del río Camaná, emplazándose mayormente a media ladera por los cerros que limitan el valle, las coordenadas UTM de los puntos de inicio y fin se encuentran especificados en la Tabla N° 10.

Tabla N° 10 Coordenadas UTM de los puntos de Inicio y fin del tramo II del camino vecinal San Gregorio – Socso

INICIO - FIN		PROGRESIVAS	ESTE (m)	NORTE (m)	ALTITUD (msnm)
INICIO	Localidad de San Gregorio	Km 03+500	744 986	8 168 731	94
FIN	Localidad de Socso	Km 24+680	760 946	8 177 179	197

Fuente: Elaboración propia

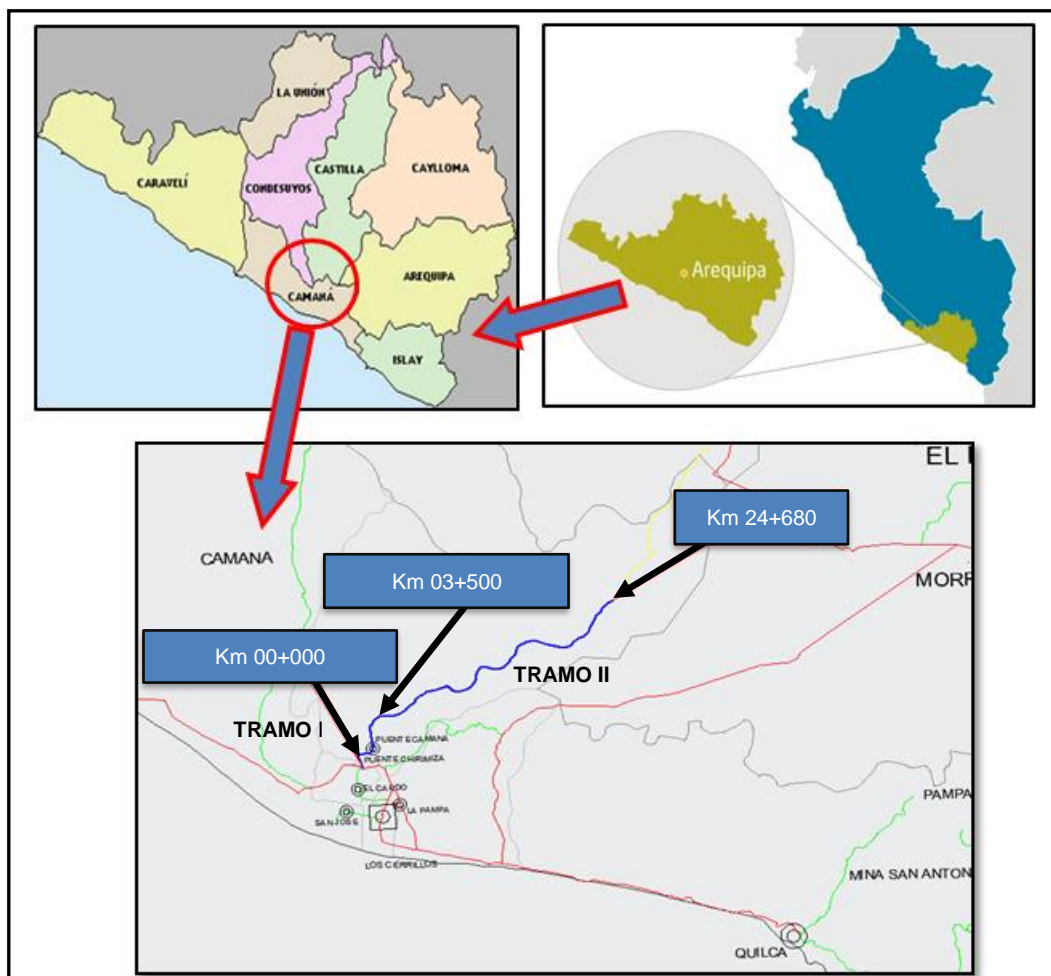


Figura N° 32 Ubicación geográfica del tramo II del camino vecinal San Gregorio - Socso

Fuente: Elaboración propia

- Altitud.

El tramo II del camino vecinal San Gregorio – Socso presenta altitudes de 94 y 197 m.s.n.m. aprox., en el inicio y fin del tramo respectivamente.

- Accesibilidad

El tramo II comienza en el km03+500 y finaliza en el km 24+680 del camino vecinal San Gregorio – Socso, ver figura N°32, para acceder a ella se debe tomar la Carretera Panamericana sur hasta llegar al km 842+000, luego se debe continuar por el camino que intercepta a la Panamericana hasta llegar al km 00+000 del camino vecinal San Gregorio – Socso, finalmente se debe continuar con el recorrido hasta empalmar en el km 03+500.

3.2.3 Descripción general.

La rehabilitación del camino vecinal San Gregorio – Socso fue culminado el 22/07/2014, teniendo como contratista encargado de la ejecución al CONSORCIO NAZARENO. El tramo II comprende una longitud de 21.18 Km y pertenece a la Red Vial Vecinal o Rural, se caracteriza por presentar una geografía accidentada, poseer un clima húmedo y semicálido, tener un ancho de calzada en promedio de 3.5m y contar actualmente con una capa de rodadura estabilizada con Cloruro de Magnesio Hexahidratado de 20 cm de espesor.

3.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL TRAMO II (KM 03+500 – KM 24+680) DEL CAMINO VECINAL SAN GREGORIO- SOCSO.

3.3.1 Estudio de caracterización climática

La caracterización climática de una zona de estudio comprende básicamente el análisis de las variables climatológicas como son la temperatura, precipitación, humedad relativa, evaporación, brillo solar, radiación, velocidad y dirección del viento, con énfasis en los datos medios, máximos y mínimos, sin embargo cuando la zona de estudio comprende un camino estabilizado con Cloruro de Magnesio Hexahidratado, se puede hacer una reducción de estas variables, analizando principalmente las que influyen en el comportamiento del pavimento, ya sea afectando su resistencia, durabilidad o capacidad de carga del sistema estructural, los cuales son la temperatura, precipitación y humedad relativa, por lo que en el presente subcapítulo se priorizará el análisis de estos.

- Temperatura y humedad relativa

Para el análisis de las variables temperatura y humedad relativa se ha considerado la estación meteorológica de Camaná, estación del SENAMHI, la que fue seleccionada por estar cerca de la zona en estudio. Dicha estación cuenta con información de temperatura máx. y min registradas desde el 2013 hasta el 2017, además cuenta con información de temperaturas de bulbo seco y húmedo, los cuales permiten por medio de las fórmulas de Ferrel y Carrier obtener la humedad relativa de la zona. La tabla N° 11 muestra la ubicación, altitud y periodo de registro de la estación Camaná.

Tabla N° 11 Ubicación, altitud y periodo de registro de la estación Camaná

TIPO	ENTIDAD	UBICACIÓN		ALTITUD m.s.n.m	PROV.	DPTO.	PERIODO DE REGISTRO
		LAT.	LONG.				
Meteorológica	SENAMHI	16° 38' "S"	72° 42' "W"	50	Camaná	Arequipa	2013-2017

Fuente: Elaboración propia

Del análisis de la información meteorológica de la estación Camaná se desprende que el camino vecinal San Gregorio – Socso presenta temperaturas medias anuales que varían entre 17° y 19° C, además presentan temperaturas medias anuales máximas (en el verano) y mínimas (en el invierno) de 27. 5° C y 11. 1° C respectivamente.

En lo que concierne a humedad relativa la estación de Camaná presenta una humedad relativa media anual de 79%, lo cual permite que la superficie de la vía se encuentre permanente húmedo.

De lo mencionado anteriormente y en complemento con el mapa climático nacional brindado por el SENAMHI, podemos concluir que el camino en estudio se encuentra en un clima húmedo y semicálido.

- Precipitación

Para el estudio de precipitación se ha considerado la estación pluviométrica Hacienda Pampata, estación del SENAMHI, cuyas características de ubicación y periodo de registro se muestra en la tabla N°12, esta estación fue seleccionado por encontrarse cerca de la zona de estudio. La información pluviométrica utilizada fue referente a registros de precipitación máxima en 24 horas durante los años 1964-1981, tal como se indica en la tabla N°13, estos registros también se pueden visualizar gráficamente en el hietograma de precipitaciones Max. 24h de la figura N°33.

Tabla N° 12 Ubicación, altitud y periodo de registro de la estación Hacienda Pampata

TIPO	ENTIDAD	UBICACIÓN		ALTITUD m.s.n.m	PROV.	DPTO.	PERIODO DE REGISTRO
		LAT.	LONG.				
Pluviométrica	SENAMHI	16° 33' "S"	72° 42' "W"	100	Camaná	Arequipa	1964-1981

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13 Serie histórica de precipitaciones máximas en 24 horas estación Hacienda Pampata

REGISTRO HISTÓRICO DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA		
n	Años de registro	Precipitación
		Max. Anual
1	1964	0
2	1965	1.8
3	1966	3.3
4	1967	7.3
5	1968	0.8
6	1969	0.3
7	1970	0.0
8	1971	0.0
9	1972	0.0
10	1973	1.8
11	1974	1.3
12	1975	0.9
13	1976	2.2
14	1977	0.0
15	1978	0.0
16	1979	1.1
17	1980	0.0
18	1981	0.0

Fuente: Elaboración propia

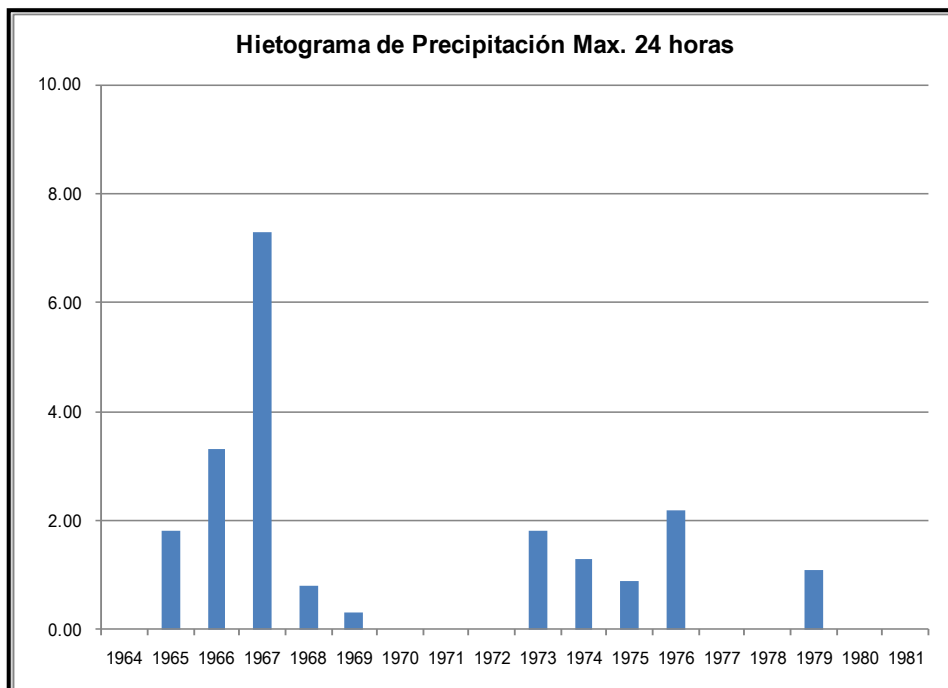


Figura N° 33 Hietograma de precipitación max.24 horas, estación Hacienda Pampata

Fuente: Elaboración propia

Del análisis de la información pluviométrica de la estación Hacienda Pampata, se desprende que la zona de estudio presenta niveles muy bajos de precipitación, por lo que se verifica lo mencionado en el mapa climático nacional brindado por el SENAMHI, que considera a esta zona como árida.

Como conclusión principal de este estudio se desprende que la zona analizada resulta idónea para la aplicación de cloruro de magnesio, puesto que no va presentar problemas de lavado de sales de la superficie del camino, ni problemas de resbalamiento por acumulación de agua excesiva en la superficie.

3.3.2 Estudio Hidrológico

Del estudio de hidrología realizado por el CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS, para la rehabilitación del camino vecinal San Gregorio – Socso, se concluye que la abstracción inicial o pérdida inicial de lluvia es superior a la precipitación máxima para un periodo de retorno de 50 años, lo cual indica que no ocurrirá escorrentía superficial, siendo nulo el exceso de precipitación o escorrentía directa, por este motivo no se ha considerado obras de arte ni cunetas a lo largo del camino y se ha adoptado para el drenaje de la superficie de rodadura, sustituir el bombeo por una inclinación transversal de la superficie de rodadura hacia el lado externo de la calzada.

3.3.3 Estudio de tráfico

Del estudio de tráfico realizado por el CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS, para la rehabilitación del camino vecinal San Gregorio – Socso, se concluye que el tramo II presenta un IMDa de 99 veh/día, tal como se muestra en la tabla N°14, siendo los autos y camiones de dos ejes los que predominan, 20% y 22% del total de vehículos que pasan a diario respectivamente. Dicha medición fue realizada del 17 al 23 de diciembre del 2011, teniendo como estación de conteo la estación Pampata – Socso, también es preciso agregar que con las mediciones realizadas en dicho estudio se elaboró una tabla resumen del tráfico proyectado del 2011 al 2021, ver tabla N°15, obteniéndose tráfico de 99 y 129 respectivamente.

Tabla N° 14 Estación de conteo Pampata – Socso, IMD corregido (Veh / día)

TIPO DE VEHÍCULOS	IMDA	DISTRIB. %
Autos	22	22.2%
Satation Wagon	6	6.1%
Camioneta Pick Up	31	31.3%
Panel	2	2.0%
Rural (Combi)	5	5.1%
Micro	3	3.0%
Ómnibus 2E y 3E	7	7.1%
Camión 2E	20	20.2%
Camión 3E	3	3.0%
Camión 4E	0	0.0%
Semi trayler	0	0.0%
Trayler	0	0.0%
TOTAL, IMD	99	100.0%

Fuente: CONSORCIO CONSULTORES ASOCIADOS

Tabla N° 15 Proyección del tráfico al año 2021, estación Pampata - Socso

AÑO	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
TRAFICO NORMAL	99	100	102	103	104	107	108	110	112	115	117
Autos	22	22	22	23	23	23	23	24	24	24	24
Satation Wagon	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7
Camioneta Pick Up	31	31	32	32	32	33	33	33	33	34	34
Panel	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Rural (Combi)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6
Micro	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Omnibus 2E y 3E	7	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8
Camión 2E	20	21	22	22	23	24	25	26	27	28	29
Camión 3E	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
Camión 4E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Semi trayler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trayler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRÁFICO GENERADO	0	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12
Autos	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Satation Wagon	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Camioneta Pick Up	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Panel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rural (Combi)	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Micro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Omnibus 2E y 3E	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Camión 2E	0	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Camión 3E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Camión 4E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Semi trayler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trayler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	99	110	112	113	114	118	119	121	123	127	129

Fuente: CONSORCIO CONSULTORES ASOCIADOS

3.3.4 Estudio de diseño geométrico

Del estudio de diseño geométrico realizado por el CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS, para la rehabilitación del camino vecinal San Gregorio – Socso, se concluye que el tramo II, presenta las siguientes características geométricas de diseño, ver tabla N° 16.

Tabla N° 16 Resumen de las características geométricas de diseño del tramo II del camino vecinal San Gregorio – Socso

CARACTERÍSTICAS GEOMETRICAS	
Longitud	21.18 km
Clasificación por su IMDA	Tipo 3, de Bajo Volumen de Tránsito
Clasificación por su función	Carreteras de la Red Vial Vecinal o Rural del departamento de Arequipa.
Clasificación por el tipo de relieve	Accidentada
Clasificación por el tipo de clima	Carretera en zona seca (costa)
Clasificación por el tipo de obra por ejecutarse	Rehabilitación de 21+180 km
Velocidad de diseño	30 km/h
Radio mínimo	35 m
Ancho de calzada	3.50 m
Ancho de plataforma	3.95 m
Pendiente longitudinal Máxima	9%; excepcional máxima -13.77%
Pendiente longitudinal mínima	0.5%; excepcional máxima -0.018%
Bombeo	3%
Espesor de afirmado estabilizado	0.20 m
Taludes de corte	Material suelto(V:H) 1 : 1 Roca suelta(V:H) 4 : 1 Roca fija(V:H) 10 : 1

Fuente: CONSORCIO CONSULTORES ASOCIADOS

3.3.5 Estudio geológico y geotécnico.

Del estudio geológico y geotécnico realizado por el CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS, para la rehabilitación del camino vecinal San Gregorio – Socso, se concluye que el tramo II, se encuentra dentro de un gigantesco abanico aluvional que viene a ser la culminación de una extensa

cuenca que incluye a los ríos Colca y Majes, dentro de la cual se pueden observar rocas metamórficas, sedimentarias e intrusivas.

Se concluye, que hay presencia de rocas de origen marino, entre las que se encuentran las areniscas, limonitas y arcillas conocidas como Formación Camaná y Paracas, otras son de origen continental correspondiente a la Formación Moquegua que contienen depósitos clásticos.

Los depósitos cuaternarios se encuentran en un área muy dispersa, formando terrazas marinas, lavas volcánicas, tufos, arenas eólicas, limos, depósitos recientes como son: gravas y arenas fluviales de espesores variables.

Las rocas ígneas intrusivas Post-Paleozoicas afloran como un stock de granito o granodiorita y otras masas filonianas, y están constituidas por dacitas, andesitas y diabasas.

La geodinámica externa se caracteriza por presentar intensos procesos erosivos, asociados a fenómenos de flujos aluviónicos por las quebradas, derrumbes antiguos y caída de bloques de rocas (principalmente de material intrusivo disturbado) ya sea por gravedad o a la ocurrencia de sismos.

Del análisis de historial sísmico regional, se concluye, que la zona de estudio es una zona altamente sísmica.

Del análisis de estabilidad de taludes realizado en la zona de estudio, se concluye, que los cortes están de acuerdo a la naturaleza del suelo, tales como, roca suelta talud de 4:1 (V:H); roca fija 10:1 (V:H) y en taludes donde hay materiales sueltos 1:1 (V:H) que minimizan los desprendimientos de materiales.

3.3.6 Estudio de suelos, canteras y fuentes de agua.

Del estudio de suelos, canteras y fuentes de agua realizado por el CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS, para la rehabilitación del camino vecinal San Gregorio – Socso, se concluye que el tramo II, presenta las siguientes características de estudios de suelos, canteras y fuentes de agua.

- Estudio de suelos

Los suelos que conforman la subrasante del tramo II del camino vecinal San Gregorio - Socso, son suelos no plásticos del tipo GP, GM, SP, SM, según la clasificación SUCS y A-1-a (0), A-1-b(0) según la clasificación AASHTO, con una buena capacidad de soporte, presentando un valor promedio de CBR(95% MDS-0.1") de 20%, salvo en 7 sectores puntuales donde se encontraron valores

menores al 6 %, en los cuales se realizó un mejoramiento de 30 cm debajo de la subrasante.

- Estudio de canteras

Las canteras empleadas tanto en los rellenos como en la conformación de la capa de rodadura del tramo II del camino vecinal San Gregorio – Socso, son las que se encuentran ubicadas a pie de cerro en las progresivas km 9+750, km 10+215, km 14+700 y km 20+215 y la cantera de río ubicada en la progresiva km 15+490, las cuales se caracterizan por ser suelos granulares no plásticos cuyas propiedades se muestran condensadas en las tablas N° 17 y N° 18, es preciso indicar también que las canteras mencionadas cumplen con los requerimientos mínimos establecidos para su uso en la preparación de concreto hidráulico, colocación de rellenos y para la conformación de capa de rodadura.

Tabla N° 17 Propiedades de los materiales de canteras de río

PROPIEDADES	PIEDRA CANTERA DE RIO KM 15+400
Ensayos físico y mecánico	
H. NATURAL	1.7%
PASA LA MALLA 1"	97%
PASA LA MALLA #4	1.9%
CLASIFICACIÓN SUCS	GW
CLASIFICACIÓN AASHTO	A-1-a (0)
ABRASION LOS ÁNGELES	32.6%
Ensayos químicos	
PH	7.6
SULFATOS	84.2 ppm
CLORUROS	59.8 ppm
IMPUREZAS ORGÁNICAS	Negativo
% DE PARTICULAS LIVIAN.	0.565%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 18 Propiedades de los materiales de canteras a pie de cerro.

PROPIEDADES	CANTERA	CANTERA	CANTERA	CANTERA
	Km 09+750	Km 10+215	Km 14+700	Km 20+215
MATERIAL	Coluvial	Coluvial	Coluvial	Coluvial
H. NATURAL	1.57%	1.13%	1.13%	1.29%

PROPIEDADES	CANTERA	CANTERA	CANTERA	CANTERA
	Km 09+750	Km 10+215	Km 14+700	Km 20+215
PASA 2 ½"	95%	100%	100%	100%
PASA 2 "	89%	96%	96%	95%
PASA #4	48%	51%	51%	51%
PASA #200	8%	12%	13%	7%
L.L	17%	19%	18%	18%
I.P	NP	NP	NP	NP
SUCS	GP-GM	GP-GM	GM	GM
AASHTO	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)
EQUIV. ARENA	51%	39%	39%	37%
MDS de Proctor	2.2 g/cc	2.2 g/cc	2.19 g/cc	2.16 g/cc
OCH de Proctor	6%	5.4%	5.7%	5.9%
CBR 0.1" al 95% MDS	75%	77%	77%	58%
ABRACION	31%	33%	34%	40%
EFICIENCIA	93%	96%	93%	95%
DISPONIBILID.	97,613m3	96,402m3	205,1m3	117.04m3
USOS	Relleno y capa de rodadura	Relleno y capa de rodadura	Relleno y capa de rodadura	Relleno y capa de rodadura
PROCESO	Zarandeo	Zarandeo	Zarandeo	Zarandeo

Fuente: Elaboración propia

- Estudio de fuentes de agua

Las fuentes de agua empleadas tanto en los rellenos como en la conformación de la capa de rodadura del tramo II del camino vecinal San Gregorio – Socso se encuentran ubicadas en las progresivas km 01+170, km 05+710, km 07+160, km 08+080 y km 15+490, las cuales cumplen con los requerimientos mínimos establecidos para su uso en la preparación de concreto hidráulico, colocación de rellenos y para la conformación de capa de rodadura.

3.3.7 Estudio de diseño de pavimento

Del estudio de diseño de pavimento realizado por el CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS, para la rehabilitación del camino vecinal San Gregorio – Socso, concluye para el tramo II, una capa de rodadura granular estabilizada con Cloruro de Magnesio Hexahidratado de 15 cm, considerando las especificaciones técnicas del Cloruro de Magnesio Hexahidratado y la metodología de diseño de pavimentos NAASRA (National Association of Australian State Road Authorities (hoy AUSTROADS), que se fundamenta en el

EAL y el CBR(95% MDS-0.1”) de diseño promedio de la subrasante. Para determinar el CBR (95% MDS-0.1”) de diseño se extrajeron muestras de la subrasante cada 250m y se realizaron ensayos de CBR (95% MDS-0.1”) cada 1 km¹², esto según las especificaciones del T de R. El CBR promedio de diseño resultante al 95% MDS en condiciones saturadas y a una penetración de carga de 0.1” fue de 20%, por otro lado, para determinar el EAL de diseño se empleó la fórmula de proyección de EAL considerado en la EG-2014 resultando para un periodo de diseño de 5 años un EAL de 2.38×10^5 .

3.3.8 Estudio de dosificación de Cloruro de Magnesio

Del estudio de dosificación de Cloruro de Magnesio realizado por el CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS, para la rehabilitación del camino vecinal San Gregorio – Socso, se concluye que las dosis de Cloruro de Magnesio empleadas en el tramo II, tanto para la estabilización como para el tratamiento supresor de polvo, fueron el resultado de haber realizado distintos tipos de ensayos con el material extraído de la zona de aplicación, concluyendo que para la estabilización de la capa de rodadura se debe mezclar el cloruro de magnesio con el agregado empleado en una dosis de 2.5% en peso de suelo seco, mientras que para el tratamiento supresor de polvo se debe realizar una serie de riegos sobre la superficie compactada con una salmuera de proporción en peso con el agua de 1.5:1, hasta regar 4l/m² de superficie de rodadura.

Es preciso indicar, además, que para poder obtener buenos resultados con las dosis mencionadas fue necesario que los agregados empleados en la conformación de la capa de rodadura satisfagan las especificaciones técnicas requeridas para un afirmado Tipo 3¹³, lo cual comprende las franjas granulométricas mostradas en la tabla N° 19, y los requisitos de calidad siguientes:

- ❖ Desgaste de Los Angeles:50% máx. (MTC E 207)
- ❖ Límite Líquido:35% máx. (MTC E 110)
- ❖ CBR:40% máx. (MTC E 132)

¹² El intervalo de realización de ensayos CBR que se ha considerado para la realización del presente estudio es muy conservador, ya que otros manuales como el de “SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTÉCNIA Y PAVIMENTOS” o la EG-2014, recomiendan para casos similares a la presente realizar ensayos de CBR cada 3 km.

¹³ Los agregados empleados en la conformación de la capa de rodadura del tramo II del camino San Gregorio – Socso satisfacen todos los requisitos que demanda el afirmado tipo 3, a excepción de la plasticidad, esto debido a que las canteras empleadas son de carácter no plástico, por lo que se tuvo que aumentar la dosis de Cloruro Magnesio a 2.5% para remediar esta deficiencia.

La clasificación tipo 3, es según el Manual de Bajo Volumen de Transito, Actualmente no vigente.

Tabla N° 19 Franjas granulométricas según el tipo de afirmado.

TIPO Y AFIRMADO			
Porcentaje que pasa del Tamiz	Tráfico T0 y T1:	Tráfico T2:	Tráfico T3:
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
	IMD < 50 veh.	51 - 100 veh.	101 - 200 veh.
50 mm (2")	100	100	
37.5 mm (1½")		95 - 100	100
25 mm (1")	50 – 80	75 - 95	90 - 100
19 mm (¾")			65 - 100
12.5 mm (½")			
9.5 mm (3/8")		40 - 75	45 - 80
4.75 mm (N° 4)	20 - 50	30 - 60	30 - 65
2.36 mm (N° 8)			
2.0 mm (N° 10)		20 - 45	22 - 52
4.25 um (N° 40)		15 - 30	15 - 35
75 um (N° 200)	4.00 - 12.00	5.00 - 15.00	5.00 - 20.00
Índice de Plasticidad	4 – 9	4 – 9	4 – 9

Fuente: CONSORCIO CONSULTORES ASOCIADOS

3.4 PROCESO CONSTRUCTIVO DEL TRAMO II (KM 03+500 – KM 24+680) DEL CAMINO VECINAL SAN GREGORIO- SOCSO.

3.4.1 Obras preliminares

Respecto de la ejecución de las obras preliminares , primero se trasladó los equipos y sus accesorios a la zona de trabajo, luego basándose en los planos, el levantamiento topográfico, sus referencias y los respectivos BMs, se procedió a realizar los trabajos de replanteo y georreferenciación correspondientes al proyecto, después se procedió a ejecutar el Plan de Mantenimiento de Tránsito y Seguridad Vial(PMTS), posteriormente se construyó la infraestructura necesaria que permita albergar a los trabajadores, insumos, maquinarias, equipos y otros, por último se habilito o construyo los accesos provisionales a las canteras, depósitos de material excedente(DME), fuentes de agua, plantas de procesamiento de materiales, campamentos y otros necesarios para la ejecución del proyecto.

3.4.2 Movimientos de Tierra

Respecto de la ejecución de los trabajos de movimientos de tierra, primero se realizaron los trabajos de desbroce y limpieza del terreno, luego se realizaron los trabajos de explanación, de corte o relleno teniendo en consideración en todo momento las secciones existentes y las secciones proyectadas, posteriormente se realizaron los trabajos de mejoramientos de suelos a nivel de subrasante en las zonas cuyos CBRs eran menores al 6%, por último se preparó la subrasante a fin de dejarla lista para la conformación del pavimento.



Figura N° 34 Ensanche de la plataforma con un tractor sobre orugas en la Prog. 21+800

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR

3.4.3 Producción del material granular y posterior mezclado con la bischofita.

El proceso de producción consistió primero en extraer materiales de las canteras, para posteriormente chancarlas y zarandearlas en la misma mediante chancadoras y zarandas mecánicas (ver figura N° 35), a fin de poder obtener un material granular que cumpla los requerimientos granulométricos especificados para un afirmado tipo 3, por último dentro de la misma se mezcló el material granular producido con el Cloruro de Magnesio Hexahidratado, en dosis de 2.5% en peso de material granular seco (ver figura N° 36), de modo que este se pueda transportar listo para su conformación¹⁴.

¹⁴ No se trabajó de la manera tradicional, que es el de mezclar el material granular con el cloruro de magnesio en su lugar de conformación, debido a que el camino vecinal San Gregorio – Socso cuenta con un solo carril en dos direcciones de 3.5m, el cual constituye la única opción de intercomunicación vial entre las unidades productivas y los asentamientos humanos dispersos a lo largo de la parte baja del valle del río Camaná y además no cuenta con espacio suficiente ni vías alternas para poder desviar el tráfico, por ende, mezclar en el mismo lugar de conformación traería consigo cerrar la vía por mayor tiempo, lo que generaría grandes pérdidas económicas.



Figura N° 35 Máquina “zaranda mecánica” instalada dentro de la cantera

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR

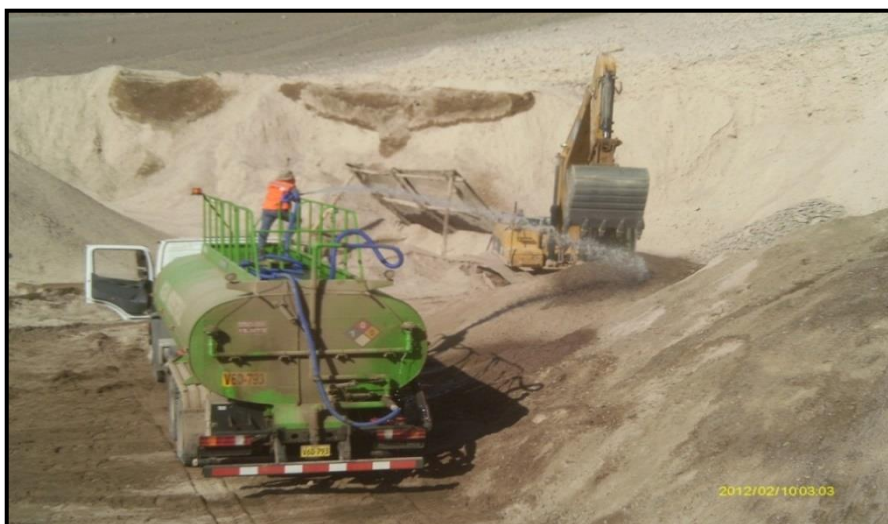


Figura N° 36 Cantera ubicada en la progresiva Km 20+200, la imagen muestra cómo se mezcló la salmuera con el material granular previamente cubicado.

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR

3.4.4 Transporte del material granular mezclado con bischofita

El transporte consistió en realizar los trabajos de carga y descarga del material granular mezclado con bischofita, de las canteras a las zonas de conformación respectivamente.

3.4.5 Conformación y Perfilado

El material granular mezclado con bischofita, se colocó y esparció en una capa uniforme mayor a 15cm, de modo que cuando se compactó se pudo alcanzar los

15 cm de espesor de diseño, posteriormente se regó el material con agua mediante un camión cisterna y por medio de la cuchilla de una motoniveladora se procedió a mezclarla, llevándolo alternadamente hacia el centro y hacia la orilla de la calzada hasta alcanzar el óptimo contenido de humedad (OCH de 5.5%) una vez obtenido el OCH se procedió nuevamente a esparcir y perfilar hasta obtener la sección transversal deseada, ver figura N° 37.



Figura N° 37 Progresiva Km 24+200, conformación y perfilado del material granular

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR

3.4.6 Compactación

Inmediatamente después de terminada la distribución y el emparejamiento del material, se compactó su ancho total por medio de rodillos lisos vibratorios autopropulsados, ver figura N° 38, con un peso mínimo de 9 toneladas.

Cada 400 m² de material, medido después de compactado, fue sometido a una hora y media de rodillo continuo, el cual se efectuó longitudinalmente comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido un ancho no menor de un tercio (1/3) del ancho del rodillo y se continuó así hasta que toda la superficie haya recibido este tratamiento. En las zonas peraltadas, la compactación se realizó del borde inferior al superior. En los lugares donde no fue accesible emplear rodillos vibradores se empleó apisonadores mecánicos, para la verificación de la compactación se empleó el densímetro nuclear.



Figura N° 38 Progresiva Km 22+950, compactado del afirmado estabilizado

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR

3.4.7 Proceso de aplicación del tratamiento supresor de polvo

El tratamiento supresor de polvo se realizó por medio de una serie de riegos sobre la superficie compactada, ver figura N° 39, para ello se emplearon camiones cisternas que recorrían el camino a una velocidad de 10 km/h regando una salmuera de densidad de 1.25 tn/m^3 , a una tasa de 1 lt/m^2 por pasada, y cuya proporción en peso con el agua era de 1.5: 1. Se emplearon 4 pasadas en total teniendo la precaución de que cada riego haya penetrado adecuadamente la superficie del camino antes de aplicar el siguiente.



Figura N° 39 Progresiva Km 24+360, aplicación del tratamiento supresor de polvo sobre la superficie compactada.

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR

3.4.8 Proceso de curado y apertura del tráfico

El tramo II del camino vecinal San Gregorio – Socso no necesitó pasar por un proceso de curado, esto debido a que las especificaciones del producto, así como las recomendaciones del proveedor indicaban que no era necesario; por otro lado, el tráfico, se reabrió a las cuatro horas de haber aplicado el tratamiento supresor de polvo, gracias a la rápida cristalización de la bischofita

CAPITULO IV : MEDICIÓN, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.



CAPITULO IV : MEDICION, ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS .

4.1 GENERALIDADES

En el presente capítulo se desarrolla la evaluación funcional realizada a la muestra de estudio del tramo II del camino vecinal San Gregorio – Socso (km 03+500 – km 24+680), lo cual comprende el análisis de antecedentes, la detección de las deficiencias relacionadas con la calidad de la superficie y estado de la condición del pavimento y los análisis de resultados. También se desarrolla la evaluación de mitigación de polvo realizada a la misma muestra, que comprende la detección de polvo antes y después de la aplicación de Cloruro de magnesio y los análisis de resultados correspondientes.

4.2 EVALUACIÓN FUNCIONAL

Como se mencionó en el Capítulo II, este tipo de evaluación tiene por objeto el reconocimiento de aquellas deficiencias que se relacionan principalmente a la calidad de la superficie y el estado general de la condición del pavimento, para su realización, en el capítulo precitado se elaboró un mapa conceptual, ver figura N° 3, en donde se resumen los pasos necesarios que esta conlleva, lo cual implica primero realizar un análisis de antecedentes, segundo, detección de las deficiencias relacionadas a la calidad de la superficie y el estado de la condición del pavimento, tercero, análisis de las deficiencias encontradas y cuarto, realizar las conclusiones y recomendaciones respectivas.

A continuación, se procederá a desarrollar la evaluación funcional realizada a la muestra de estudio del tramo II del camino vecinal San Gregorio – Socso (km 03+500 – km 24+680), siguiendo los pasos mencionados anteriormente.

4.2.1 Análisis de Antecedentes

Realizar el análisis de antecedentes de un proyecto implica recopilar toda información necesaria del proyecto que permita, de manera analítica, fundamentar o explicar el porqué de las deficiencias encontradas en relación con la calidad de la superficie y el estado de la condición del pavimento.

Siguiendo este concepto, en el Capítulo III se desarrollaron los aspectos generales, las características técnicas y el proceso constructivo empleado en la rehabilitación del tramo II del camino vecinal San Gregorio – Socso, de estos se desprenderán las explicaciones al comportamiento del pavimento observado.

4.2.2 Detección de las deficiencias relacionadas a la calidad de la superficie y el estado de la condición del pavimento.

Para el reconocimiento de las deficiencias relacionadas a la calidad de la superficie y el estado de la condición del pavimento, en la presente investigación se consideró la medición del Índice Internacional de la Rugosidad (IRI), el Índice de Condición de Superficie no Pavimentada (URCI) y el Índice de Valoración de Superficies Pavimentadas con grava (PASER), en tres fechas distintas.

A continuación, se procederá a explicar de manera general en que consistió la medición de cada índice y cuáles fueron los resultados obtenidos.

- Medición del IRI

Para la medición IRI, se trabajó con el equipo Merlín, dos en total, el cual como ya se explicó en el Capítulo II, es considerado un equipo de alta precisión solo superado por el método de nivelación geométrica que emplea mira y nivel de ingeniero; en lo que respecta a personal, participaron siete trabajadores, dos técnicos, un asistente y un ingeniero.

El trabajo realizado consistió en medir la rugosidad de las huellas derecha e izquierda de la muestra de estudio, empleando un equipo de trabajo con su respectivo equipo Merlín por huella, esto con la finalidad de avanzar lo más rápido posible, cada equipo de trabajo estaba compuesto por dos trabajadores y un técnico, ver figura N°40, el primero se encargaba de manejar el equipo, el segundo de apuntar los desniveles observados y el tercero descansaba hasta esperar su turno, esto con la finalidad de que sea el relevo del primero. Adicional a la labor de la medición de la rugosidad se contó con otros dos equipos de trabajo compuesto por dos personas cada uno, el primero se encargó del desvío del tráfico informando a los vehículos que pasaban por el camino acerca del trabajo que se estaba realizando, para que estos disminuyan su velocidad, un trabajador se encontraba aproximadamente 60 m antes y el otro 60m después del personal encargado de realizar la medición de la rugosidad, por otro lado, el segundo equipo se encargó de realizar las marcas en el camino para sectorizar el mismo en distancias de 400 m, que es la distancia óptima para la obtención de rugosidad, de este equipo una persona se encargaba del odómetro, equipo que mide distancias y el otro se encargaba del marcado , ver figura N°41.



Figura N° 40 Vista de los dos trabajadores y el técnico responsable encargado de realizar la medición de la rugosidad en la huella derecha, al fondo de la imagen se puede observar a la persona encargada del desvío del tráfico.

Fuente: Elaboración propia, tomado en la tercera medición del IRI.



Figura N° 41 Vista del equipo de trabajo que estaba encargado de realizar las marcas en el camino.

Fuente: Elaboración propia, tomado en la tercera medición del IRI.

Luego de haber realizado las mediciones en campo, se procesó en gabinete la información adquirida, esto se realizó con la ayuda de una hoja Excel elaborada

para este fin, ver figura N°42, dicha hoja está basada en la metodología Merlín, metodología que se explicó detalladamente en el Capítulo 2.

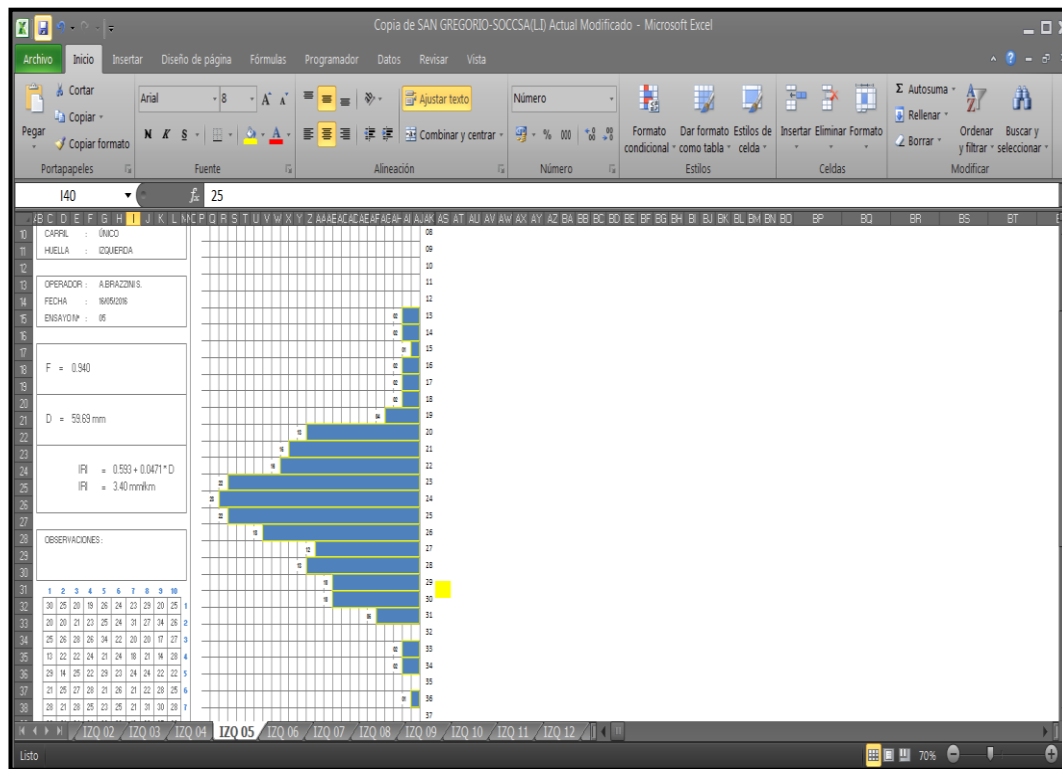


Figura N° 42 Hoja Excel elaborada para procesar los datos Merlín obtenidos de campo.

Fuente: Elaboración propia, tomado en la tercera medición del IRI

Del procesamiento de datos de las evaluaciones realizadas en las fechas 22/07/2014 – 02/09/2015 – 16-05-2016, se obtuvieron los siguientes resultados, ver las tablas N° 20, 21, 22 y 23.

Tabla N° 20 Resultados de la medición del IRI huella izquierda y derecha, primera evaluación (22/07/2014) / APERTURA DE LA OBRA

TABLA RESUMEN DE RUGOSIDAD SAN GREGORIO – SOCCSO (22/07/2014)						
HOJA N°	PROGRESIVA		IRI PROMEDIO (M/KM)	IRI CARACTERISTICO (M/KM)	IRI PROMEDIO (M/KM)	IRI CARACTERISTICO (M/KM)
	DEL KM	AL KM	HUELLA IZQUIERDA	HUELLA IZQUIERDA	HUELLA DERECHA	HUELLA DERECHA
1	05+000	15+000	3.105	3.33	3.105	3.33

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO.

Tabla N° 21 Resultados de la medición del IRI huella izquierda, segunda evaluación (02/09/2015)

TABLA RESUMEN DE RUGOSIDAD SAN GREGORIO – SOCCSO (02/09/2015)				
HOJA N°	PROGRESIVA		IRI (M/KM)	
	DEL KM	AL KM	CARRIL	HUELLA IZQUIERDA
1	5+000.00	5+400.00	ÚNICO	3.27
2	5+400.00	5+800.00	ÚNICO	4.06
3	5+800.00	6+200.00	ÚNICO	2.91
4	6+200.00	6+600.00	ÚNICO	3.34
5	6+600.00	7+000.00	ÚNICO	3.61
6	7+000.00	7+400.00	ÚNICO	3.57
7	7+400.00	7+800.00	ÚNICO	3.10
8	7+800.00	8+200.00	ÚNICO	3.18
9	8+200.00	8+600.00	ÚNICO	3.36
10	8+600.00	9+000.00	ÚNICO	3.11
11	9+000.00	9+400.00	ÚNICO	2.75
12	9+400.00	9+800.00	ÚNICO	2.87
13	9+800.00	10+200.00	ÚNICO	3.06
14	10+200.00	10+600.00	ÚNICO	4.30
15	10+600.00	11+000.00	ÚNICO	3.16
16	11+000.00	11+400.00	ÚNICO	3.12
17	11+400.00	11+800.00	ÚNICO	4.19
18	11+800.00	12+200.00	ÚNICO	3.29
19	12+200.00	12+600.00	ÚNICO	3.66
20	12+600.00	13+000.00	ÚNICO	3.47
21	13+000.00	13+400.00	ÚNICO	2.76
22	13+400.00	13+800.00	ÚNICO	3.75
23	13+800.00	14+200.00	ÚNICO	3.82
24	14+200.00	14+600.00	ÚNICO	2.61
25	14+600.00	15+000.00	ÚNICO	3.76
FC=0.961 IRI = 0.593+0.0471*D				
IRI _p = 3.36				
IRI _c = IRI _p + 0.524 x ds = 3.6				

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO.

Tabla N° 22 Resultados de la medición del IRI huella derecha, segunda evaluación (02/09/2015)

TABLA RESUMEN DE RUGOSIDAD SAN GREGORIO – SOCCSO (02/09/2015)				
HOJA N°	PROGRESIVA		IRI (M/KM)	
	DEL KM	AL KM	CARRIL	HUELLA DERECHA
1	5+000.00	5+430.00	ÚNICO	3.19
2	5+430.00	5+860.00	ÚNICO	3.25
3	5+860.00	6+295.00	ÚNICO	3.27
4	6+295.00	6+735.00	ÚNICO	3.21

TABLA RESUMEN DE RUGOSIDAD SAN GREGORIO – SOCCSO (02/09/2015)				
HOJA N°	PROGRESIVA		IRI (M/KM)	
	DEL KM	AL KM	CARRIL	HUELLA DERECHA
5	6+735.00	7+170.00	ÚNICO	3.00
6	7+170.00	7+610.00	ÚNICO	3.83
7	7+610.00	8+035.00	ÚNICO	3.10
8	8+035.00	8+475.00	ÚNICO	3.10
9	8+475.00	8+905.00	ÚNICO	3.41
10	8+905.00	9+340.00	ÚNICO	2.92
11	9+340.00	9+770.00	ÚNICO	3.21
12	9+770.00	10+210.00	ÚNICO	2.83
13	10+210.00	10+630.00	ÚNICO	3.17
14	10+630.00	11+050.00	ÚNICO	2.73
15	11+050.00	11+480.00	ÚNICO	2.97
16	11+480.00	11+920.00	ÚNICO	5.04
17	11+920.00	12+360.00	ÚNICO	3.50
18	12+360.00	12+800.00	ÚNICO	3.85
19	12+800.00	13+240.00	ÚNICO	3.50
20	13+240.00	13+680.00	ÚNICO	3.34
21	13+680.00	14+120.00	ÚNICO	3.50
22	14+120.00	14+560.00	ÚNICO	3.80
23	14+560.00	15+000.00	ÚNICO	3.06
FC=0.97				
IRI = 0.593+0.0471*D				
IRIp = 3.34				
IRIc = IRIp + 0.524 x ds = 3.59				

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO.

Tabla N° 23 Resultados de la medición del IRI huella izquierda - derecha, tercera evaluación
(16/05/2016)

TABLA RESUMEN DE RUGOSIDAD SAN GREGORIO – SOCCSO (16/05/2016)						
HOJA N°	PROGRESIVA		IRI (M/KM)		IRI (M/KM)	
	DEL KM	AL KM	CARRIL	HUELLA IZQUIERDA	CARRIL	HUELLA DERECHA
1	5+000.00	5+400.00	ÚNICO	3.54	ÚNICO	3.74
2	5+400.00	5+800.00	ÚNICO	3.88	ÚNICO	3.84
3	5+800.00	6+200.00	ÚNICO	3.31	ÚNICO	3.32
4	6+200.00	6+600.00	ÚNICO	4.07	ÚNICO	3.80
5	6+600.00	7+000.00	ÚNICO	3.40	ÚNICO	3.45
6	7+000.00	7+400.00	ÚNICO	4.02	ÚNICO	3.70
7	7+400.00	7+800.00	ÚNICO	3.88	ÚNICO	3.85
8	7+800.00	8+200.00	ÚNICO	3.84	ÚNICO	3.75
9	8+200.00	8+600.00	ÚNICO	4.01	ÚNICO	3.88
10	8+600.00	9+000.00	ÚNICO	3.99	ÚNICO	3.74
11	9+000.00	9+400.00	ÚNICO	3.54	ÚNICO	3.45

TABLA RESUMEN DE RUGOSIDAD SAN GREGORIO – SOCCSO (16/05/2016)						
HOJA N°	PROGRESIVA		IRI (M/KM)		IRI (M/KM)	
	DEL KM	AL KM	CARRIL	HUELLA IZQUIERDA	CARRIL	HUELLA DERECHA
12	9+400.00	9+800.00	ÚNICO	3.62	ÚNICO	3.88
13	9+800.00	10+200.00	ÚNICO	3.67	ÚNICO	3.77
14	10+200.00	10+600.00	ÚNICO	5.80	ÚNICO	5.72
15	10+600.00	11+000.00	ÚNICO	3.21	ÚNICO	3.12
16	11+000.00	11+400.00	ÚNICO	3.40	ÚNICO	3.25
17	11+400.00	11+800.00	ÚNICO	6.35	ÚNICO	7.49
18	11+800.00	12+200.00	ÚNICO	7.23	ÚNICO	7.10
19	12+200.00	12+600.00	ÚNICO	6.13	ÚNICO	6.09
20	12+600.00	13+000.00	ÚNICO	6.31	ÚNICO	5.31
21	13+000.00	13+400.00	ÚNICO	4.95	ÚNICO	5.23
22	13+400.00	13+800.00	ÚNICO	3.97	ÚNICO	3.26
23	13+800.00	14+200.00	ÚNICO	6.79	ÚNICO	6.09
24	14+200.00	14+600.00	ÚNICO	4.21	ÚNICO	3.49
25	14+600.00	15+000.00	ÚNICO	4.21	ÚNICO	6.43
PARA LA HUELLA IZQUIERDA			PARA LA HUELLA DERECHA			
FC=0.94			FC=0.953			
IRI = 0.593+0.0471*D			IRI = 0.593+0.0471*D			
IRIp = 4.45			IRIp = 4.43			
IRIc = IRIp + 0.524 x ds = 5.09			IRIc = IRIp + 0.524 x ds = 5.12			

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO .

- **Medición del URCl**

Para medir el Índice de Condición de Superficie no Pavimentada (URCl), se trabajó con un odómetro, una regla de aluminio de 5.85 m, una cinta métrica, un auto 4x4 (esto solo para la medición de polvo) y una cámara fotográfica; en lo que respecta a personal se contó con un trabajador de apoyo, un asistente y un ingeniero.

El trabajo realizado consistió en medir el URCl de cada unidad de la muestra, para esto previamente se definió en gabinete la medida de cada unidad teniendo en consideración las pautas descritas en el manual URCl, por lo que se optó por emplear unidades de 50m, luego se sectorizó la muestra teniendo en cuenta dicha medida y finalmente se procedió a realizar las mediciones en campo, para ello el ingeniero a cargo fue el encargado de usar el odómetro, agregar observaciones de acuerdo a su experiencia y tomar nota de las mediciones tomadas por el asistente, el asistente por otro lado con apoyo del trabajador se encargó de realizar las mediciones objetivas de los tipos de falla presentes, empleando para ello la wincha y la regla, además de tomar las fotos correspondientes, ver figura N° 43.



Figura N° 43 Medición de la falla perdida de agregado.

Fuente: Elaboración propia, tomado en la tercera medición del IRI

Finalmente, luego de haber realizado las mediciones en campo, se procesó en gabinete la información adquirida, esto se realizó con la ayuda del programa UNI-URCI, de elaboración propia (ver figura N° 44), el cual se elaboró teniendo en cuenta los principios del manual URCI, que fue explicado de manera detallada en el capítulo 2.



Figura N° 44 Foto tomada al programa UNI - URCI.

Fuente: Elaboración propia

Del procesamiento de datos de las evaluaciones realizadas en las fechas 22/10/2014 – 02/09/2015 – 16-05-2016, se obtuvieron los siguientes resultados, ver las tablas N° 24, 25 y 26

Tabla N° 24 Resultados de la medición del URCl, primera evaluación (22/07/2014) / APERTURA DE LA OBRA

CUADRO RESUMEN DE URCl SAN GREGORIO – SOCCSO (22/07/2014)							
Unidad de Muestreo	Área de muestreo(m ²)	PROGRESIVA		q	TDV	URCl	CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM				
M1	175	05+000	15+000	0	0	100	EXCELENTE

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

Tabla N° 25 Resultados de la medición del URCl, segunda evaluación (02/09/2015)

CUADRO RESUMEN DE URCl SAN GREGORIO – SOCCSO (02/09/2015)							
Unidad de Muestreo	Área de muestreo(m ²)	PROGRESIVA		q	TDV	URCl	CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM				
M1	175	05+000	05+050	0	0	100	EXCELENTE
M2	175	05+050	05+100	0	0	100	EXCELENTE
M3	175	05+100	05+150	0	0	100	EXCELENTE
M4	175	05+150	05+200	0	0	100	EXCELENTE
M5	175	05+200	05+250	0	0	100	EXCELENTE
M6	175	05+250	05+300	0	0	100	EXCELENTE
M7	175	05+300	05+350	0	0	100	EXCELENTE
M8	175	05+350	05+400	0	0	100	EXCELENTE
M9	175	05+400	05+450	0	0	100	EXCELENTE
M10	175	05+450	05+500	0	0	100	EXCELENTE
M11	175	05+500	05+550	0	0	100	EXCELENTE
M12	175	05+550	05+600	0	0	100	EXCELENTE
M13	175	05+600	05+650	0	0	100	EXCELENTE
M14	175	05+650	05+700	0	0	100	EXCELENTE
M15	175	05+700	05+750	0	0	100	EXCELENTE
M16	175	05+750	05+800	0	0	100	EXCELENTE
M17	175	05+800	05+850	0	0	100	EXCELENTE
M18	175	05+850	05+900	0	0	100	EXCELENTE
M19	175	05+900	05+950	0	0	100	EXCELENTE
M20	175	05+950	06+000	0	0	100	EXCELENTE
M21	175	06+000	06+050	0	0	100	EXCELENTE
M22	175	06+050	06+100	0	0	100	EXCELENTE
M23	175	06+100	06+150	0	0	100	EXCELENTE
M24	175	06+150	06+200	0	0	100	EXCELENTE
M25	175	06+200	06+250	0	0	100	EXCELENTE

CUADRO RESUMEN DE URCI SAN GREGORIO – SOCCSO (02/09/2015)							
Unidad de Muestreo	Área de muestreo(m ²)	PROGRESIVA		q	TDV	URCI	CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM				
M26	175	06+250	06+300	0	0	100	EXCELENTE
M27	175	06+300	06+350	0	0	100	EXCELENTE
M28	175	06+350	06+400	0	0	100	EXCELENTE
M29	175	06+400	06+450	0	0	100	EXCELENTE
M30	175	06+450	06+500	0	0	100	EXCELENTE
M31	175	06+500	06+550	0	0	100	EXCELENTE
M32	175	06+550	06+600	0	0	100	EXCELENTE
M33	175	06+600	06+650	0	0	100	EXCELENTE
M34	175	06+650	06+700	0	0	100	EXCELENTE
M35	175	06+700	06+750	0	0	100	EXCELENTE
M36	175	06+750	06+800	0	0	100	EXCELENTE
M37	175	06+800	06+850	0	0	100	EXCELENTE
M38	175	06+850	06+900	0	0	100	EXCELENTE
M39	175	06+900	06+950	0	0	100	EXCELENTE
M40	175	06+950	07+000	0	0	100	EXCELENTE
M41	175	07+000	07+050	0	0	100	EXCELENTE
M42	175	07+050	07+100	0	0	100	EXCELENTE
M43	175	07+100	07+150	0	0	100	EXCELENTE
M44	175	07+150	07+200	0	0	100	EXCELENTE
M45	175	07+200	07+250	0	0	100	EXCELENTE
M46	175	07+250	07+300	0	0	100	EXCELENTE
M47	175	07+300	07+350	1	19.1	80.9	MUY BUENO
M48	175	07+350	07+400	1	17.6	82.4	MUY BUENO
M49	175	07+400	07+450	1	15.2	84.8	MUY BUENO
M50	175	07+450	07+500	1	14.5	85.5	EXCELENTE
M51	175	07+500	07+550	0	0	100	EXCELENTE
M52	175	07+550	07+600	0	0	100	EXCELENTE
M53	175	07+600	07+650	0	0	100	EXCELENTE
M54	175	07+650	07+700	0	0	100	EXCELENTE
M55	175	07+700	07+750	0	0	100	EXCELENTE
M56	175	07+750	07+800	0	0	100	EXCELENTE
M57	175	07+800	07+850	0	0	100	EXCELENTE
M58	175	07+850	07+900	0	0	100	EXCELENTE
M59	175	07+900	07+950	0	0	100	EXCELENTE
M60	175	07+950	08+000	0	0	100	EXCELENTE
M61	175	08+000	08+050	0	0	100	EXCELENTE
M62	175	08+050	08+100	0	0	100	EXCELENTE
M63	175	08+100	08+150	1	10.1	89.9	EXCELENTE
M64	175	08+150	08+200	1	12.2	87.8	EXCELENTE
M65	175	08+200	08+250	1	14.4	85.6	MUY BUENO
M66	175	08+250	08+300	1	14	86	MUY BUENO
M67	175	08+300	08+350	0	0	100	EXCELENTE
M68	175	08+350	08+400	0	0	100	EXCELENTE
M69	175	08+400	08+450	0	0	100	EXCELENTE

CUADRO RESUMEN DE URCI SAN GREGORIO – SOCCSO (02/09/2015)							
Unidad de Muestreo	Área de muestreo(m ²)	PROGRESIVA		q	TDV	URCI	CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM				
M70	175	08+450	08+500	0	0	100	EXCELENTE
M71	175	08+500	08+550	0	0	100	EXCELENTE
M72	175	08+550	08+600	0	0	100	EXCELENTE
M73	175	08+600	08+650	1	15	85	MUY BUENO
M74	175	08+650	08+700	0	2.1	97.9	EXCELENTE
M75	175	08+700	08+750	0	0	100	EXCELENTE
M76	175	08+750	08+800	0	0	100	EXCELENTE
M77	175	08+800	08+850	0	0	100	EXCELENTE
M78	175	08+850	08+900	0	0	100	EXCELENTE
M79	175	08+900	08+950	0	0	100	EXCELENTE
M80	175	08+950	09+000	0	0	100	EXCELENTE
M81	175	09+000	09+050	0	0	100	EXCELENTE
M82	175	09+050	09+100	0	0	100	EXCELENTE
M83	175	09+100	09+150	0	0	100	EXCELENTE
M84	175	09+150	09+200	0	0	100	EXCELENTE
M85	175	09+200	09+250	0	0	100	EXCELENTE
M86	175	09+250	09+300	0	0	100	EXCELENTE
M87	175	09+300	09+350	0	0	100	EXCELENTE
M88	175	09+350	09+400	0	0	100	EXCELENTE
M89	175	09+400	09+450	0	0	100	EXCELENTE
M90	175	09+450	09+500	0	0	100	EXCELENTE
M91	175	09+500	09+550	0	0	100	EXCELENTE
M92	175	09+550	09+600	0	0	100	EXCELENTE
M93	175	09+600	09+650	0	0	100	EXCELENTE
M94	175	09+650	09+700	0	0	100	EXCELENTE
M95	175	09+700	09+750	0	0	100	EXCELENTE
M96	175	09+750	09+800	0	0	100	EXCELENTE
M97	175	09+800	09+850	0	0	100	EXCELENTE
M98	175	09+850	09+900	0	0	100	EXCELENTE
M99	175	09+900	09+950	0	0	100	EXCELENTE
M100	175	09+950	10+000	0	0	100	EXCELENTE
M101	175	10+000	10+050	0	0	100	EXCELENTE
M102	175	10+050	10+100	0	0	100	EXCELENTE
M103	175	10+100	10+150	0	0	100	EXCELENTE
M104	175	10+150	10+200	0	0	100	EXCELENTE
M105	175	10+200	10+250	0	0	100	EXCELENTE
M106	175	10+250	10+300	0	0	100	EXCELENTE
M107	175	10+300	10+350	2	14.1	89.9	EXCELENTE
M108	175	10+350	10+400	2	25	81.6	MUY BUENO
M109	175	10+400	10+450	0	0	100	EXCELENTE
M110	175	10+450	10+500	0	0	100	EXCELENTE
M111	175	10+500	10+550	1	15.2	84.8	MUY BUENO
M112	175	10+550	10+600	1	12.3	87.7	EXCELENTE
M113	175	10+600	10+650	0	0	100	EXCELENTE

CUADRO RESUMEN DE URCI SAN GREGORIO – SOCCSO (02/09/2015)							
Unidad de Muestreo	Área de muestreo(m ²)	PROGRESIVA		q	TDV	URCI	CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM				
M114	175	10+650	10+700	0	0	100	EXCELENTE
M115	175	10+700	10+750	0	0	100	EXCELENTE
M116	175	10+750	10+800	0	0	100	EXCELENTE
M117	175	10+800	10+850	0	0	100	EXCELENTE
M118	175	10+850	10+900	0	0	100	EXCELENTE
M119	175	10+900	10+950	0	0	100	EXCELENTE
M120	175	10+950	11+000	0	0	100	EXCELENTE
M121	175	11+000	11+050	0	0	100	EXCELENTE
M122	175	11+050	11+100	0	0	100	EXCELENTE
M123	175	11+100	11+150	0	0	100	EXCELENTE
M124	175	11+150	11+200	0	0	100	EXCELENTE
M125	175	11+200	11+250	0	0	100	EXCELENTE
M126	175	11+250	11+300	0	0	100	EXCELENTE
M127	175	11+300	11+350	0	0	100	EXCELENTE
M128	175	11+350	11+400	0	0	100	EXCELENTE
M129	175	11+400	11+450	0	0	100	EXCELENTE
M130	175	11+450	11+500	0	0	100	EXCELENTE
M131	175	11+500	11+550	2	11.07	92.2	EXCELENTE
M132	175	11+550	11+600	2	21.2	84.5	MUY BUENO
M133	175	11+600	11+650	1	15.2	84.8	MUY BUENO
M134	175	11+650	11+700	1	11.05	89	EXCELENTE
M135	175	11+700	11+750	1	10.2	89.8	EXCELENTE
M136	175	11+750	11+800	1	9.5	90.5	EXCELENTE
M137	175	11+800	11+850	1	10.25	89.8	EXCELENTE
M138	175	11+850	11+900	1	12.3	87.7	EXCELENTE
M139	175	11+900	11+950	0	0	100	EXCELENTE
M140	175	11+950	12+000	0	0	100	EXCELENTE
M141	175	12+000	12+050	0	0	100	EXCELENTE
M142	175	12+050	12+100	0	0	100	EXCELENTE
M143	175	12+100	12+150	1	14.2	85.8	EXCELENTE
M144	175	12+150	12+200	1	15.6	84.4	MUY BUENO
M145	175	12+200	12+250	0	0	100	EXCELENTE
M146	175	12+250	12+300	0	0	100	EXCELENTE
M147	175	12+300	12+350	0	0	100	EXCELENTE
M148	175	12+350	12+400	0	0	100	EXCELENTE
M149	175	12+400	12+450	0	0	100	EXCELENTE
M150	175	12+450	12+500	0	0	100	EXCELENTE
M151	175	12+500	12+550	1	11.1	88.9	EXCELENTE
M152	175	12+550	12+600	1	13.42	86.6	EXCELENTE
M153	175	12+600	12+650	0	0	100	EXCELENTE
M154	175	12+650	12+700	0	0	100	EXCELENTE
M155	175	12+700	12+750	1	10.3	89.7	EXCELENTE
M156	175	12+750	12+800	1	11.2	88.8	EXCELENTE
M157	175	12+800	12+850	1	5.5	94.5	EXCELENTE

CUADRO RESUMEN DE URCI SAN GREGORIO – SOCCSO (02/09/2015)							
Unidad de Muestreo	Área de muestreo(m ²)	PROGRESIVA		q	TDV	URCI	CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM				
M158	175	12+850	12+900	1	4.4	95.6	EXCELENTE
M159	175	12+900	12+950	1	3.4	96.6	EXCELENTE
M160	175	12+950	13+000	1	3.8	96.2	EXCELENTE
M161	175	13+000	13+050	0	0	100	EXCELENTE
M162	175	13+050	13+100	0	0	100	EXCELENTE
M163	175	13+100	13+150	0	0	100	EXCELENTE
M164	175	13+150	13+200	0	0	100	EXCELENTE
M165	175	13+200	13+250	0	0	100	EXCELENTE
M166	175	13+250	13+300	0	0	100	EXCELENTE
M167	175	13+300	13+350	0	0	100	EXCELENTE
M168	175	13+350	13+400	0	0	100	EXCELENTE
M169	175	13+400	13+450	0	0	100	EXCELENTE
M170	175	13+450	13+500	0	0	100	EXCELENTE
M171	175	13+500	13+550	0	0	100	EXCELENTE
M172	175	13+550	13+600	0	0	100	EXCELENTE
M173	175	13+600	13+650	0	0	100	EXCELENTE
M174	175	13+650	13+700	0	0	100	EXCELENTE
M175	175	13+700	13+750	0	0	100	EXCELENTE
M176	175	13+750	13+800	0	0	100	EXCELENTE
M177	175	13+800	13+850	1	8.85	91.2	EXCELENTE
M178	175	13+850	13+900	1	9.2	90.8	EXCELENTE
M179	175	13+900	13+950	1	10.3	89.7	EXCELENTE
M180	175	13+950	14+000	1	12.25	87.8	EXCELENTE
M181	175	14+000	14+050	0	0	100	EXCELENTE
M182	175	14+050	14+100	0	0	100	EXCELENTE
M183	175	14+100	14+150	0	0	100	EXCELENTE
M184	175	14+150	14+200	0	0	100	EXCELENTE
M185	175	14+200	14+250	0	0	100	EXCELENTE
M186	175	14+250	14+300	0	0	100	EXCELENTE
M187	175	14+300	14+350	0	0	100	EXCELENTE
M188	175	14+350	14+400	0	0	100	EXCELENTE
M189	175	14+400	14+450	1	3	97	EXCELENTE
M190	175	14+450	14+500	0	0	100	EXCELENTE
M191	175	14+500	14+550	0	0	100	EXCELENTE
M192	175	14+550	14+600	0	0	100	EXCELENTE
M193	175	14+600	14+650	1	9.4	90.6	EXCELENTE
M194	175	14+650	14+700	1	9	91	EXCELENTE
M195	175	14+700	14+750	1	6.6	93.4	EXCELENTE
M196	175	14+750	14+800	1	7.65	92.4	EXCELENTE
M197	175	14+800	14+850	1	8.65	92.4	EXCELENTE
M198	175	14+850	14+900	1	9.05	91	EXCELENTE
M199	175	14+900	14+950	1	10.1	89.9	EXCELENTE
M200	175	14+950	15+000	1	29.9	84.8	MUY BUENO
PROMEDIO						97.536	EXCELENTE

Tabla N° 26 Resultados de la medición del URCI, tercera evaluación (16/05/2016)

CUADRO RESUMEN DE URCI SAN GREGORIO – SOCCSO (16/05/2016)							
Unidad de Muestreo	Área de muestreo(m ²)	PROGRESIVA		q	TDV	URCI	CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM				
M1	175	05+000	05+050	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M2	175	05+050	05+100	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M3	175	05+100	05+150	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M4	175	05+150	05+200	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M5	175	05+200	05+250	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M6	175	05+250	05+300	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M7	175	05+300	05+350	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M8	175	05+350	05+400	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M9	175	05+400	05+450	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M10	175	05+450	05+500	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M11	175	05+500	05+550	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M12	175	05+550	05+600	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M13	175	05+600	05+650	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M14	175	05+650	05+700	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M15	175	05+700	05+750	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M16	175	05+750	05+800	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M17	175	05+800	05+850	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M18	175	05+850	05+900	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M19	175	05+900	05+950	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M20	175	05+950	06+000	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M21	175	06+000	06+050	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M22	175	06+050	06+100	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M23	175	06+100	06+150	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M24	175	06+150	06+200	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M25	175	06+200	06+250	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M26	175	06+250	06+300	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M27	175	06+300	06+350	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M28	175	06+350	06+400	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M29	175	06+400	06+450	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M30	175	06+450	06+500	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M31	175	06+500	06+550	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M32	175	06+550	06+600	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M33	175	06+600	06+650	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M34	175	06+650	06+700	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M35	175	06+700	06+750	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M36	175	06+750	06+800	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M37	175	06+800	06+850	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M38	175	06+850	06+900	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M39	175	06+900	06+950	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M40	175	06+950	07+000	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M41	175	07+000	07+050	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M42	175	07+050	07+100	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE

CUADRO RESUMEN DE URCI SAN GREGORIO – SOCCSO (16/05/2016)							
Unidad de Muestreo	Área de muestreo(m ²)	PROGRESIVA		q	TDV	URCI	CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM				
M43	175	07+100	07+150	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M44	175	07+150	07+200	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M45	175	07+200	07+250	1.00	13.77	86.23	EXCELENTE
M46	175	07+250	07+300	1.00	12.22	87.78	EXCELENTE
M47	175	07+300	07+350	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M48	175	07+350	07+400	2.00	37.27	72.51	MUY BUENO
M49	175	07+400	07+450	1.00	17.15	82.85	MUY BUENO
M50	175	07+450	07+500	1.00	20.59	79.41	MUY BUENO
M51	175	07+500	07+550	1.00	20.80	79.20	MUY BUENO
M52	175	07+550	07+600	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M53	175	07+600	07+650	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M54	175	07+650	07+700	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M55	175	07+700	07+750	1.00	15.08	84.92	MUY BUENO
M56	175	07+750	07+800	1.00	20.18	79.82	MUY BUENO
M57	175	07+800	07+850	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M58	175	07+850	07+900	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M59	175	07+900	07+950	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M60	175	07+950	08+000	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M61	175	08+000	08+050	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M62	175	08+050	08+100	1.00	10.42	89.58	EXCELENTE
M63	175	08+100	08+150	1.00	20.38	79.62	MUY BUENO
M64	175	08+150	08+200	1.00	17.15	82.85	MUY BUENO
M65	175	08+200	08+250	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M66	175	08+250	08+300	1.00	19.14	80.86	MUY BUENO
M67	175	08+300	08+350	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M68	175	08+350	08+400	1.00	20.59	79.41	MUY BUENO
M69	175	08+400	08+450	1.00	17.97	82.03	MUY BUENO
M70	175	08+450	08+500	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M71	175	08+500	08+550	1.00	16.20	83.80	MUY BUENO
M72	175	08+550	08+600	1.00	19.14	80.86	MUY BUENO
M73	175	08+600	08+650	2.00	33.61	75.22	MUY BUENO
M74	175	08+650	08+700	0.00	2.10	97.90	EXCELENTE
M75	175	08+700	08+750	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M76	175	08+750	08+800	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M77	175	08+800	08+850	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M78	175	08+850	08+900	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M79	175	08+900	08+950	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M80	175	08+950	09+000	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M81	175	09+000	09+050	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M82	175	09+050	09+100	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M83	175	09+100	09+150	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M84	175	09+150	09+200	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M85	175	09+200	09+250	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M86	175	09+250	09+300	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE

CUADRO RESUMEN DE URCI SAN GREGORIO – SOCCSO (16/05/2016)							
Unidad de Muestreo	Área de muestreo(m ²)	PROGRESIVA		q	TDV	URCI	CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM				
M87	175	09+300	09+350	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M88	175	09+350	09+400	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M89	175	09+400	09+450	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M90	175	09+450	09+500	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M91	175	09+500	09+550	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M92	175	09+550	09+600	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M93	175	09+600	09+650	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M94	175	09+650	09+700	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M95	175	09+700	09+750	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M96	175	09+750	09+800	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M97	175	09+800	09+850	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M98	175	09+850	09+900	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M99	175	09+900	09+950	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M100	175	09+950	10+000	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M101	175	10+000	10+050	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M102	175	10+050	10+100	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M103	175	10+100	10+150	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M104	175	10+150	10+200	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M105	175	10+200	10+250	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M106	175	10+250	10+300	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M107	175	10+300	10+350	2.00	23.01	83.13	MUY BUENO
M108	175	10+350	10+400	2.00	39.30	71.02	MUY BUENO
M109	175	10+400	10+450	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M110	175	10+450	10+500	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M111	175	10+500	10+550	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M112	175	10+550	10+600	1.00	17.97	82.03	MUY BUENO
M113	175	10+600	10+650	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M114	175	10+650	10+700	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M115	175	10+700	10+750	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M116	175	10+750	10+800	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M117	175	10+800	10+850	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M118	175	10+850	10+900	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M119	175	10+900	10+950	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M120	175	10+950	11+000	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M121	175	11+000	11+050	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M122	175	11+050	11+100	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M123	175	11+100	11+150	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M124	175	11+150	11+200	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M125	175	11+200	11+250	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M126	175	11+250	11+300	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M127	175	11+300	11+350	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M128	175	11+350	11+400	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M129	175	11+400	11+450	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M130	175	11+450	11+500	1.00	13.28	86.72	EXCELENTE

CUADRO RESUMEN DE URCI SAN GREGORIO – SOCCSO (16/05/2016)							
Unidad de Muestreo	Área de muestreo(m ²)	PROGRESIVA		q	TDV	URCI	CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM				
M131	175	11+500	11+550	2.00	28.07	79.33	MUY BUENO
M132	175	11+550	11+600	2.00	36.57	73.02	MUY BUENO
M133	175	11+600	11+650	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M134	175	11+650	11+700	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M135	175	11+700	11+750	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M136	175	11+750	11+800	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M137	175	11+800	11+850	2.00	30.18	77.76	MUY BUENO
M138	175	11+850	11+900	2.00	39.31	71.02	MUY BUENO
M139	175	11+900	11+950	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M140	175	11+950	12+000	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M141	175	12+000	12+050	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M142	175	12+050	12+100	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M143	175	12+100	12+150	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M144	175	12+150	12+200	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M145	175	12+200	12+250	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M146	175	12+250	12+300	1.00	5.01	94.99	EXCELENTE
M147	175	12+300	12+350	2.00	30.65	77.41	MUY BUENO
M148	175	12+350	12+400	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M149	175	12+400	12+450	2.00	39.23	71.07	MUY BUENO
M150	175	12+450	12+500	2.00	41.80	69.19	BUENO
M151	175	12+500	12+550	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M152	175	12+550	12+600	2.00	38.97	71.27	MUY BUENO
M153	175	12+600	12+650	1.00	18.70	81.30	MUY BUENO
M154	175	12+650	12+700	2.00	36.57	73.02	MUY BUENO
M155	175	12+700	12+750	2.00	37.41	72.41	MUY BUENO
M156	175	12+750	12+800	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M157	175	12+800	12+850	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M158	175	12+850	12+900	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M159	175	12+900	12+950	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M160	175	12+950	13+000	1.00	10.33	89.67	EXCELENTE
M161	175	13+000	13+050	2.00	38.89	71.32	MUY BUENO
M162	175	13+050	13+100	1.00	10.42	89.58	EXCELENTE
M163	175	13+100	13+150	1.00	20.38	79.62	MUY BUENO
M164	175	13+150	13+200	1.00	13.60	86.40	EXCELENTE
M165	175	13+200	13+250	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M166	175	13+250	13+300	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M167	175	13+300	13+350	1.00	21.23	78.77	MUY BUENO
M168	175	13+350	13+400	1.00	19.14	80.86	MUY BUENO
M169	175	13+400	13+450	0.00	4.71	95.29	EXCELENTE
M170	175	13+450	13+500	1.00	11.65	88.35	EXCELENTE
M171	175	13+500	13+550	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M172	175	13+550	13+600	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M173	175	13+600	13+650	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M174	175	13+650	13+700	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE

CUADRO RESUMEN DE URCI SAN GREGORIO – SOCCSO (16/05/2016)							
Unidad de Muestreo	Área de muestreo(m ²)	PROGRESIVA		q	TDV	URCI	CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM				
M175	175	13+700	13+750	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M176	175	13+750	13+800	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M177	175	13+800	13+850	2.00	29.31	78.41	MUY BUENO
M178	175	13+850	13+900	2.00	34.95	74.22	MUY BUENO
M179	175	13+900	13+950	1.00	37.01	62.99	BUENO
M180	175	13+950	14+000	2.00	37.01	72.70	MUY BUENO
M181	175	14+000	14+050	2.00	38.65	71.50	MUY BUENO
M182	175	14+050	14+100	1.00	38.57	61.43	BUENO
M183	175	14+100	14+150	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M184	175	14+150	14+200	1.00	18.65	81.35	MUY BUENO
M185	175	14+200	14+250	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M186	175	14+250	14+300	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M187	175	14+300	14+350	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M188	175	14+350	14+400	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M189	175	14+400	14+450	1.00	24.63	75.37	MUY BUENO
M190	175	14+450	14+500	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M191	175	14+500	14+550	0.00	0.00	100.00	EXCELENTE
M192	175	14+550	14+600	1.00	15.47	84.53	MUY BUENO
M193	175	14+600	14+650	2.00	28.07	79.33	MUY BUENO
M194	175	14+650	14+700	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M195	175	14+700	14+750	2.00	40.93	69.83	BUENO
M196	175	14+750	14+800	2.00	31.89	76.49	MUY BUENO
M197	175	14+800	14+850	2.00	38.33	71.73	MUY BUENO
M198	175	14+850	14+900	1.00	22.47	77.53	MUY BUENO
M199	175	14+900	14+950	1.00	24.36	75.64	MUY BUENO
M200	175	14+950	15+000	1.00	38.57	61.43	BUENO
PROMEDIO						90.961	EXCELENTE

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

- **Medición del PASER**

Para medir el Índice de Valoración de Superficies Pavimentadas con grava (PASER) se trabajó con un odómetro, una regla de aluminio de 5.85 m, una wincha y una cámara fotográfica; en lo que respecta a personal se contó con un asistente y un ingeniero.

El trabajo realizado consistió en medir el PASER de cada unidad de la muestra, para esto previamente se definió en gabinete la medida de cada unidad teniendo en consideración las pautas descritas en el manual PASER, por lo que se optó por emplear unidades de 1 km, luego se sectorizó la muestra teniendo en cuenta dicha medida y finalmente se procedió a realizar la medición en campo, para ello el

ingeniero a cargo con apoyo del asistente se encargaron de tomar apuntes de las fallas observadas, con sus respectivos niveles de severidad y frecuencia, una vez terminado el recorrido se determinó in situ el nivel de PASER correspondiente, para ello previamente se analizó los apuntes tomados y se eligió el nivel PASER teniendo en cuenta las descripciones de la tabla N°2.

Los niveles de PASER observados en las fechas 22/10/2014 – 02/09/2015 – 16-05-2016, se encuentran contemplados en las tablas N° 27, 28 y 29

Tabla N° 27 Resultados de la medición del PASER, primera evaluación (22/07/2014) / APERTURA DE LA OBRA

CUADRO RESUMEN DE PASER SAN GREGORIO – SOCCSO (22/07/2014)				
Unidad de Muestreo	Longitud de muestreo(km)	PROGRESIVA		CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM	
M1	1	05+000	15+000	5

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

Tabla N° 28 Resultados de la medición del PASER, segunda evaluación (02/09/2015)

CUADRO RESUMEN DE PASER SAN GREGORIO – SOCCSO (02/09/2015)				
Unidad de Muestreo	Longitud de muestreo(km)	PROGRESIVA		CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM	
M1	1	05+000	06+000	5
M2	1	06+000	07+000	5
M3	1	07+000	08+000	5
M4	1	08+000	09+000	4
M5	1	09+000	10+000	5
M6	1	10+000	11+000	5
M7	1	11+000	12+000	4
M8	1	12+000	13+000	4
M9	1	13+000	14+000	5
M10	1	14+000	15+000	5

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

Tabla N° 29 Resultados de la medición del PASER, tercera evaluación (16/05/2016)

CUADRO RESUMEN DE PASER SAN GREGORIO – SOCCSO (16/05/2016)				
Unidad de Muestreo	Longitud de muestreo(km)	PROGRESIVA		CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM	
M1	1	05+000	06+000	5
M2	1	06+000	07+000	5
M3	1	07+000	08+000	5
M4	1	08+000	09+000	3
M5	1	09+000	10+000	5
M6	1	10+000	11+000	4
M7	1	11+000	12+000	3
M8	1	12+000	13+000	3
M9	1	13+000	14+000	3
M10	1	14+000	15+000	3

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

4.2.3 Análisis del estado de conservación de la superficie de rodadura.

- Sectorización de la muestra de estudio considerando las variables que influyen en el estado de conservación de la superficie de rodadura

Las variables que se van a considerar, son aquellas que influyen en el estado de conservación de la superficie de rodadura tales como, el tráfico, capacidad de soporte de la subrasante, espesor de capa de rodadura, tipo de material que compone la capa de rodadura, cota de sub rasante, pendiente, velocidad de operación, humedad relativa, temperatura, grado de compactación y contenido de sales.

A continuación, se procede a sectorizar la muestra de estudio teniendo en cuenta las variables precitadas.

Sectorización de la muestra de estudio considerando el Tráfico

No se emplea esta variable como criterio de sectorización, ya que la muestra a analizar es relativamente corta, 10 km, y en su longitud no se presentan desvíos ni ramificaciones, ver figura N°45, que pudieran generar una pérdida o aumento significativo del tráfico, de un sector respecto de otro. Por lo que se espera un mismo tráfico para toda la muestra de estudio.



Figura N° 45 Fragmento del Mapa vial de la provincia de Camaná departamento de Arequipa.
 Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Abril 2017

Sectorización de la muestra de estudio considerando la capacidad de soporte

Para realizar la sectorización de la muestra de estudio, mediante esta variable, ver tabla N°30, es necesario ampararse en el método de diferencias acumuladas, el cual se explica detalladamente en el apéndice J, de la Guía para Estructuras de Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

Tabla N° 30 CBR compuesto de Subrasante, calculado para el 95% de la MDS.

CBR COMPUESTO DE SUBRASANTE, CALCULADO PARA EL 95% DE LA MDS						
CAL.	MUE.	PROG.	PROF. (m)	CLASIF. AASHTO	CBR (0.1")	CBR (0.1")
					AL 95 % MDS	COMPUESTO
C-20	M-1	Km. 05+000	0.00 – 1.50	A-4(0)	8.5	8.5
C-24	M-1	Km. 06+000	0.00 - 1.50	A-4(0)	5.9	10*
C-28	M-1	Km. 07+000	0.00 – 1.00	A-1-a(0)	61.6	60.72
	M-2	Km. 07+000	1.00 - 1.50	A-1-b(0)	54	
C-32	M-1	Km. 08+000	0.00 - 1.50	A-1-a(0)	69.5	69.5
C-36	M-1	Km. 09+000	0.00 - 1.50	A-4(0)	6.1	10*
C-40	M-1	Km. 10+000	0.00 - 1.50	A-1-a(0)	63.8	63.8
C-44	M-1	Km. 11+000	0.00 – 1.00	A-1-a(0)	63.1	57.65
	M-2	Km. 11+000	1.00 - 1.50	A-1-b(0)	14	
C-48	M-1	Km. 12+000	0.00 - 0.70	A-1-b(0)	12.7	8.03
	M-2	Km. 12+000	0.70 - 1.50	A-4(0)	4.9	
C-52	M-1	Km. 13+000	0.00 - 0.70	A-1-a(0)	73.8	33.02
	M-2	Km. 13+000	0.70 - 1.50	A-4(0)	5.7	
C-56	M-1	Km. 14+000	0.00 - 1.50	A-1-a(0)	71.9	71.9
C-60	M-1	Km. 15+000	0.00 - 1.50	A-1-a (0)	60.3	60.3

*Se considera para la aplicación del método diferencias acumuladas, elevar los CBRs compuestos de los sectores con subrasante inadecuada o insuficiente, CBR <6%, a un mínimo de 10%, ya que en el proceso constructivo del tramo II se han mejorado estos sectores con materiales granulares de cantera cuyo CBR era >10%.

Fuente: CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS

Luego de aplicar el método de diferencias acumuladas, se propone la figura N°46, que permite dividir la muestra de estudio en 6 sectores.

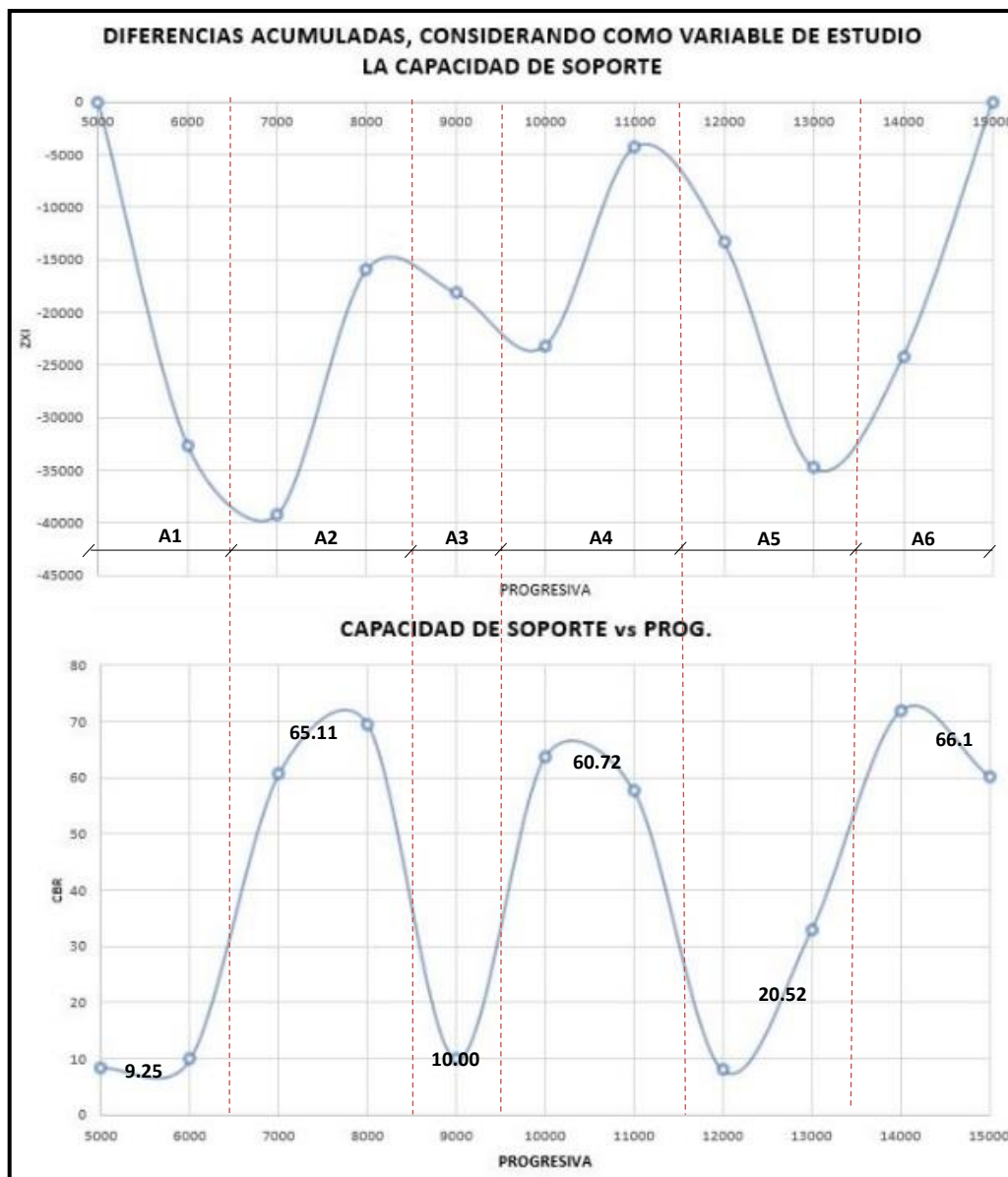


Figura N° 46 Sectorización de la muestra de estudio en función del CBR.

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. Abril 2017

La capacidad de soporte promedio correspondiente a cada sector Homogéneo, se muestra en la Tabla N°31

Tabla N° 31 Capacidad de soporte promedio correspondiente a cada sector Homogéneo.

SECTOR	PROG. IINICIAL	PROG. FINAL	CBR PROMEDIO
A1	5+000	6+500	9.25
A2	6+500	8+500	65.11
A3	8+500	9+500	10.00
A4	9+500	11+500	60.72

SECTOR	PROG. INICIAL	PROG. FINAL	CBR PROMEDIO
A5	11+500	13+500	20.52
A6	13+500	15+000	66.10

Fuente: CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS

A continuación, se procede a describir los tipos de suelo que componen la subrasante de cada sector, considerando la información de clasificación de suelos realizada por el CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS.

Sector A-1 (Km 05+000 – km 06+500)

Los suelos que componen la subrasante del presente sector, están compuestos principalmente por suelos de grano fino no plásticos, del tipo ML, que representa el 57% del total. El 43 % restante corresponde a suelos de grano grueso no plásticos del tipo GM, SM y SP.

A continuación, se muestra una imagen estadística, que permite visualizar la distribución de suelos que componen la subrasante del sector A-1, según el sistema de clasificación AASHTO.

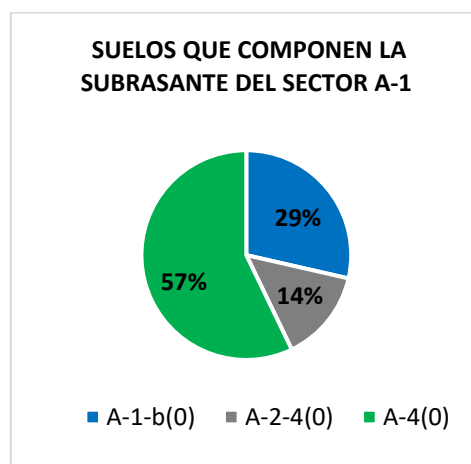


Figura N° 47 Distribución de suelos que componen la subrasante del Sector A-1, según el sistema de clasificación AASHTO.

Fuente: Elaboración Propia

Sector A-2 (Km 06+500 – km 08+500)

Los suelos que componen la subrasante del presente sector, están compuestos totalmente por suelos de grano grueso no plásticos, del tipo GP, GP-GM, GW, SM, SP y SP-SM. De ellos el que más predomina es el suelo tipo grava pobremente graduada, GP, que representa el 36% del total.

A continuación, se muestra una imagen estadística, que permite visualizar la distribución de suelos que componen la subrasante del sector A-2, según el sistema de clasificación AASHTO.

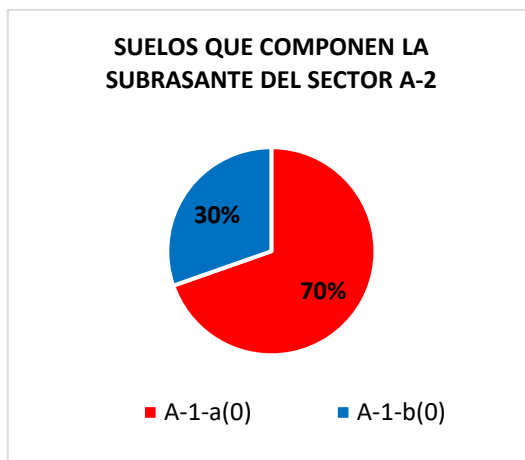


Figura N° 48 Distribución de suelos que componen la subrasante del Sector A-2, según el sistema de clasificación AASHTO.

Fuente: Elaboración Propia

Sector A-3 (Km 08+500 – km 09+500)

Los suelos que componen la subrasante del presente sector, están compuestos principalmente por suelos de grano grueso no plásticos, 60% del total, del tipo GM, GP-GM y SP-SM. El 40 % restante corresponde a suelos de grano fino no plásticos del tipo ML.

A continuación, se muestra una imagen estadística, que permite visualizar la distribución de suelos que componen la subrasante del sector A-3, según el sistema de clasificación AASHTO.

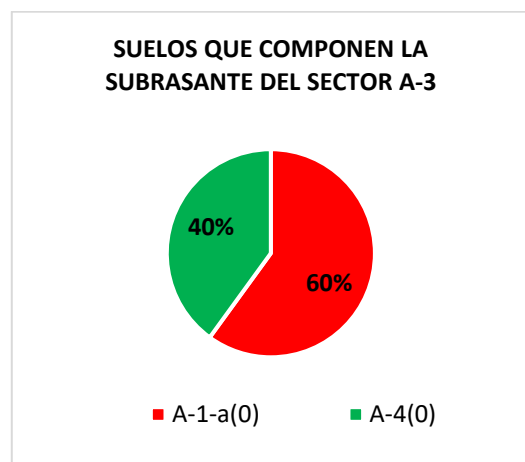


Figura N° 49 Distribución de suelos que componen la subrasante del Sector A3, según el sistema de clasificación AASHTO.

Fuente: Elaboración Propia

Sector A-4 (Km 09+500 – km 11+500)

Los suelos que componen la subrasante del presente sector, están compuestos principalmente por suelos de grano grueso no plásticos, 93% del total, del tipo GP, GM, GP-GM, GW, GW-GM y SM. El 7 % restante está compuesto por suelos de grano fino no plástico del tipo ML.

De todos los tipos de suelos encontrados, de grano grueso y grano fino, el que más predomina es el suelo tipo GP, que representa el 30 % del total.

A continuación, se muestra una imagen estadística, que permite visualizar la distribución de suelos que componen la subrasante del sector A-4 según el sistema de clasificación AASHTO.

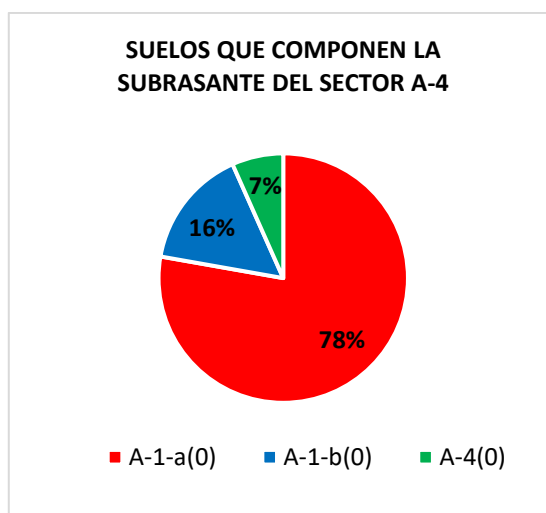


Figura N° 50 Distribución de suelos que componen la subrasante del Sector A4, según el sistema de clasificación AASHTO.

Fuente: Elaboración Propia

Sector A-5 (Km 11+500 – km 13+500)

Los suelos que componen la subrasante del presente sector, están compuestos principalmente por suelos de grano grueso no plásticos, 75% del total, del tipo GM-GP, GM y SM. El 25 % restante está compuesto por suelos de grano fino no plástico del tipo ML.

De todos los tipos de suelos encontrados, de grano grueso y grano fino, el que más predomina es el suelo tipo GM-GP, que representa el 38 % del total.

A continuación, se muestra una imagen estadística, que permite visualizar la distribución de suelos que componen la subrasante del sector A-5 según el sistema de clasificación AASHTO.

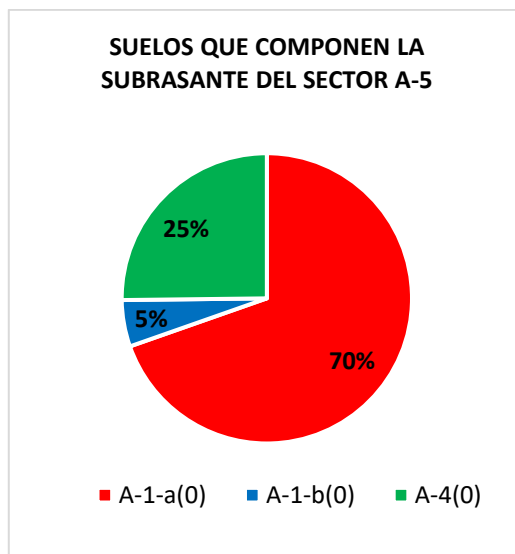


Figura Nº 51 Distribución de suelos que componen la subrasante del Sector A5, según el sistema de clasificación AASHTO.

Fuente: Elaboración Propia

Sector A-6 (Km 13+500 – km 15+000)

Los suelos que componen la subrasante del presente sector, están compuestos totalmente por suelos de grano grueso no plásticos, del tipo GP-GM, GM y GP. De ellos el que más predomina es el suelo tipo GP-GM, que representa el 57 % del total.

A continuación, se muestra una imagen estadística, que permite visualizar la distribución de suelos que componen la subrasante del sector A-6 según el sistema de clasificación AASHTO.

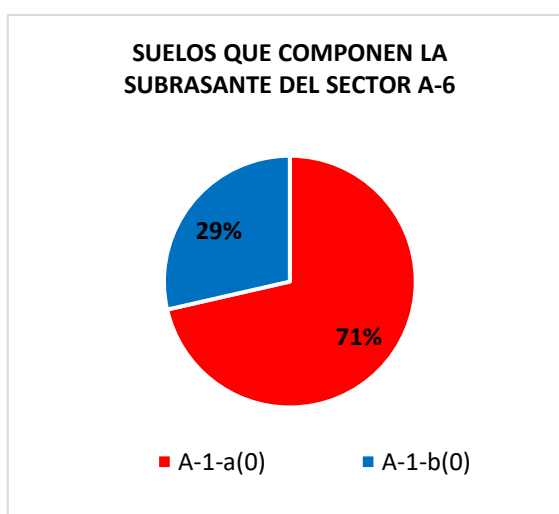


Figura Nº 52 Distribución de suelos que componen la subrasante del Sector A-6, según el sistema de clasificación AASHTO.

Fuente: Elaboración Propia

Sectorización de la muestra de estudio considerando el espesor de Capa de Rodadura

No se emplea esta variable como criterio de sectorización, ya que la muestra a analizar posee un único espesor de capa de rodadura, 15cm, que fue corroborado mediante la ejecución de mini calicatas.

Sectorización de la muestra de estudio considerando el tipo de Material que compone la capa de rodadura

No se emplea esta variable como criterio de sectorización, ya que el material empleado para la conformación de la capa de rodadura, de la muestra de estudio, fue extraído de tres canteras que poseen similares propiedades físicas y mecánicas.

A continuación, se muestra de manera resumida las propiedades de las canteras que intervinieron en la conformación de capa de rodadura.

Tabla Nº 32 Propiedades físicas y mecánicas de la Cantera de cerro del Km 09+550 al Km 09+950.

PROPIEDADES	VALORES
W%. Nat.	1.57 %
Pasa #4	48%
Pasa #200	8%
LL	17%
IP	NP
Clas. SUCS	GP-GM
Clas. AASHTO	A-1-a (0)
Equivalente de Arena	51%
MDS de Proctor	2.20 g/cc
OCH de Proctor	6%
CBR 0.1" al 95% de la MDS	75%
Abrasión	31%

Fuente: CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS

Tabla Nº 33 Propiedades físicas y mecánicas de la Cantera de cerro del Km 10+100 al Km 10+330.

PROPIEDADES	VALORES
W%. Nat.	1.13 %
Pasa #4	51%
Pasa #200	12%
LL	19%
IP	NP
Clas. SUCS	GP-GM
Clas. AASHTO	A-1-a (0)
Equivalente de Arena	39%
MDS de Proctor	2.20 g/cc
OCH de Proctor	5.4%
CBR 0.1" al 95% de la MDS	77%
Abrasión	33%

Fuente: CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS

Tabla N° 34 Propiedades físicas y mecánicas de la Cantera de cerro del Km 14+180 al Km 15+220.

PROPIEDADES	VALORES
W%. Nat.	1.13 %
Pasa #4	51%
Pasa #200	13%
LL	18%
IP	NP
Clas. SUCS	GM
Clas. AASHTO	A-1-a (0)
Equivalente de Arena	39%
MDS de Proctor	2.19 g/cc
OCH de Proctor	5.7%
CBR 0.1" al 95% de la MDS	77%
Abrasión	33%

Fuente: CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS

Sectorización de la muestra de estudio considerando la cota de rasante

No se emplea esta variable como criterio de sectorización, ya que la muestra en análisis es relativamente corta, 10 km, y no presenta un incremento desmesurado de la altitud, ver fig. N°53.

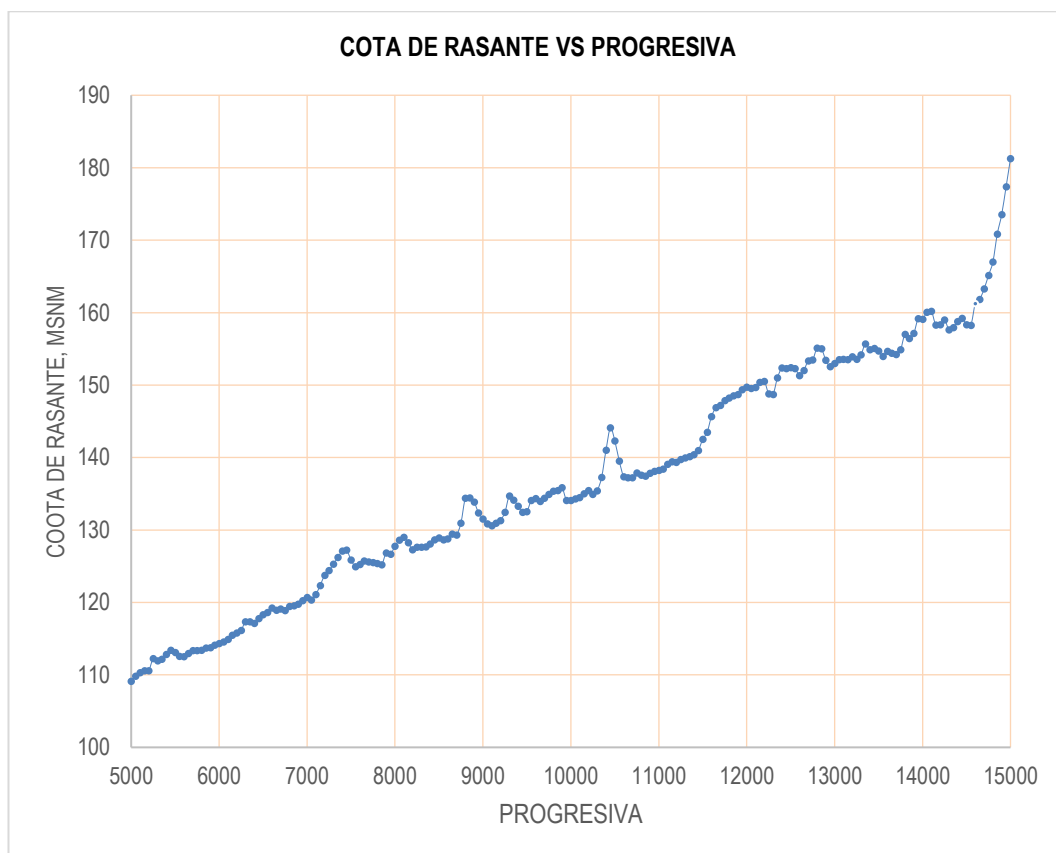


Figura N° 53 Cota de la rasante vs progresiva

Fuente: Elaboración Propia

Sectorización de la muestra de estudio considerando la pendiente de la rasante

Para sectorizar la muestra de estudio considerando las pendientes de la rasante se emplea el método de DIFERENCIAS ACUMULADAS, el cual consiste previamente en elaborar un cuadro con pendientes de la rasante cada 50m, el cual se emplea como variable de estudio al aplicar el método de diferencia acumuladas, ver Fig. 54, posteriormente se sectoriza y calcula la pendiente promedio de cada sector homogéneo, los cuales se muestran en la Tabla N°35; finalmente se realiza un gráfico que muestre los pendientes promedios por cada sector homogéneo, ver fig. N° 55.

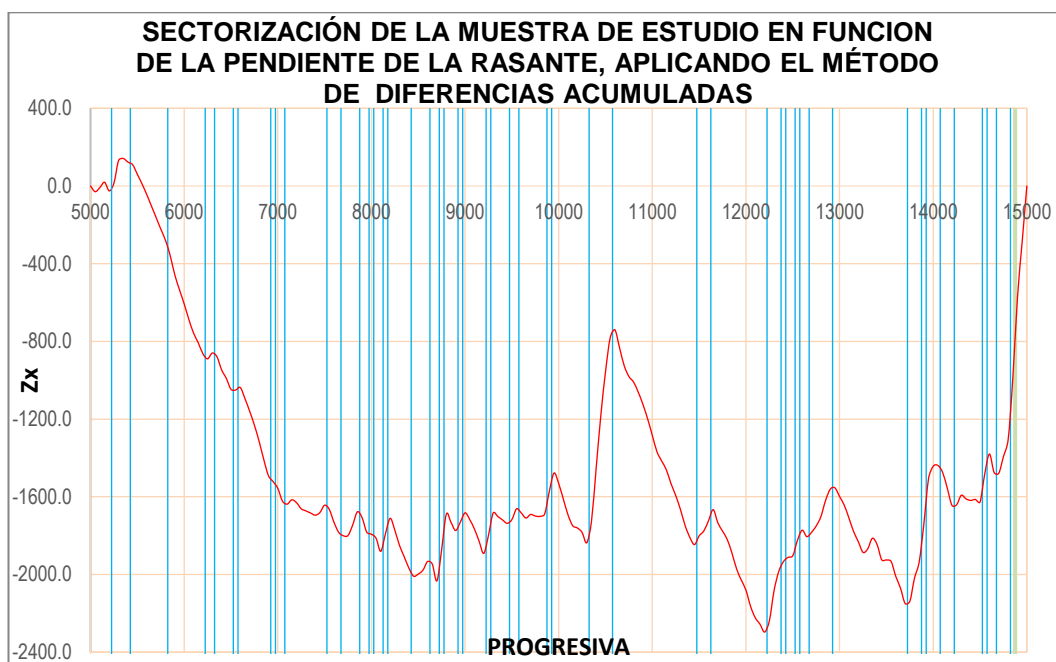


Figura N° 54 Grafico que se obtiene luego de aplicar el método de DIFERENCIAS ACUMULADAS, empleando como variable de estudio las pendientes de la rasante.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 35 Pendiente promedio de la rasante por cada sector homogéneo

SECTOR HOMOGENEO	PROGRESIVA		PENDIENTE PROMEDIO POR CADA SECTOR HOMOGENEO
	INICIO	FIN	
1	05+000	05+225	1.7
2	05+225	05+425	3.0
3	05+425	05+825	0.9
4	05+825	06+225	0.5
5	06+225	06+325	2.6
6	06+325	06+525	0.8
7	06+525	06+575	3.7
8	06+575	06+925	0.5
9	06+925	06+975	2.2

SECTOR HOMOGENEO	PROGRESIVA		PENDIENTE PROMEDIO POR CADA SECTOR HOMOGENEO
	INICIO	FIN	
10	06+975	07+075	0.7
11	07+075	07+525	2.1
12	07+525	07+675	0.8
13	07+675	07+875	2.7
14	07+875	07+975	0.5
15	07+975	08+025	3.1
16	08+025	08+125	0.7
17	08+125	08+175	6.4
18	08+175	08+425	0.7
19	08+425	08+625	2.6
20	08+625	08+725	0.3
21	08+725	08+775	10.2
22	08+775	08+925	1.2
23	08+925	08+975	4.6
24	08+975	09+225	1.0
25	09+225	09+275	7.0
26	09+275	09+475	1.7
27	09+475	09+575	3.1
28	09+575	09+875	1.9
29	09+875	09+925	6.3
30	09+925	10+325	1.0
31	10+325	10+575	6.7
32	10+575	11+475	0.7
33	11+475	11+625	3.6
34	11+625	12+225	0.9
35	12+225	12+375	4.1
36	12+375	12+425	4.1
37	12+425	12+525	2.2
38	12+525	12+575	4.8
39	12+575	12+675	1.4
40	12+675	12+925	3.2
41	12+925	13+725	1.2
42	13+725	13+875	3.9
43	13+875	13+925	8.9
44	13+925	14+075	2.9
45	14+075	14+225	0.3
46	14+225	14+525	2.2
47	14+525	14+575	8.1
48	14+575	14+675	0.1
49	14+675	14+825	3.7
50	14+825	14+875	13.0
51	14+875	15+000	7.8

Fuente: Elaboración propia

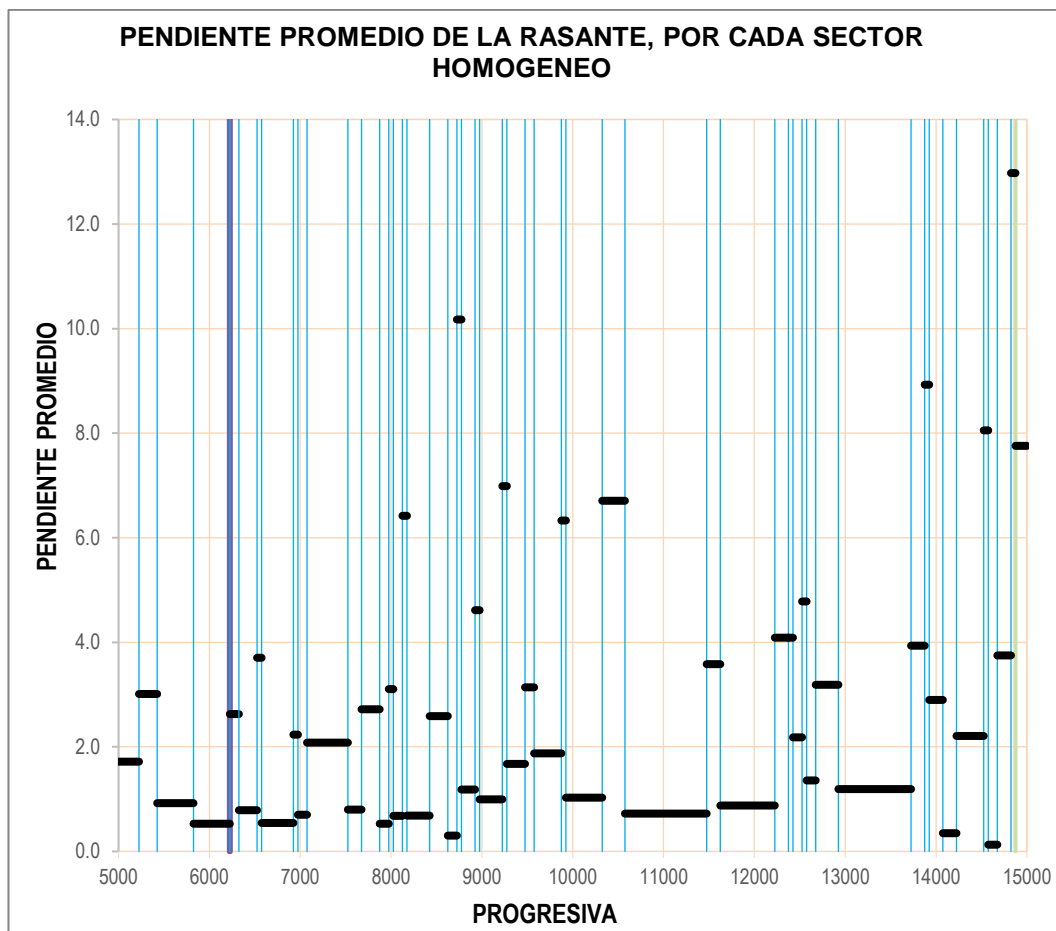


Figura N° 55 Pendiente promedio de la rasante por cada sector

Fuente: Elaboración Propia

Sectorización de la muestra de estudio considerando la velocidad de operación

Para determinar las velocidades de operación que presenta la muestra de estudio, se considera las velocidades en las curvas, ya que son los lugares donde se espera que la velocidad de operación sea menor; para ello se emplea la ecuación de Fitzpatrick, ver tabla N°36, que relaciona la velocidad de operación con el radio de curvatura, este último se conoce del expediente de diseño geométrico realizado por la empresa consultora CONSORCIO CONSULTORES Y ASOCIADOS.

Tabla N° 36 Ecuaciones de Fitzpatrick para la estimación de las velocidades de operación.

	Condiciones de alineamiento	Ecuación
1	Curva horizontal sobre pendiente (-9% < i < -4%)	$V_{85} = 102.10 - \frac{3077.13}{R}$
2	Curva horizontal sobre pendiente (-4% < i < 0%)	$V_{85} = 105.98 - \frac{3709.90}{R}$
3	Curva horizontal sobre pendiente (0% < i < 4%)	$V_{85} = 104.82 - \frac{3574.51}{R}$
4	Curva horizontal sobre pendiente (4% < i < 9%)	$V_{85} = 96.61 - \frac{2752.19}{R}$
5	Curva horizontal combinada con curvas cóncavas (sag)	$V_{85} = 105.32 - \frac{3438.19}{R}$
6	Curva horizontal combinada con curvas convexas sin limitación de visibilidad	(Nota 2)
7	Curva horizontal combinada con curvas convexas con limitación de visibilidad (K ≤ 43 m / %)	$V_{85} = 103.24 - \frac{3576.51}{R}$; (nota 2)
8	Curva vertical cóncava sobre recta horizontal	V ₈₅ se asume como la velocidad deseada
9	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad no limitada (K > 43 m / %) sobre recta horizontal	V ₈₅ se asume como la velocidad deseada
10	Curva vertical convexa con distancia de visibilidad limitada (K ≤ 43 m / %) sobre recta horizontal	$V_{85} = 105.08 - \frac{149.69}{K}$

Notas:

1. Emplear el menor valor de V₈₅ resultante de las ecuaciones 1, 2, 3 y 4.
2. V₈₅= percentil 85 de velocidad de automóviles
3. R= radio de curvatura

Fuente: Manual de carreteras del MTC DG-2018

A continuación, se muestra una tabla donde figuran las progresivas de inicio y fin, las longitudes, los radios de curvatura y la velocidad de operación de cada curva, calculada a partir de la ecuación de Fitzpatrick.

Tabla N° 37 Tabla donde se muestra la velocidad de operación, V₈₅, calculada a partir del radio de curvatura

PC	PT	LC	RADIO	ECUACIÓN DE FITZPATRICK				V ₈₅
				1	2	3	4	
05+028	05+047	18.8	55	46.2	38.5	39.8	46.6	38.5
05+079	05+109	30.6	80	63.6	59.6	60.1	62.2	59.6
05+123	05+153	29.8	75	61.1	56.5	57.2	59.9	56.5
05+212	05+227	14.6	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
05+242	05+296	53.9	61	51.7	45.2	46.2	51.5	45.2
05+307	05+330	23.7	70	58.1	53.0	53.8	57.3	53.0
05+379	05+403	23.4	40	25.2	13.2	15.5	27.8	13.2
05+444	05+468	24.5	75	61.1	56.5	57.2	59.9	56.5
05+482	05+505	22.7	65	54.8	48.9	49.8	54.3	48.9

PC	PT	LC	RADIO	ECUACIÓN DE FITZPATRICK				V ₈₅
				1	2	3	4	
05+549	05+578	28.9	106	73.1	71.0	71.1	70.6	70.6
05+646	05+661	15.4	150	81.6	81.2	81.0	78.3	78.3
05+677	05+705	28.4	145	80.9	80.4	80.2	77.6	77.6
05+838	05+850	12.3	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
05+857	05+884	27.4	65	54.8	48.9	49.8	54.3	48.9
05+901	05+917	16.4	50	40.6	31.8	33.3	41.6	31.8
05+929	05+953	24.1	74	60.5	55.8	56.5	59.4	55.8
05+984	06+023	38.8	190	85.9	86.5	86.0	82.1	82.1
06+047	06+107	59.3	440	95.1	97.5	96.7	90.4	90.4
06+199	06+212	12.9	105	72.8	70.6	70.8	70.4	70.4
06+212	06+264	52.4	355.75	93.5	95.6	94.8	88.9	88.9
06+284	06+319	35.9	90	67.9	64.8	65.1	66.0	64.8
06+329	06+340	10.3	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
06+403	06+413	10.4	60	50.8	44.1	45.2	50.7	44.1
06+458	06+468	10.3	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
06+497	06+534	36.8	107	73.3	71.3	71.4	70.9	70.9
06+541	06+611	70.5	520	96.2	98.8	97.9	91.3	91.3
06+663	06+682	19.0	76	61.6	57.2	57.8	60.4	57.2
06+715	06+735	20.0	42	28.8	17.6	19.7	31.1	17.6
06+743	06+765	22.4	43	30.5	19.7	21.7	32.6	19.7
06+796	06+810	13.3	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
06+961	06+971	10.7	72	59.4	54.5	55.2	58.4	54.5
06+971	07+020	48.8	203.01	86.9	87.7	87.2	83.1	83.1
07+046	07+072	25.6	76	61.6	57.2	57.8	60.4	57.2
07+083	07+106	22.9	34	11.6	-3.1	-0.3	15.7	11.6
07+197	07+224	26.8	60	50.8	44.1	45.2	50.7	44.1
07+252	07+298	46.0	130	78.4	77.4	77.3	75.4	75.4
07+363	07+388	24.9	55	46.2	38.5	39.8	46.6	38.5
07+411	07+445	34.3	145	80.9	80.4	80.2	77.6	77.6
07+445	07+493	48.1	142.88	80.6	80.0	79.8	77.3	77.3
07+515	07+539	23.9	95	69.7	66.9	67.2	67.6	66.9
07+606	07+637	31.2	245	89.5	90.8	90.2	85.4	85.4
07+669	07+691	22.1	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
07+703	07+746	43.0	115	75.3	73.7	73.7	72.7	72.7
07+864	07+882	18.1	40	25.2	13.2	15.5	27.8	13.2
07+912	07+930	17.6	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
07+935	07+959	23.6	85	65.9	62.3	62.8	64.2	62.3
08+019	08+036	16.7	85	65.9	62.3	62.8	64.2	62.3
08+051	08+090	38.9	120	76.5	75.1	75.0	73.7	73.7
08+107	08+155	47.7	75	61.1	56.5	57.2	59.9	56.5
08+271	08+292	21.5	40	25.2	13.2	15.5	27.8	13.2

PC	PT	LC	RADIO	ECUACIÓN DE FITZPATRICK				V ₈₅
				1	2	3	4	
08+306	08+334	28.0	50	40.6	31.8	33.3	41.6	31.8
08+344	08+370	26.9	90	67.9	64.8	65.1	66.0	64.8
08+379	08+406	26.9	90	67.9	64.8	65.1	66.0	64.8
08+413	08+513	99.6	1250	99.6	103.0	102.0	94.4	94.4
08+630	08+666	36.1	85	65.9	62.3	62.8	64.2	62.3
08+690	08+713	22.7	65	54.8	48.9	49.8	54.3	48.9
08+743	08+806	62.1	70	58.1	53.0	53.8	57.3	53.0
08+832	08+861	29.4	75	61.1	56.5	57.2	59.9	56.5
08+871	08+903	32.3	100	71.3	68.9	69.1	69.1	68.9
08+944	08+998	54.1	65	54.8	48.9	49.8	54.3	48.9
08+998	09+037	38.9	125	77.5	76.3	76.2	74.6	74.6
09+040	09+061	21.3	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
09+142	09+161	18.5	40	25.2	13.2	15.5	27.8	13.2
09+172	09+216	44.1	145	80.9	80.4	80.2	77.6	77.6
09+216	09+249	32.8	70.05	58.2	53.0	53.8	57.3	53.0
09+265	09+287	21.6	50	40.6	31.8	33.3	41.6	31.8
09+311	09+374	63.3	57	48.1	40.9	42.1	48.3	40.9
09+385	09+398	12.8	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
09+462	09+491	29.2	44	32.2	21.7	23.6	34.1	21.7
09+513	09+536	22.6	64	54.0	48.0	49.0	53.6	48.0
09+602	09+640	37.7	90	67.9	64.8	65.1	66.0	64.8
09+649	09+711	62.0	37	18.9	5.7	8.2	22.2	5.7
09+758	09+804	45.8	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
09+873	09+898	24.6	45	33.7	23.5	25.4	35.5	23.5
09+918	09+940	22.6	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
09+940	09+991	51.4	208.89	87.4	88.2	87.7	83.4	83.4
10+002	10+119	116.4	680	97.6	100.5	99.6	92.6	92.6
10+126	10+149	23.2	135	79.3	78.5	78.3	76.2	76.2
10+225	10+251	25.7	120	76.5	75.1	75.0	73.7	73.7
10+310	10+363	52.5	690	97.6	100.6	99.6	92.6	92.6
10+449	10+471	22.7	129	78.2	77.2	77.1	75.3	75.3
10+471	10+573	101.9	1344	99.8	103.2	102.2	94.6	94.6
10+589	10+662	73.2	670	97.5	100.4	99.5	92.5	92.5
10+799	10+836	36.6	335	92.9	94.9	94.1	88.4	88.4
10+904	10+916	11.6	84	65.5	61.8	62.3	63.8	61.8
11+102	11+114	12.1	45	33.7	23.5	25.4	35.5	23.5
11+135	11+155	19.9	100	71.3	68.9	69.1	69.1	68.9
11+186	11+241	55.1	542	96.4	99.1	98.2	91.5	91.5
11+421	11+437	15.6	305	92.0	93.8	93.1	87.6	87.6
11+467	11+514	47.4	60	50.8	44.1	45.2	50.7	44.1
11+552	11+567	15.3	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9

PC	PT	LC	RADIO	ECUACIÓN DE FITZPATRICK				V ₈₅
				1	2	3	4	
11+885	11+897	11.4	15	-103.0	-141.3	-133.5	-86.9	0.0
11+940	11+956	16.5	13	-134.6	-179.4	-170.1	-115.1	0.0
12+167	12+195	28.5	35	14.2	0.0	2.7	18.0	2.7
12+254	12+267	13.4	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
12+311	12+327	16.0	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
12+360	12+390	30.0	560	96.6	99.4	98.4	91.7	91.7
12+439	12+472	33.5	90	67.9	64.8	65.1	66.0	64.8
12+489	12+519	29.7	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
12+595	12+610	15.4	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
12+623	12+634	11.2	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
12+666	12+683	17.3	100	71.3	68.9	69.1	69.1	68.9
12+695	12+721	26.4	174	84.4	84.7	84.3	80.8	80.8
12+761	12+774	12.5	40	25.2	13.2	15.5	27.8	13.2
12+859	12+873	14.7	90	67.9	64.8	65.1	66.0	64.8
12+903	12+913	10.2	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
12+934	12+948	14.5	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
12+956	12+988	31.8	70	58.1	53.0	53.8	57.3	53.0
12+988	13+019	31.5	112.78	74.8	73.1	73.1	72.2	72.2
13+027	13+054	26.5	90	67.9	64.8	65.1	66.0	64.8
13+067	13+081	13.5	115	75.3	73.7	73.7	72.7	72.7
13+144	13+177	32.4	42	28.8	17.6	19.7	31.1	17.6
13+241	13+267	26.1	50	40.6	31.8	33.3	41.6	31.8
13+355	13+370	14.8	140	80.1	79.5	79.3	77.0	77.0
13+417	13+443	25.9	85	65.9	62.3	62.8	64.2	62.3
13+508	13+527	19.0	45	33.7	23.5	25.4	35.5	23.5
13+552	13+576	23.8	45	33.7	23.5	25.4	35.5	23.5
13+631	13+642	11.1	40	25.2	13.2	15.5	27.8	13.2
13+693	13+724	31.0	135	79.3	78.5	78.3	76.2	76.2
13+747	13+781	34.9	86	66.3	62.8	63.3	64.6	62.8
13+814	13+830	15.9	80	63.6	59.6	60.1	62.2	59.6
13+888	13+909	21.7	60	50.8	44.1	45.2	50.7	44.1
13+922	13+940	17.3	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
13+945	13+970	25.2	80	63.6	59.6	60.1	62.2	59.6
14+026	14+053	26.7	225	88.4	89.5	88.9	84.4	84.4
14+088	14+115	27.4	65	54.8	48.9	49.8	54.3	48.9
14+178	14+190	12.4	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
14+261	14+275	14.2	70	58.1	53.0	53.8	57.3	53.0
14+293	14+305	12.8	40	25.2	13.2	15.5	27.8	13.2
14+325	14+336	10.4	65	54.8	48.9	49.8	54.3	48.9
14+419	14+452	32.8	33	8.9	-6.4	-3.5	13.2	8.9
14+481	14+497	15.7	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9

PC	PT	LC	RADIO	ECUACIÓN DE FITZPATRICK				V ₈₅
				1	2	3	4	
14+533	14+563	30.2	115	75.3	73.7	73.7	72.7	72.7
14+586	14+611	24.6	77	62.1	57.8	58.4	60.9	57.8
14+764	14+790	25.8	30	-0.5	-17.7	-14.3	4.9	4.9
14+808	14+845	36.3	22	-37.8	-62.7	-57.7	-28.5	0.0
14+874	14+900	25.8	85	65.9	62.3	62.8	64.2	62.3

Fuente: Elaboración propia

Una vez calculado la velocidad de operación en cada curva, y conociendo su progresiva de inicio y fin, se divide la muestra de estudio en sectores homogéneos, mediante el empleo del METODO DE DIFERENCIAS ACUMULADAS, ver fig. N°56, posteriormente, se calcula la velocidad de operación promedio de cada sector homogéneo; la tabla N°38 muestra las progresivas que comprende cada sector homogéneo con sus respectivas velocidades de operación promedio. Finalmente se elabora un gráfico, que muestra la velocidad de operación promedio, por cada sector, ver Fig. N°57.

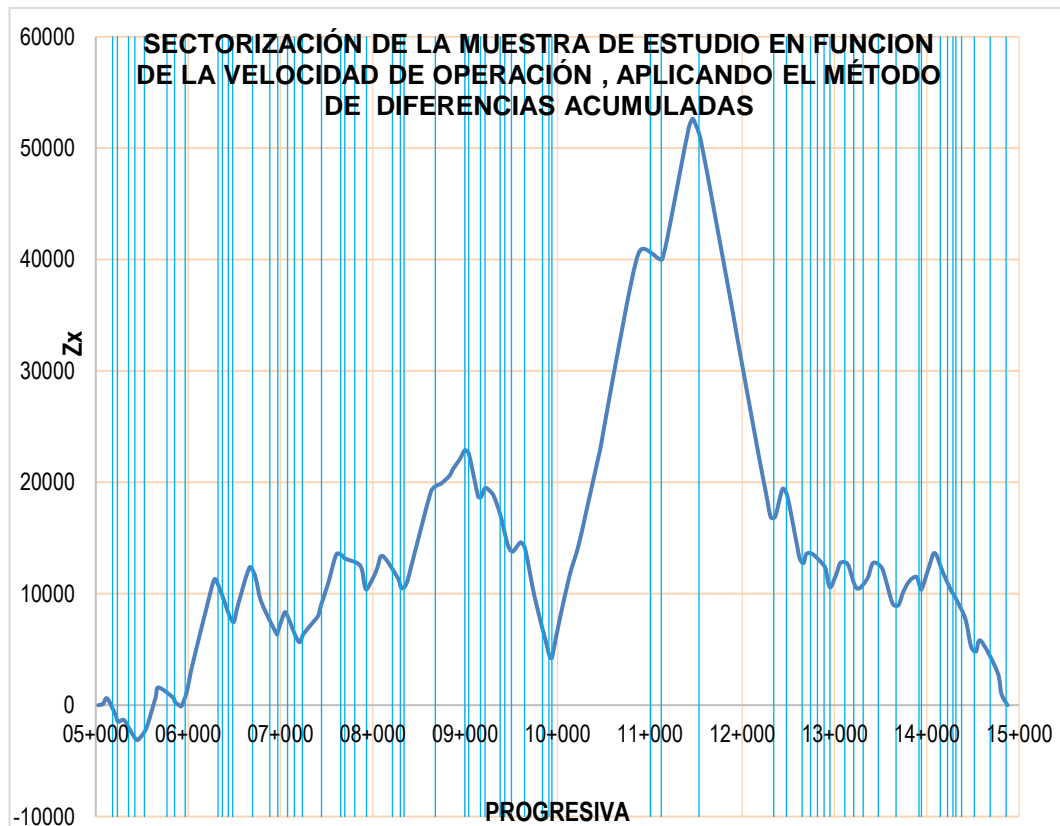


Figura N° 56 Gráfico que se obtiene luego de aplicar el método de DIFERENCIAS ACUMULADAS, empleando como variable de estudio la velocidad de operación.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 38 Velocidad de operación promedio por cada sector homogéneo

SECTOR HOMOGÉNEO	PROGRESIVA		VELOCIDAD DE OPERACIÓN PROMEDIO
	INICIO	FIN	
1	05+000	05+183	51.5
2	05+183	05+234	4.9
3	05+234	05+355	49.1
4	05+355	05+423	13.2
5	05+423	05+527	52.7
6	05+527	05+771	75.5
7	05+771	05+853	4.9
8	05+853	05+969	45.5
9	05+969	06+324	79.3
10	06+324	06+371	4.9
11	06+371	06+436	44.1
12	06+436	06+482	4.9
13	06+482	06+698	73.1
14	06+698	06+885	14.1
15	06+885	06+971	54.5
16	06+971	07+077	70.1
17	07+077	07+151	11.6
18	07+151	07+238	44.1
19	07+238	07+445	63.9
20	07+445	07+653	76.6
21	07+653	07+697	4.9
22	07+697	07+805	72.7
23	07+805	07+932	9.1
24	07+932	08+213	63.7
25	08+213	08+299	13.2
26	08+299	08+339	31.8
27	08+339	08+678	71.6
28	08+678	08+998	55.2
29	08+998	09+038	74.6
30	09+038	09+166	9.1
31	09+166	09+216	77.6
32	09+216	09+380	41.9
33	09+380	09+430	4.9
34	09+430	09+502	21.7
35	09+502	09+644	56.4
36	09+644	09+839	5.3
37	09+839	09+908	23.5
38	09+908	09+940	4.9
39	09+940	11+009	83.1
40	11+009	11+125	23.5
41	11+125	11+533	73.0
42	11+533	12+343	2.9
43	12+343	12+481	78.2
44	12+481	12+650	4.9
45	12+650	12+741	74.8
46	12+741	12+816	13.2
47	12+816	12+888	64.8

SECTOR HOMOGÉNEO	PROGRESIVA		VELOCIDAD DE OPERACIÓN PROMEDIO
	INICIO	FIN	
48	12+888	12+952	4.9
49	12+952	13+112	65.7
50	13+112	13+209	17.6
51	13+209	13+311	31.8
52	13+311	13+476	69.6
53	13+476	13+668	20.1
54	13+668	13+916	60.7
55	13+916	13+942	4.9
56	13+942	14+147	64.3
57	14+147	14+225	4.9
58	14+225	14+284	53.0
59	14+284	14+315	13.2
60	14+315	14+377	48.9
61	14+377	14+515	6.9
62	14+515	14+687	65.2
63	14+687	14+859	2.4
64	14+859	15+000	62.3

Fuente: Elaboración propia

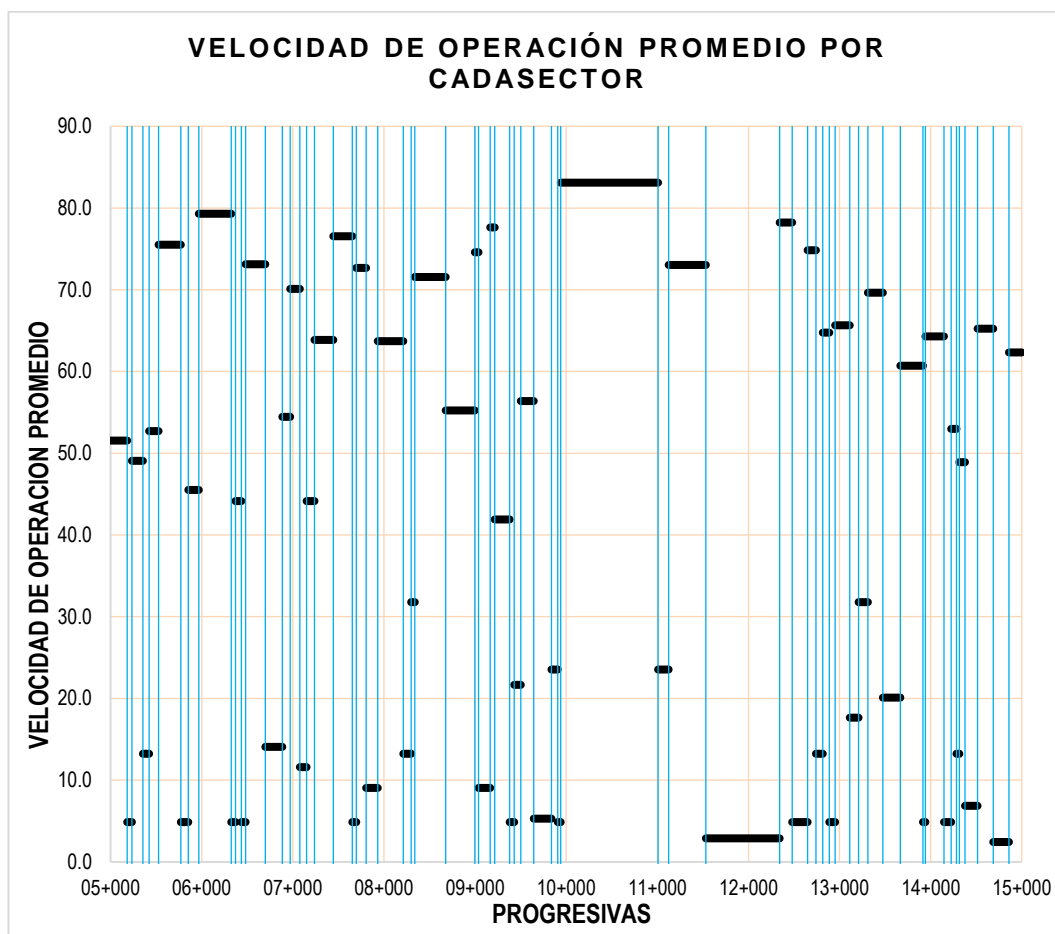


Figura N° 57 Velocidad de operación promedio por cada sector

Fuente: Elaboración Propia

Sectorización de la muestra de estudio considerando la humedad relativa y temperatura

Para determinar la humedad relativa y temperatura que presenta la muestra de estudio, se emplea un equipo de medición portátil, con el cual se realiza mediciones en distintos puntos de la muestra de estudio, obteniéndose como resultado los valores que se mencionan en la tabla N°39.

Tabla N° 39 Resultados de la medición de la humedad relativa y temperatura, fecha de medición 20/06/2017

CUADRO RESUMEN DE LAS HUMEDADES RELATIVAS Y TEMPERATURAS PRESENTES A LO LARGO DE LA MUESTRA DE ESTUDIO, fecha de medición (20/06/2017)			
PROGRESIVA	HUMEDAD RELATIVA	TEMPERATURA	HORA DE MEDICIÓN
Km 15+000	43.6 %	27.4 C°	12: 20
Km 14+020	43.2 %	28.3 C°	13 :51
Km 13+005	37.8 %	33.0 C°	13: 59
Km 12+000	51.7 %	25.7 C°	14 :08
Km 10+800	40.9 %	31.4 C°	14: 22
Km 09+000	43.9 %	29.9 C°	14 :36
Km 08+850	51.7 %	25.7 C°	14:42
Km 08+000	53.8 %	26.3 C°	14 :47
Km 07+450	47.0 %	29.2 C°	14: 54
Km 07+000	48.9 %	28.1 C°	15 :01
Km 06+000	51.3 %	26.9 C°	15:07

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos se desprende que tanto la humedad relativa como la temperatura presentan un comportamiento uniforme, mostrando desviaciones estándar muy bajas de 4.95 y 2.24 respectivamente.

Los resultados obtenidos no permiten realizar alguna sectorización, pues la muestra de estudio presenta humedades relativas y temperaturas uniformes a lo largo de toda la vía.

Sectorización de la muestra de estudio considerando el grado de compactación y contenido de sales.

Para la extracción de muestras de la capa de rodadura, se considera extraer la menor cantidad posible, pues la presente evaluación tiene como principio no dañar la superficie de rodadura. Por lo que únicamente se extrae cinco muestras, las que se ubican en áreas donde la superficie de rodadura se encuentra en estado bueno, regular y de regular a malo.

A continuación, se muestran las tablas N°40 y N°41 donde se indican los resultados de los ensayos de clasificación, grado de compactación (cono de arena) y contenidos de sales obtenidos de laboratorio.

Tabla N° 40 Resultados de laboratorio de los ensayos de clasificación y grado de compactación, fecha de extracción de muestra 02/09/2015.

PROGRESIVA (Km)	MUESTRA	LADO	PROFUNDIDAD (m)		ESPESOR (cm)	GRANULOMETRIA (% QUE PASA)								
						2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
SAN GREGORIO – SOCSO														
Km. 08+690	01	I	0.00	- 0.15	15	--	--	100	94	92	65	50	34	17
Km. 11+640	02	D	0.00	- 0.15	15	--	100	97	94	88	64	54	40	18
Km. 15+210	03	I	0.00	- 0.15	15	--	100	98	93	89	62	53	41	17
Km. 16+010	04	I	0.00	- 0.15	15	--	--	100	93	88	67	58	45	19
Km 18+010	05	D	0.00	- 0.15	15	--	100	98	97	93	68	55	36	21

PROGRESIVA (Km)	LIMITE LIQUIDO (%)	INDICE PLASTICO (%)	SUCS	AASHTO	GRADO DE COMPACTACION (%)	ESTADO DE LA CAPA DE RODADURA
SAN GREGORIO – SOCSO						
Km. 08+690	NP	NP	SM	A-1-b (0)	101.2	BUENO
Km. 11+640	NP	NP	SM	A-1-b (0)	96.6	REGULAR
Km. 15+210	NP	NP	SM	A-1-b (0)	93.4	REGULAR A MALO
Km. 16+010	NP	NP	SM	A-1-b (0)	94.0	REGULAR A MALO
Km 18+010	NP	NP	SM	A-1-b (0)	93.9	REGULAR A MALO

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

Tabla N° 41 Resultados de laboratorio de los ensayos de contenidos de sales, fecha de extracción de la muestra 02/09/2015.

PROGRESIVA (Km)	MUESTRA	LADO	PROFUNDIDAD (m)		ESPESOR (cm)	SALES SOLUBLES EN SUELOS (mg/kg)	SALES SOLUBLES EN SUELOS (%)	ESTADO DE LA CAPA DE RODADURA
SAN GREGORIO – SOCSO								
Km. 08+690	01	I	0.00	- 0.15	15	30,372	3.04	BUENO
Km. 11+640	02	D	0.00	- 0.15	15	17,690	1.77	REGULAR
Km. 15+210	03	I	0.00	- 0.15	15	19,062	1.91	REGULAR A MALO
Km. 16+010	04	I	0.00	- 0.15	15	18,814	1.88	REGULAR A MALO
Km 18+010	05	D	0.00	- 0.15	15	16,486	1.65	REGULAR A MALO

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

Debido a que la cantidad de muestras extraídas es limitada, no se sectoriza la muestra de estudio considerando estas variables.

- Análisis del estado de conservación de la superficie de rodadura, considerando los resultados de la medición del IRI.

Para realizar el análisis correspondiente, se realiza un gráfico, ver Fig. N°58, que muestra el IRI medido cada 400m, ver tabla N°20, N°21, N°22 y N°23, vs las progresivas; luego se emplea el MÉTODO DE DIFERENCIAS ACUMULADAS para sectorizar la muestra de estudio en sectores homogéneos, ver Fig. N°59, para ello se considera la medición del IRI realizado el 16/05/2016, ya que los resultados obtenidos en esa fecha, evidencian mejor el comportamiento de distintos sectores de la muestra de estudio; después se calcula el IRI característico, de cada sector homogéneo ver tabla N°42, más tarde se elabora un gráfico que muestra el IRI característico por cada sector, ver Fig.N°60.

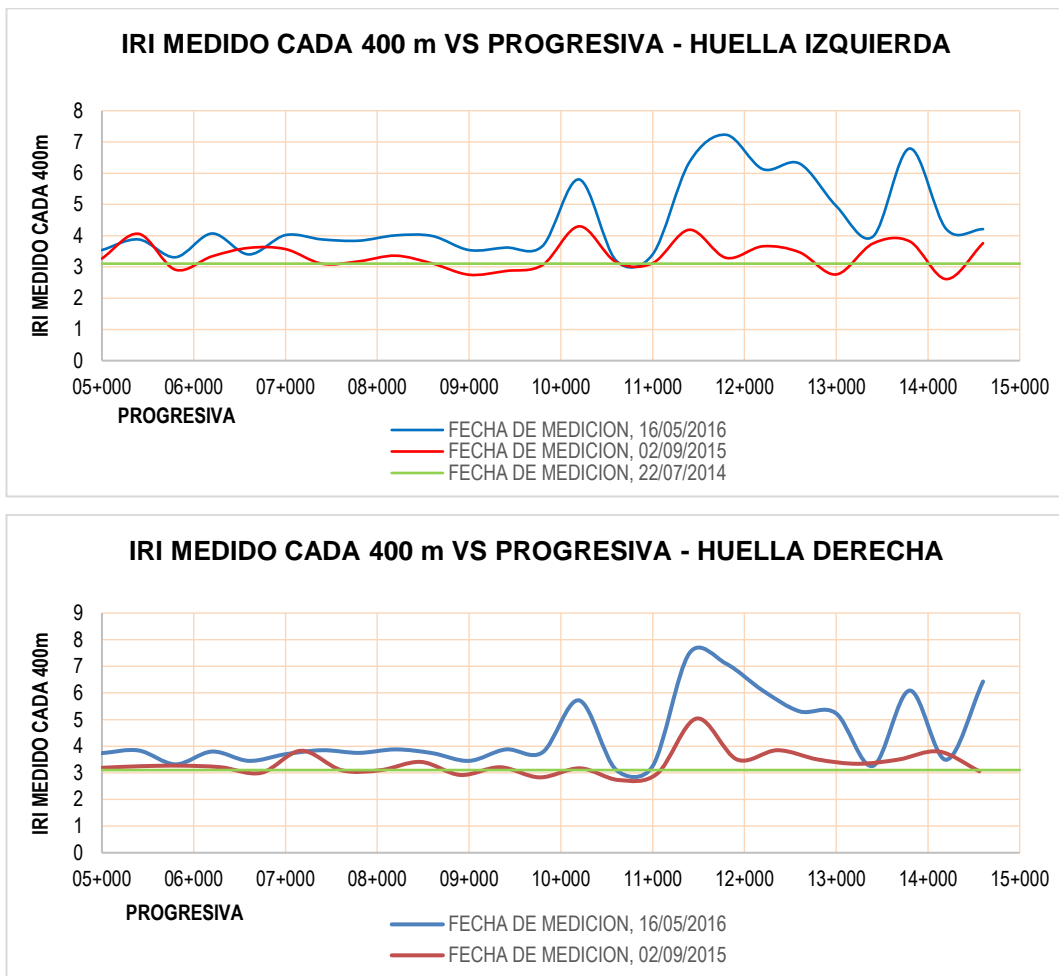


Figura N° 58 IRI vs PROGRESIVAS

Fuente: Elaboración Propia

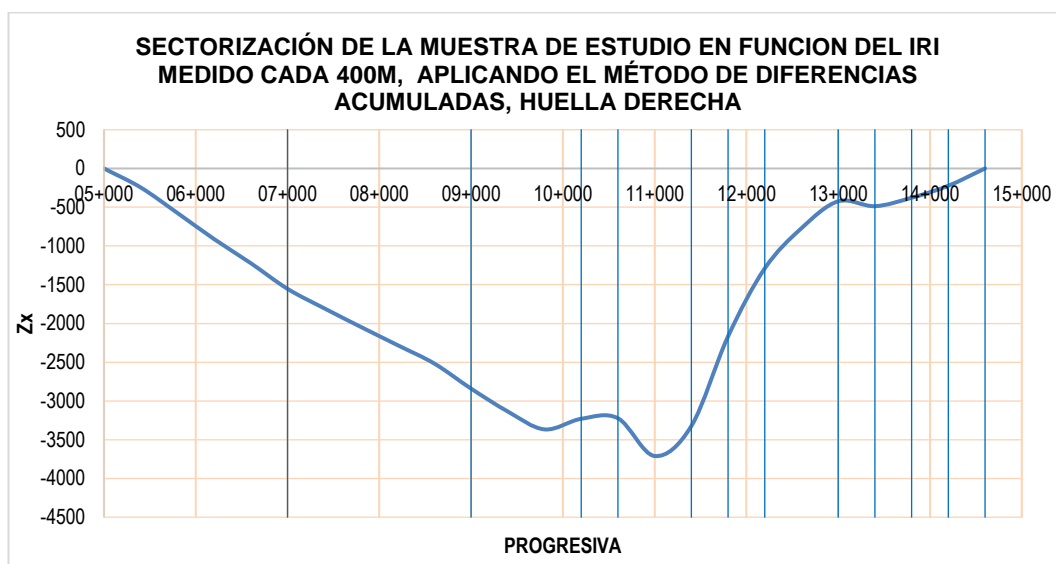
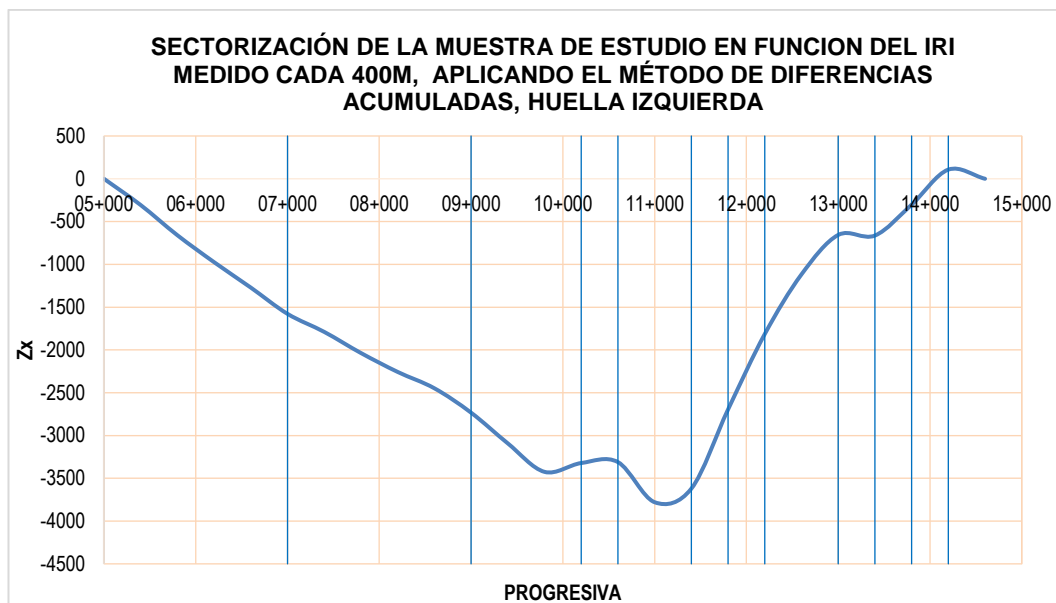


Figura N° 59 Sectorización de la muestra de estudio en función del IRI medido cada 400m, aplicando el METODO DE DIFERENCIAS ACUMULADAS, fecha de medición 16/05/2016

Fuente: Elaboración Propia

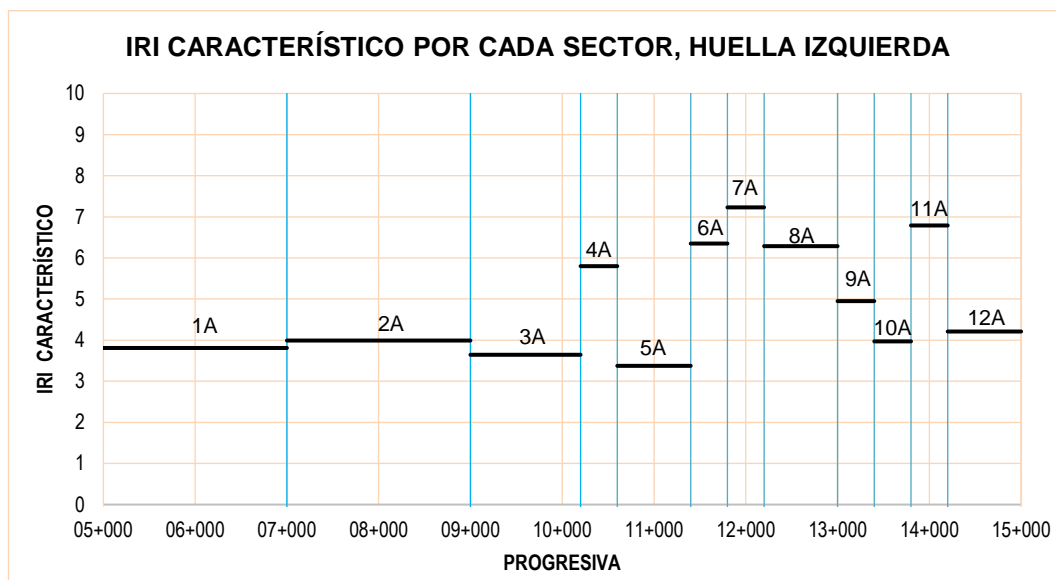
Tabla N° 42 Cálculo del IRI característico para cada sector homogéneo, fecha de medición 16/05/2016

HUELLA IZQUIERDA					
SECTOR	INICIO	FIN	IRIp	ds	IRIc
1 A	05+000	07+000	3.64	0.32	3.81
2 A	07+000	09+000	3.95	0.08	3.99
3 A	09+000	10+200	3.61	0.07	3.64
4 A	10+200	10+600	5.80	--	5.80
5 A	10+600	11+400	3.31	0.13	3.38
6 A	11+400	11+800	6.35	--	6.35
7 A	11+800	12+200	7.23	--	7.23

HUELLA IZQUIERDA					
SECTOR	INICIO	FIN	IRIp	ds	IRIc
8 A	12+200	13+000	6.22	0.13	6.29
9 A	13+000	13+400	4.95	--	4.95
10 A	13+400	13+800	3.97	--	3.97
11 A	13+800	14+200	6.79	--	6.79
12 A	14+200	15+000	4.21	0.00	4.21
IRIc = IRIp + 0.524 x ds					

HUELLA DERECHA					
SECTOR	INICIO	FIN	IRIp	ds	IRIc
1 B	05+000	07+000	3.63	0.23	3.75
2 B	07+000	09+000	3.78	0.08	3.82
3 B	09+000	10+200	3.70	0.22	3.82
4 B	10+200	10+600	5.72	--	5.72
5 B	10+600	11+400	3.19	0.09	3.23
6 B	11+400	11+800	7.49	--	7.49
7 B	11+800	12+200	7.10	--	7.10
8 B	12+200	13+000	5.70	0.55	5.99
9 B	13+000	13+400	5.23	--	5.23
10 B	13+400	13+800	3.26	--	3.26
11 B	13+800	14+200	6.09	--	6.09
12 B	14+200	14+600	3.49	--	3.49
13 B	14+600	15+000	6.43	--	6.43
IRIc = IRIp + 0.524 x ds					

Fuente: Elaboración propia



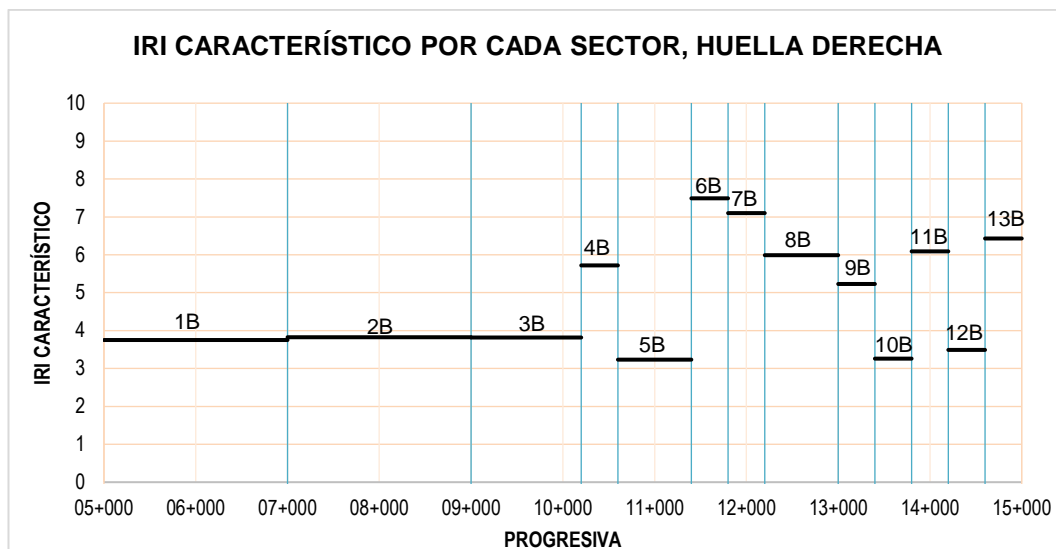


Figura N° 60 IRI característico por cada sector homogéneo, fecha de medición 16/05/2016

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, se determina cómo influyen las variables tráfico, capacidad de soporte de la subrasante, espesor de capa de rodadura cota de subrasante, pendiente, velocidad de operación, humedad relativa, temperatura, grado de compactación y contenido de sales en el comportamiento del IRI, para ello, primero se procede a superponer los gráficos de los sectores homogéneos que resultan de emplear las variables precitadas, con los gráficos de los sectores homogéneos que resultan de emplear el IRI; luego se interpretan la superposición de gráficos propuestos y finalmente se sacan conclusiones de cada superposición realizada.

A continuación, se determina como influyen las variables precitadas en el comportamiento del IRI:

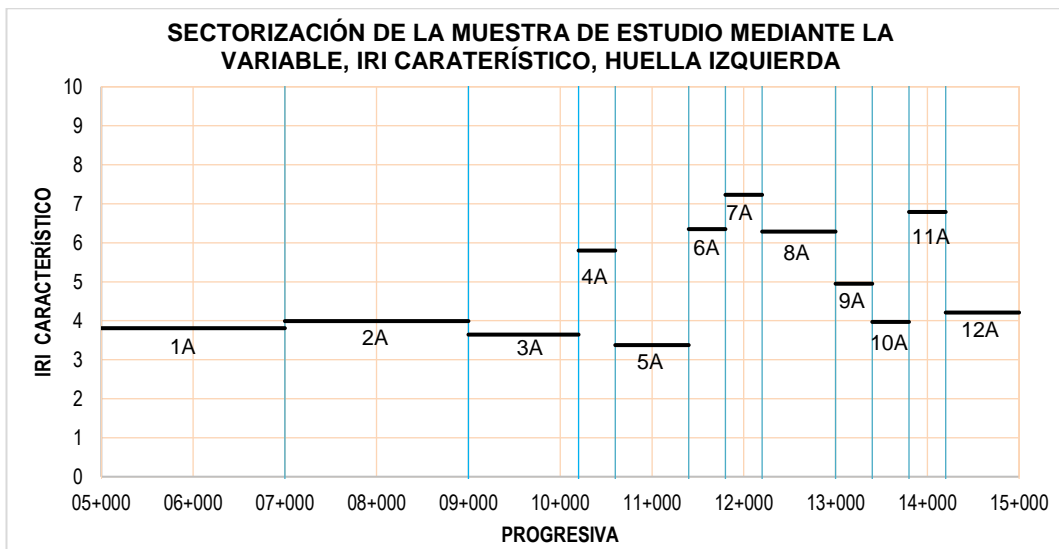
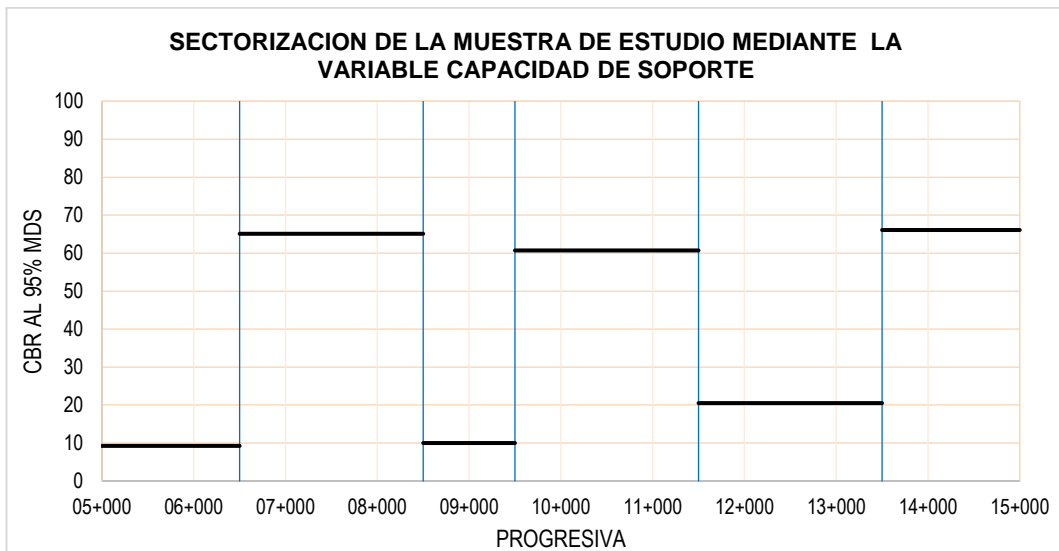
Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por tráfico y por IRIc

No se realiza esta superposición, puesto que no se ha podido sectorizar la muestra de estudio mediante la variable tráfico, ya que toda la muestra presenta un único tráfico, lo cual fue corroborado en campo; sin embargo, es posible rescatar una conclusión, que todos los sectores que han sufrido desgaste prematuro de la superficie de rodadura, ver figura N°60, no tienen como causa la variable tráfico. Esto se sustenta en que como toda la muestra se encuentra sujeto a la misma variable, tráfico, es de esperar que toda la muestra presente un desgaste homogéneo, situación que no se observa; ya que el 62% de la muestra ha presentado un comportamiento bueno, y el 38% restante un comportamiento

regular, comportamiento no previsto, por lo que se concluye que el desgaste prematuro en estos sectores es debido a otra causa.

Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por capacidad de soporte y por IRIc

De la superposición propuesta, se concluye que todos los sectores que han sufrido desgaste prematuro de la superficie de rodadura no tienen como causa la capacidad de soporte, ya que sectores con excelente capacidad de soporte, donde se esperaba que el comportamiento sea el mejor, tales como 4A, 4B, 11A, 11B y 13A han presentado desgaste prematuro y sectores con regular capacidad de soporte, donde se esperaba que el comportamiento talvez no sea el adecuado, tales como 1A y 1B han presentado un buen comportamiento.



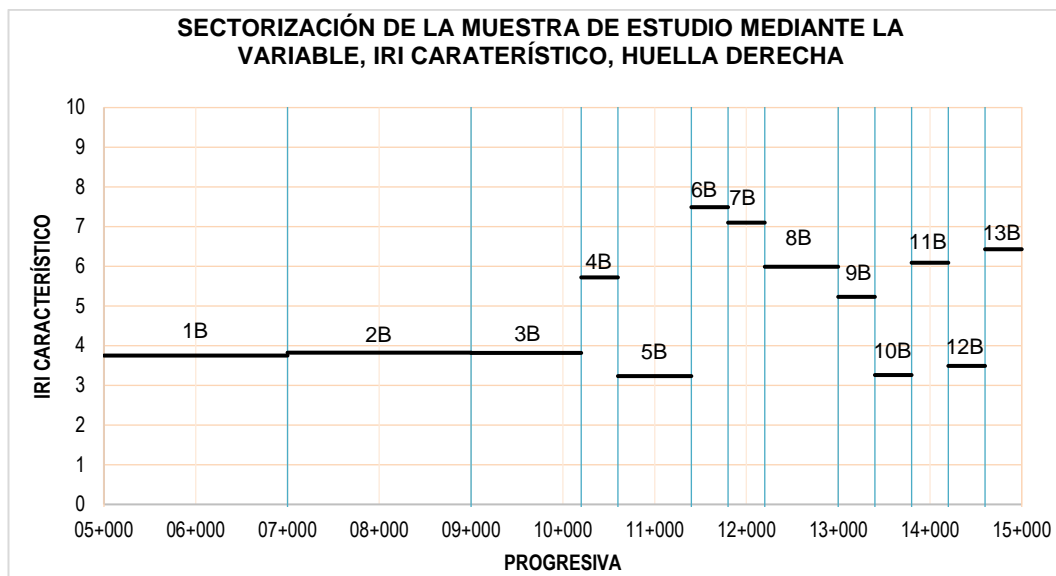


Figura N° 61 Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por capacidad de soporte y por IRIc

Fuente: Elaboración Propia

Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por espesor de capa de rodadura y por IRIc

No se realiza esta superposición, puesto que no se ha podido sectorizar la muestra de estudio mediante la variable espesor de capa de rodadura, ya que toda la muestra presenta un único espesor, lo cual fue corroborado mediante la ejecución de mini calicatas; sin embargo, es posible rescatar una conclusión, que todos los sectores que han sufrido desgaste prematuro de la superficie de rodadura, ver figura N°60, no tienen como causa la variable espesor de capa de rodadura. Esto se sustenta en que como toda la muestra se encuentra sujeto a la misma variable, espesor de capa de rodadura, es de esperar que toda la muestra presente un desgaste homogéneo, situación que no se observa; ya que el 62% de la muestra ha presentado un comportamiento bueno, y el 38% restante un comportamiento regular, comportamiento no previsto, por lo que se concluye que el desgaste prematuro en estos sectores es debido a otra causa.

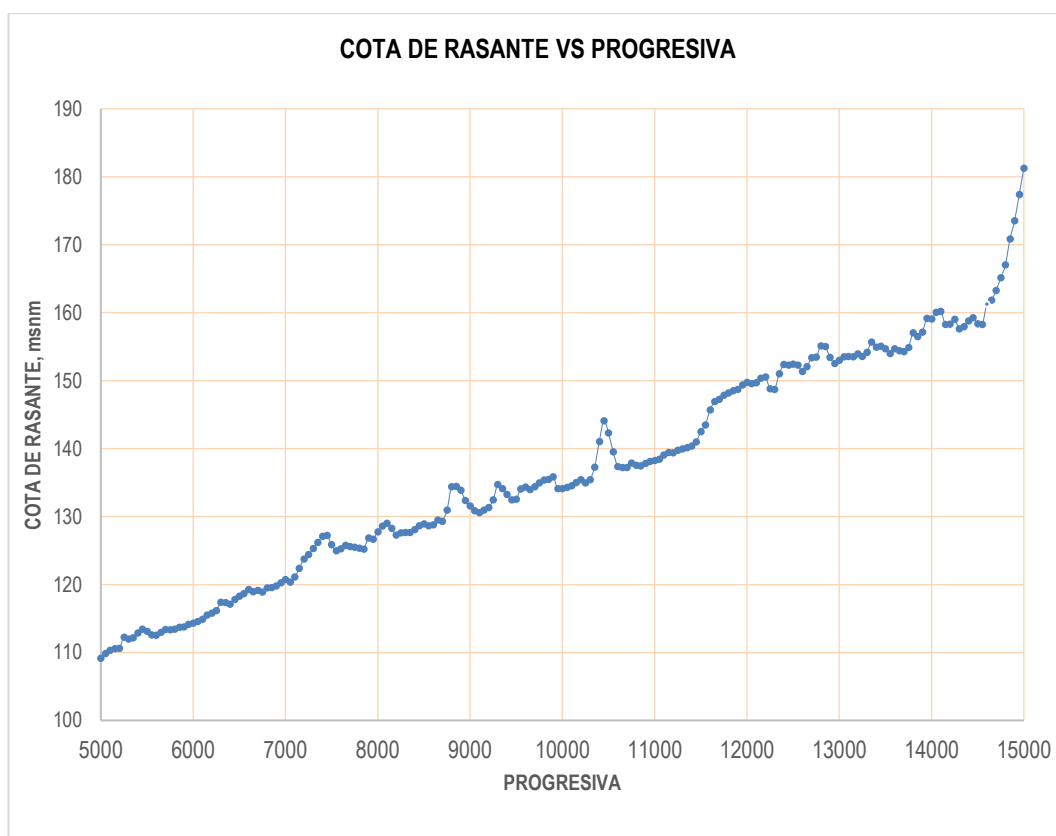
Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por tipo de material que compone la capa de rodadura y por IRIc

No se realiza esta superposición, puesto que no se ha podido sectorizar la muestra de estudio mediante la variable tipo de material que compone la capa de rodadura, ya que toda la muestra presenta un mismo tipo de material, lo cual fue corroborado

mediante ensayos de laboratorio; sin embargo, es posible rescatar una conclusión, que todos los sectores que han sufrido desgaste prematuro de la superficie de rodadura, ver figura N°60, no tienen como causa la variable tipo de material que compone la capa de rodadura. Esto se sustenta en que como toda la muestra se encuentra sujeto a la misma variable, tipo de material que compone la capa de rodadura, es de esperar que toda la muestra presente un desgaste homogéneo, situación que no se observa; ya que el 62% de la muestra ha presentado un comportamiento bueno, y el 38% restante un comportamiento regular, comportamiento no previsto, por lo que se concluye que el desgaste prematuro en estos sectores es debido a otra causa.

Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por cota de rasante y por IRIc

No se realiza esta superposición, puesto que no se ha podido sectorizar la muestra de estudio mediante la variable cota de rasante, ya que la muestra presenta una longitud relativamente corta y un incremento medido de la altitud, por lo que no se observa cambios de piso altitudinal, que permitan su sectorización.



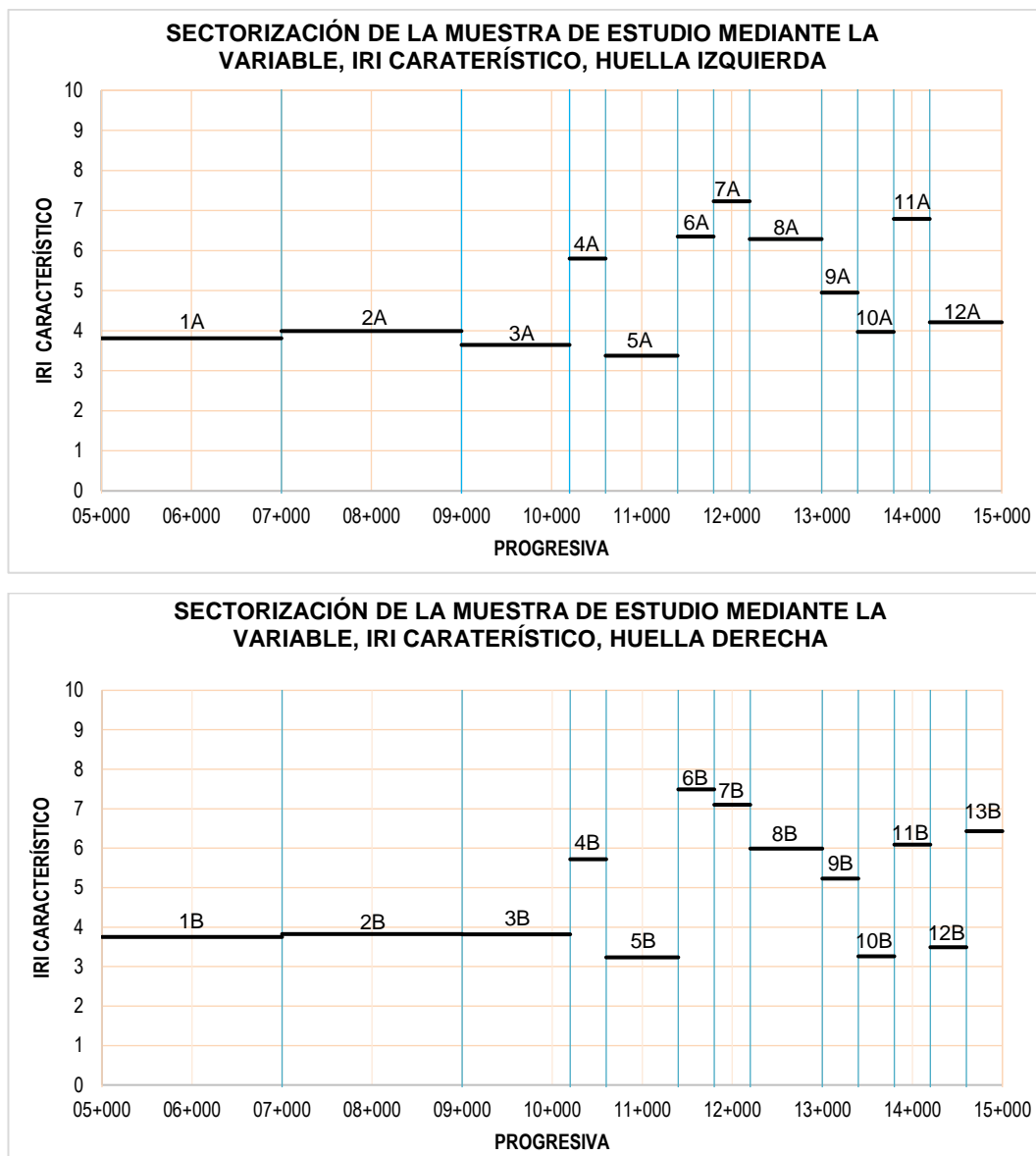


Figura N° 62 Superposición entre el perfil longitudinal y la sectorización por IRIC

Fuente: Elaboración Propia

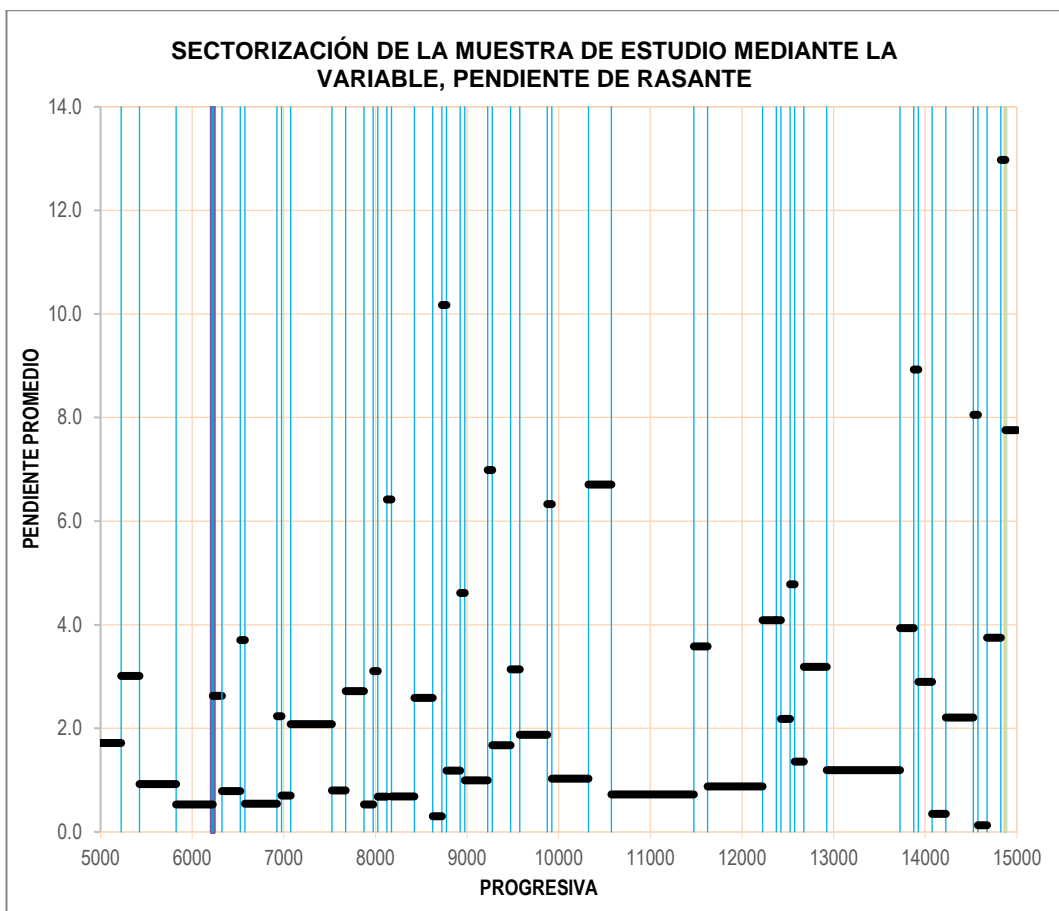
Por otra parte, luego de superponer el perfil longitudinal de la muestra con el gráfico de la sectorización por IRIC, ver Fig. N°62, se concluye, que los cambios pequeños de altitud, no influyen en el comportamiento del IRIC; esto se observa claramente en los sectores 12A y 12B, que se encuentran entre una altitud de 158 y 159 msnm, y los sectores 1A y 1B, que se encuentran entre una altitud de 110 y 120 msnm, que se han comportado de manera similar a pesar de encontrarse a diferentes altitudes.

Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por pendiente de la rasante y por IRlc

De la superposición de gráficos que se muestra en la Fig. N°63, se desprende la tabla N°43, el cual se ha elaborado teniendo en cuenta como están distribuidos las pendientes en cada sector, por ejemplo, en el sector 1 A, el 80 % de su longitud presenta pendientes entre 0% y 2%, y el 20 % restante entre 2% y 4%.

La tabla N°43 en conjunto con los gráficos de sectores homogéneos por IRlc, permiten establecer que el desgaste prematuro de la superficie de rodadura de los sectores que presentan pendientes menores a 4% en más del 85% de sus longitudes, tales como él 6A, 6B, 7A, 7B, 9A, 9B, 11A y 11B, que representan el 16% de la muestra de estudio, no ha sido originado por las pendientes de la rasante; ya que existen sectores con similares características de pendiente, tales como el 1A,1B, 2A, 2B, 3A, 3B, 5A, 5B, 10A, 10B y 12B que representan el 64% de la muestra de estudio, que si han presentado un buen comportamiento.

Por otra parte, se observa que todos los sectores que presentan pendientes mayores a 4% en al menos 30% de su longitud, han presentado desgaste prematuro de superficie de rodadura.



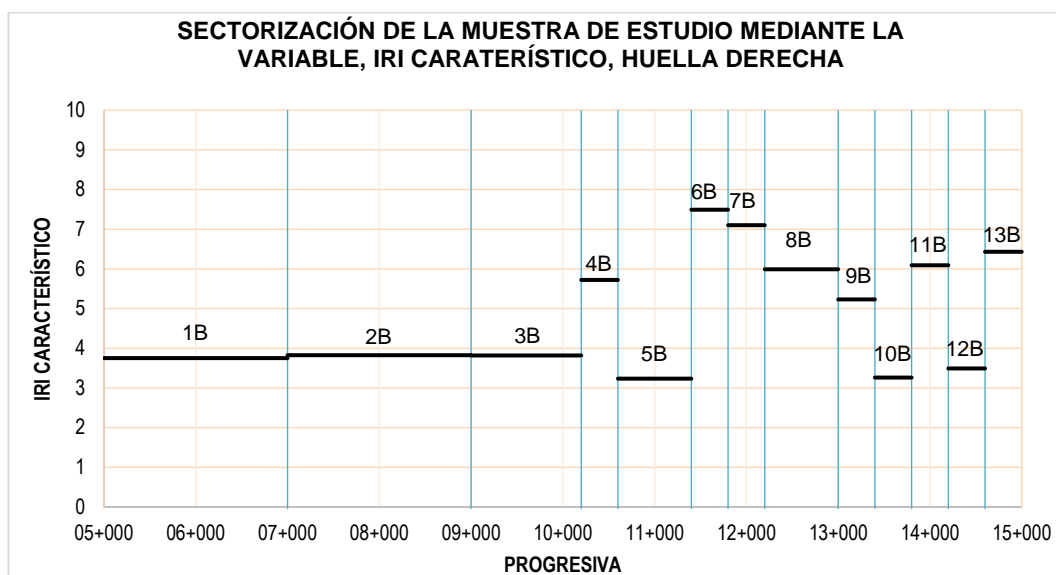
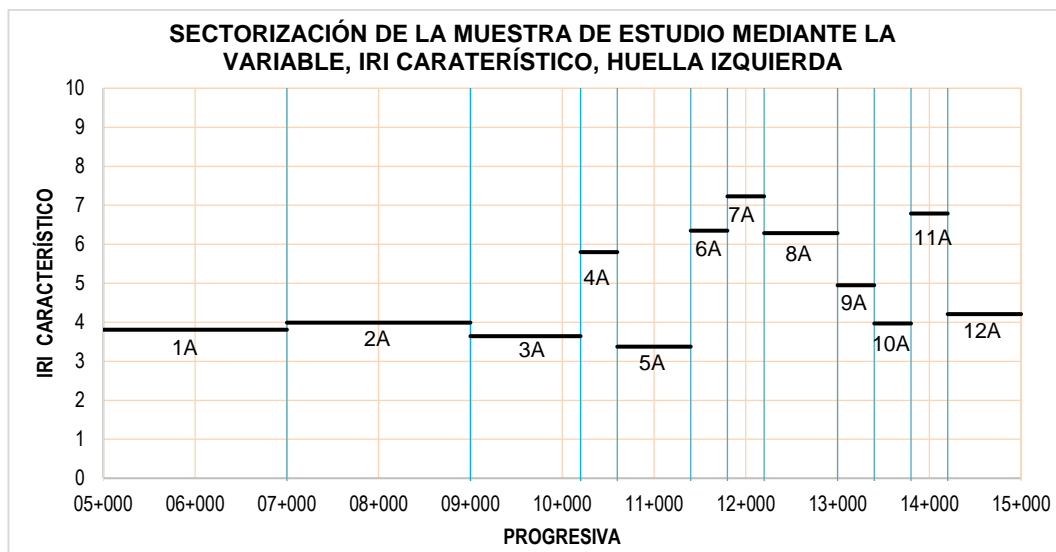


Figura N° 63 Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por pendiente de rasante y por IRIc

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 43 Distribución en % de las pendientes que presentan cada sector

SECTOR	DISTRIBUCION EN % DE LAS PENDIENTES QUE PRESETAN CADA SECTOR, HUELLA IZQUIERDA				
	[0%-2%]	<2%-4%]	<4%-6%]	<6%-8%]	>8%
1A	80.0	20.0	0.0	0.0	0.0
2A	47.5	45.0	2.5	2.5	2.5
3A	83.3	8.3	0.0	8.3	0.0
4A	37.5	0.0	0.0	62.5	0.0
5A	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6A	62.5	37.5	0.0	0.0	0.0
7A	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8A	25.0	43.8	31.3	0.0	0.0
9A	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0

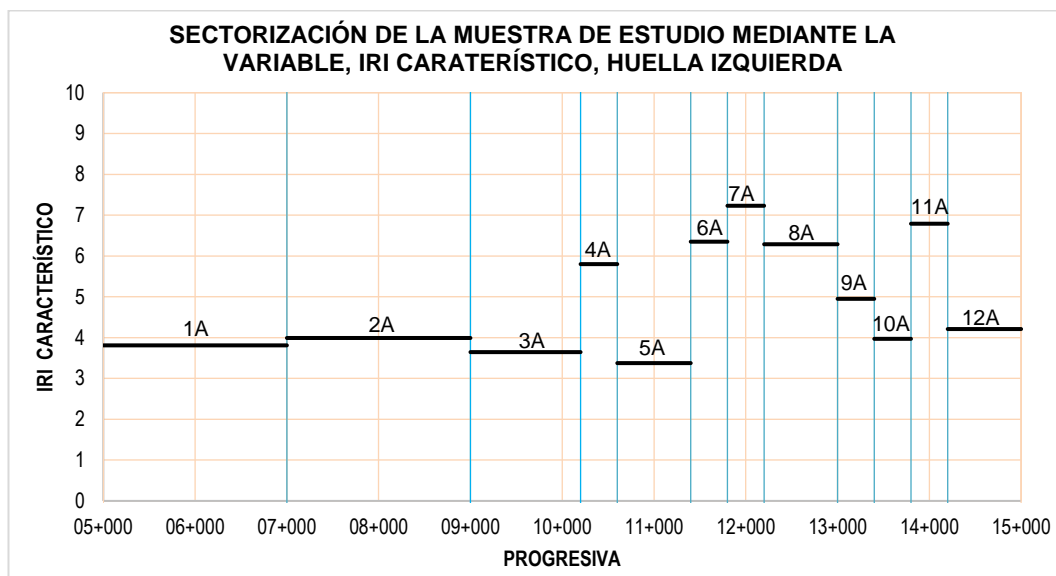
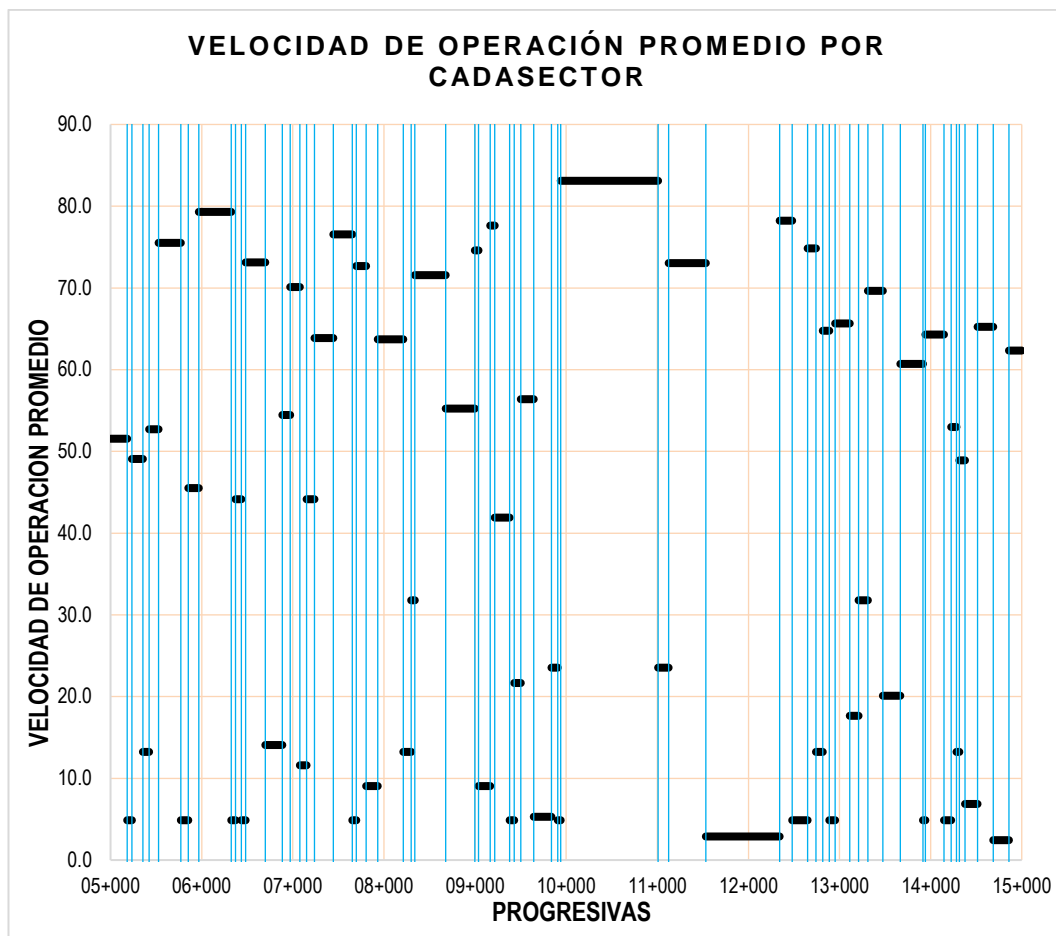
SECTOR	DISTRIBUCION EN % DE LAS PENDIENTES QUE PRESETAN CADA SECTOR, HUELLA IZQUIERDA				
	[0%-2%]	<2%-4%]	<4%-6%]	<6%-8%]	>8%
10A	81.3	18.8	0.0	0.0	0.0
11A	31.3	56.3	0.0	0.0	12.5
12A	15.6	56.3	0.0	15.6	12.5

SECTOR	DISTRIBUCION EN % DE LAS PENDIENTES QUE PRESETAN CADA SECTOR, HUELLA DERECHA				
	[0%-2%]	<2%-4%]	<4%-6%]	<6%-8%]	>8%
1B	80.0	20.0	0.0	0.0	0.0
2B	47.5	45.0	2.5	2.5	2.5
3B	83.3	8.3	0.0	8.3	0.0
4B	37.5	0.0	0.0	62.5	0.0
5B	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6B	62.5	37.5	0.0	0.0	0.0
7B	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8B	25.0	43.8	31.3	0.0	0.0
9B	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10B	81.3	18.8	0.0	0.0	0.0
11B	31.3	56.3	0.0	0.0	12.5
12B	12.5	75.0	0.0	0.0	12.5
13B	18.8	37.5	0.0	31.3	12.5

Fuente: Elaboración propia

Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por velocidad de operación y por IRlc

De la superposición de gráficos que se muestra en la Fig. N°64, se desprende la tabla N°44, el cual se ha elaborado teniendo en cuenta como están distribuidos las velocidades de operación en cada sector, por ejemplo, en el sector 1 A, el 24.1% de la longitud, presenta velocidades de operación entre 0m/s y 20 m/s, el 33.6% de la longitud, presenta velocidades de operación entre 40m/s y 60m/s, y el 42.2% de la longitud, presenta velocidades de operación entre 60m/s y 80m/s. La tabla N°44 en conjunto con los gráficos de sectores homogéneos por IRlc, permiten establecer que el desgaste prematuro de la superficie de rodadura de los sectores que presentan velocidades de operación mayores a 20m/s en más de 65% de sus longitudes, tales como él 4A, 4B, 9A, 9B, 11A y 11B, que representan el 12% de la muestra de estudio, no ha sido originado por la velocidad de operación; ya que existen sectores con similares características de velocidad, tales como el 1A,1B, 2A, 2B, 3A, 3B, 5A, 5B, 10A y 10B, que representan el 64% de la muestra de estudio, que si han presentado un buen comportamiento. Por otra parte, se observa que todos los sectores que presentan velocidades de operación menores a 20 m/s en al menos 55% de su longitud, han presentado desgaste prematuro de superficie de rodadura.



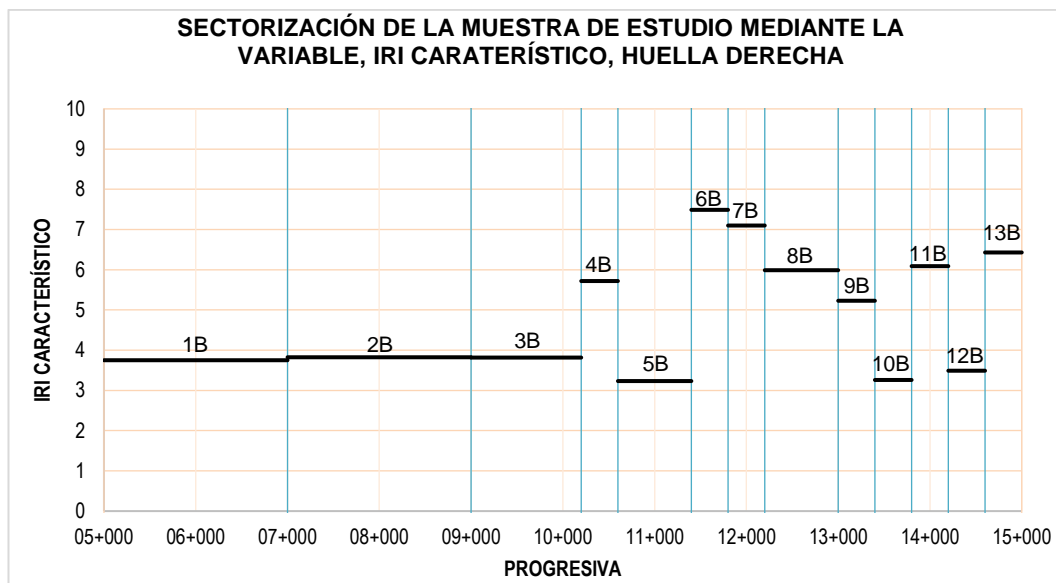


Figura N° 64 Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por velocidad de operación y por IRIc

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 44 Distribución en % de las velocidades de operación que presentan cada sector

SECTOR	DISTRIBUCION EN % DE LAS VELOCIDADES DE OPERACIÓN QUE PRESETAN CADA SECTOR, HUELLA IZQUIERDA				
	<0-20]	<20-40]	<40-60]	<60-80]	>80
1A	24.1%	0.0%	33.6%	42.2%	0.0%
2A	16.6%	2.0%	20.3%	61.1%	0.0%
3A	33.8%	11.8%	25.5%	7.3%	21.7%
4A	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
5A	0.0%	14.4%	0.0%	34.4%	51.1%
6A	66.7%	0.0%	0.0%	33.3%	0.0%
7A	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
8A	56.4%	0.0%	0.0%	43.6%	0.0%
9A	24.2%	25.6%	0.0%	50.2%	0.0%
10A	0.0%	48.0%	0.0%	52.0%	0.0%
11A	20.0%	0.0%	0.0%	80.0%	0.0%
12A	45.8%	0.0%	15.0%	39.1%	0.0%

SECTOR	DISTRIBUCION EN % DE LAS VELOCIDADES DE OPERACIÓN QUE PRESETAN CADA SECTOR, HUELLA DERECHA				
	<0-20]	<20-40]	<40-60]	<60-80]	>80
1B	24.1%	0.0%	33.6%	42.2%	0.0%
2B	16.6%	2.0%	20.3%	61.1%	0.0%
3B	33.8%	11.8%	25.5%	7.3%	21.7%
4B	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%

SECTOR	DISTRIBUCION EN % DE LAS VELOCIDADES DE OPERACIÓN QUE PRESETAN CADA SECTOR, HUELLA DERECHA				
	<0-20]	<20-40]	<40-60]	<60-80]	>80
5B	0.0%	14.4%	0.0%	34.4%	51.1%
6B	66.7%	0.0%	0.0%	33.3%	0.0%
7B	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
8B	56.4%	0.0%	0.0%	43.6%	0.0%
9B	24.2%	25.6%	0.0%	50.2%	0.0%
10B	0.0%	48.0%	0.0%	52.0%	0.0%
11B	20.0%	0.0%	0.0%	80.0%	0.0%
12B	48.7%	0.0%	30.0%	21.3%	0.0%
13B	43.0%	0.0%	0.0%	57.0%	0.0%

Fuente: Elaboración propia

Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por humedad relativa, temperatura e IRlc

No se realiza esta superposición, puesto que no se ha podido sectorizar la muestra de estudio mediante las variables humedad relativa y temperatura, ya que toda la muestra presenta una humedad relativa y temperatura uniforme, lo cual fue corroborado mediante mediciones de campo; sin embargo, es posible rescatar una conclusión, que todos los sectores que han sufrido desgaste prematuro de la superficie de rodadura, ver figura N°60, no tienen como causa las variables tipo humedad relativa y temperatura. Esto se sustenta en que como toda la muestra se encuentra sujeto a la mismas variables, humedad relativa y temperatura, es de esperar que toda la muestra presente un desgaste homogéneo, situación que no se observa; ya que el 62% de la muestra ha presentado un comportamiento bueno, y el 38% restante un comportamiento regular, comportamiento no previsto, por lo que se concluye que el desgaste prematuro en estos sectores es debido a otra causa.

Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos considerando el grado de compactación, contenido de sales e IRlc

No se realiza esta superposición, puesto que no se ha podido sectorizar la muestra de estudio mediante las variables grado de compactación y contenido de sales, ya que no se han tomado la cantidad de muestras necesarias para realizar una sectorización, esto debido a que se ha priorizado en lo posible no dañar la capa de rodadura existente, de modo que se ha extraído la menor cantidad de muestras posibles.

Sin embargo, los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las muestras extraídas, ver tabla N°40 y 41, permiten obtener algunas conclusiones; ya que se han extraído en puntos donde la superficie de rodadura se encontraba en estado bueno, regular y regular a malo.

Se concluye que los sectores muestreados que han presentado comportamiento regular y malo, no han cumplido con el grado de compactación necesario, 100% de la MDS para afirmados, ni con contenido de sales mínimo requerido, 2.5% en peso del material granular seco.

Además de las superposiciones realizadas, y a fin de tener una visión más clara de como han influido las variables precitadas en el deterioro de la superficie de rodadura, se muestra la siguiente tabla, el cual muestra como ha influido cada variable en el deterioro de cada sector homogéneo por IRlc.

Tabla N° 45 Influencia de las variables precitadas en el deterioro de la superficie de rodadura

SECTOR	ESTADO DE CONSERVACION DE LA CAPA DE RODADURA	INFLUENCIA DE LAS VARIABLES EN EL DETERIORO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA			
		PENDIENTE DE LA RASANTE	VELOCIDAD DE OPERACION	GRADO DE COMPACTACIÓN	CONTENIDO DE SALES
1A	BUENO	BAJO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
2A	BUENO	BAJO*	BAJO**	BAJO	BAJO
3A	BUENO	BAJO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
4A	REGULAR	ALTO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
5A	BUENO	BAJO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
6A	REGULAR	BAJO*	MODERADO**	ALTO	ALTO
7A	REGULAR	BAJO*	ALTO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
8A	REGULAR	MODERADO*	MODERADO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
9A	BUENO A REGULAR	BAJO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
10A	BUENO	BAJO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
11A	REGULAR	BAJO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
12A	BUENO	NO SE OBSERVA ALGUNA RELACION	NO SE OBSERVA ALGUNA RELACION	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
LAS VARIABLES TRÁFICO, CAPACIDAD DE SOPORTE, ESPESOR DE CAPA DE RODADURA, TIPO DE MATERIAL QUE COMPONE LA CAPA DE RODADURA, COTA DE RASANTE, HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA ATMOSFERICA, NO SE HA CONSIDERADO EN EL SIGUIENTE CUADRO, PUES LA INFLUENCIA DE ESTAS EN EL DETERIORO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA ES BAJA.					
*EN LO CONCERNIENTE AL NIVEL BAJO, VER PAGINA N°162. EN LO CONCERNIENTE A NIVEL MODERADO, SE CONSIDERA MODERADO CUANDO EL SECTOR EN ANÁLISIS PRESENTA PENDIENTES MAYORES A 4%, EN MÁS DEL 30% PERO NO MAYORES A 60% DE SU LONGITUD. EN LO CONCERNIENTE A NIVEL ALTO, SE CONSIDERA ALTO CUANDO EL SECTOR EN ANALISIS PRESENTA PENDIENTES MAYORES A 4 %, EN MÁS DEL 60% DE SU LONGITUD.					
** EN LO CONCERNIENTE AL NIVEL BAJO, VER PAGINA N°164.					

EN LO CONCERNIENTE A NIVEL MODERADO, SE CONSIDERA MODERADO CUANDO EL SECTOR EN ANÁLISIS PRESENTA VELOCIDADES DE OPERACIÓN MENORES A 20M/S, EN MÁS DEL 55% PERO NO MAYORES A 75% DE SU LONGITUD.
 EN LO CONCERNIENTE A NIVEL ALTO, SE CONSIDERA ALTO CUANDO EL SECTOR EN ANALISIS PRESENTA VELOCIDADES DE OPERACIÓN MENORES A 20M/S, EN MÁS DEL 75% DE SU LONGITUD.

SECTOR	ESTADO DE CONSERVACION DE LA CAPA DE RODADURA	INFLUENCIA DE LAS VARIABLES EN EL DETERIORO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA			
		PENDIENTE DE LA RASANTE	VELOCIDAD DE OPERACION	GRADO DE COMPACTACIÓN	CONTENIDO DE SALES
1B	BUENO	BAJO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
2B	BUENO	BAJO*	BAJO**	BAJO	BAJO
3B	BUENO	BAJO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
4B	REGULAR	ALTO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
5B	BUENO	BAJO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
6B	REGULAR	BAJO*	MODERADO**	ALTO	ALTO
7B	REGULAR	BAJO*	ALTO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
8B	REGULAR	MODERADO*	MODERADO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
9B	BUENO A REGULAR	BAJO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
10B	BUENO	BAJO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
11B	REGULAR	BAJO*	BAJO**	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
12B	BUENO	BAJO*	NO SE OBSERVA ALGUNA RELACION	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO	NO SE CUENTA CON EL ENSAYO
13B	REGULAR	MODERADO*	MODERADO**	ALTO	ALTO

LAS VARIABLES TRÁFICO, CAPACIDAD DE SOPORTE, ESPESOR DE CAPA DE RODADURA, TIPO DE MATERIAL QUE COMPONE LA CAPA DE RODADURA, COTA DE RASANTE, HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA ATMOSFERICA, NO SE HA CONSIDERADO EN EL SIGUIENTE CUADRO, PUES LA INFLUENCIA DE ESTAS EN EL DETERIORO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA ES BAJA.

*EN LO CONCERNIENTE AL NIVEL BAJO, VER PAGINA N°162.
 EN LO CONCERNIENTE A NIVEL MODERADO, SE CONSIDERA MODERADO CUANDO EL SECTOR EN ANÁLISIS PRESENTA PENDIENTES MAYORES A 4%, EN MÁS DEL 30% PERO NO MAYORES A 60% DE SU LONGITUD.
 EN LO CONCERNIENTE A NIVEL ALTO, SE CONSIDERA ALTO CUANDO EL SECTOR EN ANALISIS PRESENTA PENDIENTES MAYORES A 4 %, EN MÁS DEL 60% DE SU LONGITUD.

** EN LO CONCERNIENTE AL NIVEL BAJO, VER PAGINA N°164.
 EN LO CONCERNIENTE A NIVEL MODERADO, SE CONSIDERA MODERADO CUANDO EL SECTOR EN ANÁLISIS PRESENTA VELOCIDADES DE OPERACIÓN MENORES A 20M/S, EN MÁS DEL 55% PERO NO MAYORES A 75% DE SU LONGITUD.
 EN LO CONCERNIENTE A NIVEL ALTO, SE CONSIDERA ALTO CUANDO EL SECTOR EN ANALISIS PRESENTA VELOCIDADES DE OPERACIÓN MENORES A 20M/S, EN MÁS DEL 75% DE SU LONGITUD.

Fuente: Elaboración propia

Por último, para concluir con el análisis del estado de conservación de la superficie de rodadura, considerando los resultados de la medición del IRI, se propone un gráfico, que permite determinar las fechas donde se debe realizar los mantenimientos periódicos, a fin de mantener los niveles de servicio adecuados. Para realizar este gráfico, es necesario citar el Manual de Carreteras de Mantenimiento o Conservación Vial, aprobado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante Resolución Directoral N° 08-2014-MTC/14, de fecha 23 de marzo del 2014; ya que aquí se especifica el IRIc máximo que puede presentar una carretera afirmada durante su periodo de servicio, ver tabla N°2.

Además de la referencia mencionada, se ha visto conveniente, dividir la muestra de estudio en dos sectores que presentan su propio ritmo de deterioro, los cuales se encuentran comprendidos entre el km 05+000 y km 10+200 y el km 10+200 y km 15+000.

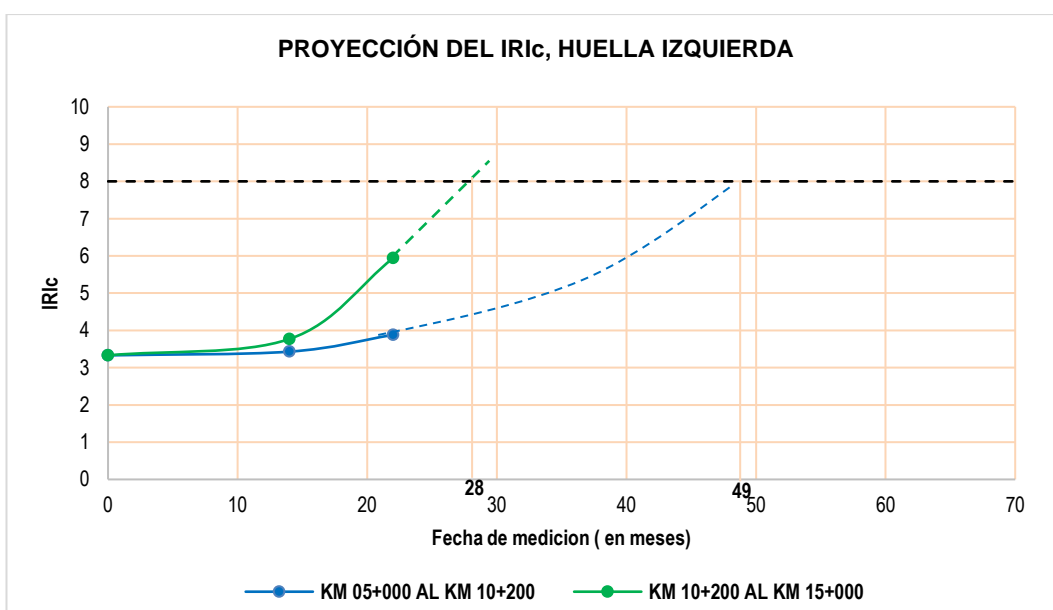
La grafica que se propone a continuación, muestra los resultados de IRlc para cada sector, ver tabla N°46, y con ello se determina las fechas en que se va requerir de mantenimientos periódicos, a fin de recuperar los niveles de servicio.

Tabla N° 46 IRlc para cada sector, resultados de las tres mediciones realizadas

HUELLA IZQUIERDA											
SECTOR	INICIO	FIN	FECHA DE MEDICIÓN								
			22/07/14			02/09/2015			16/05/2016		
			IRIp	ds	IRlc	IRIp	ds	IRlc	IRIp	ds	IRlc
1	05+000	10+200	3.11	0.42	3.33	3.25	0.35	3.43	3.75	0.25	3.88
2	10+200	15+000	3.11	0.42	3.33	3.49	0.52	3.77	5.21	1.39	5.94
IRlc = IRIp + 0.524 x ds											

HUELLA DERECHA											
SECTOR	INICIO	FIN	FECHA DE MEDICIÓN								
			22/07/14			02/09/2015			16/05/2016		
			IRIp	ds	IRlc	IRIp	ds	IRlc	IRIp	ds	IRlc
1	05+000	10+200	3.11	0.42	3.33	3.19	0.26	3.33	3.71	0.18	3.80
2	10+200	15+000	3.11	0.42	3.33	3.50	0.62	3.82	5.22	1.57	6.04
IRlc = IRIp + 0.524 x ds											

Fuente: Elaboración propia



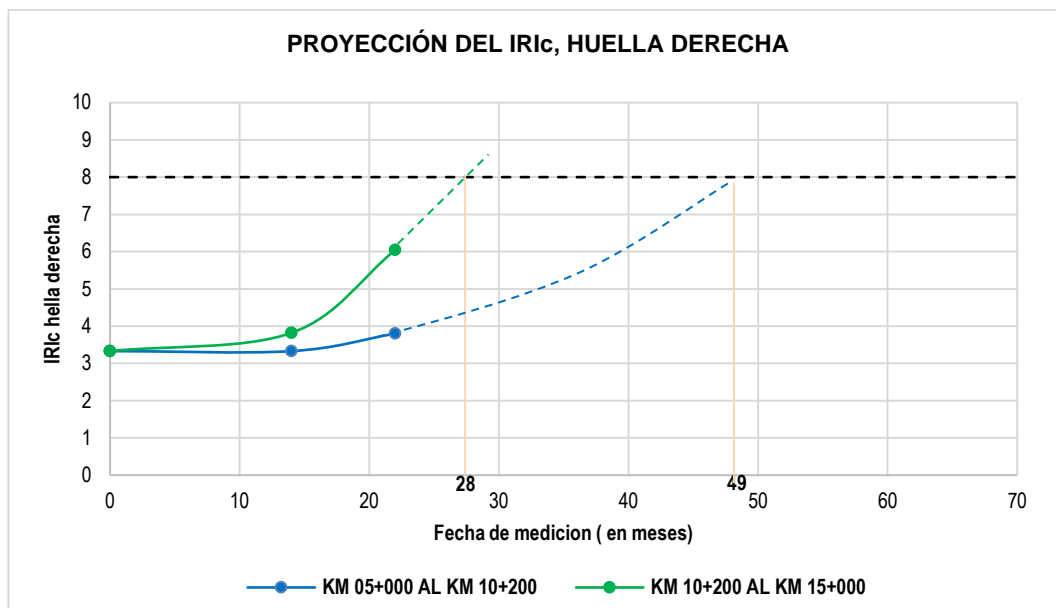


Figura N° 65 Proyección del IRIc, para las huellas izquierda y derecha.

Fuente: Elaboración Propia

Las fechas probables donde se debe realizar los mantenimientos periódicos en los sectores 1 y 2, a fin de mantener los niveles de servicios adecuados, según la fig. N°65, son a los 49 y 28 meses respectivamente. Estos resultados permiten deducir, que el sector 1 presenta un comportamiento adecuado, el cual está acorde con las recomendaciones del proveedor de Cloruro de Magnesio Hexahidratado, quienes en sus especificaciones proponen un estimado de mantenimientos periódicos cada 4 años, o lo que viene a ser lo mismo 48 meses. Por otra parte, el sector 2, presenta un comportamiento inadecuado, desgaste prematuro de la superficie de rodadura, el cual va a requerir de mantenimiento periódico a los 28 meses, aproximadamente a la mitad del tiempo propuesto por los proveedores en sus especificaciones.

Los resultados obtenidos en el sector 2, que han sido materia de análisis anteriormente, tienen como causa al menos una de las siguientes variables: Grado de compactación, contenido de sales, presencia de curvas o altas pendientes.

- Análisis del estado de conservación de la superficie de rodadura, considerando los resultados de la medición del URCI

Para realizar este análisis, primero se sectoriza la muestra de estudio empleando el método de Diferencias Acumuladas, para ello se emplea los resultados de la tercera medición del URCI, ver tabla N°26, que es donde los sectores con deterioro acelerado de la superficie de rodadura se vuelven más notorios, ver fig. N°66.

Una vez sectorizado la muestra de estudio, ver fig. N°67, se calcula el URCI promedio por cada sector, con el cual se elabora la tabla N°47.

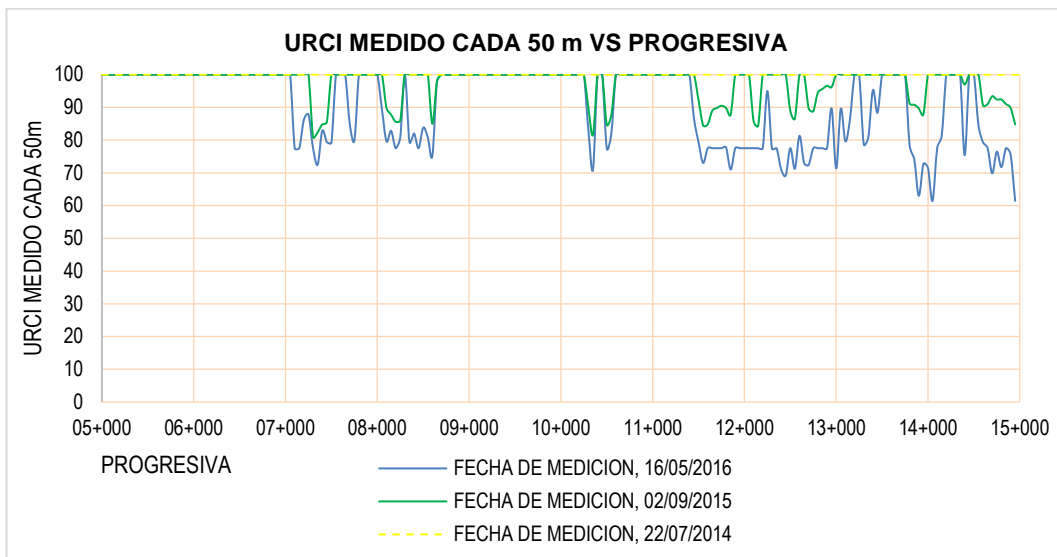


Figura N° 66 URCI vs PROGRESIVA

Fuente: Elaboración Propia

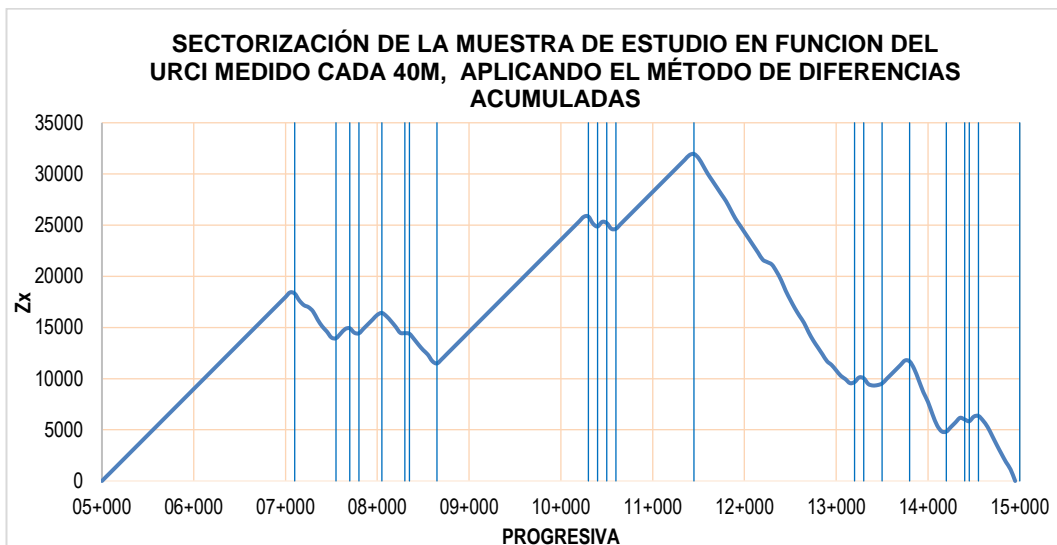


Figura N° 67 Sectorización de la muestra de estudio en función del URCI medido cada 50m, aplicando el METODO DE DIFERENCIAS ACUMULADAS, fecha de medición 16/05/2016

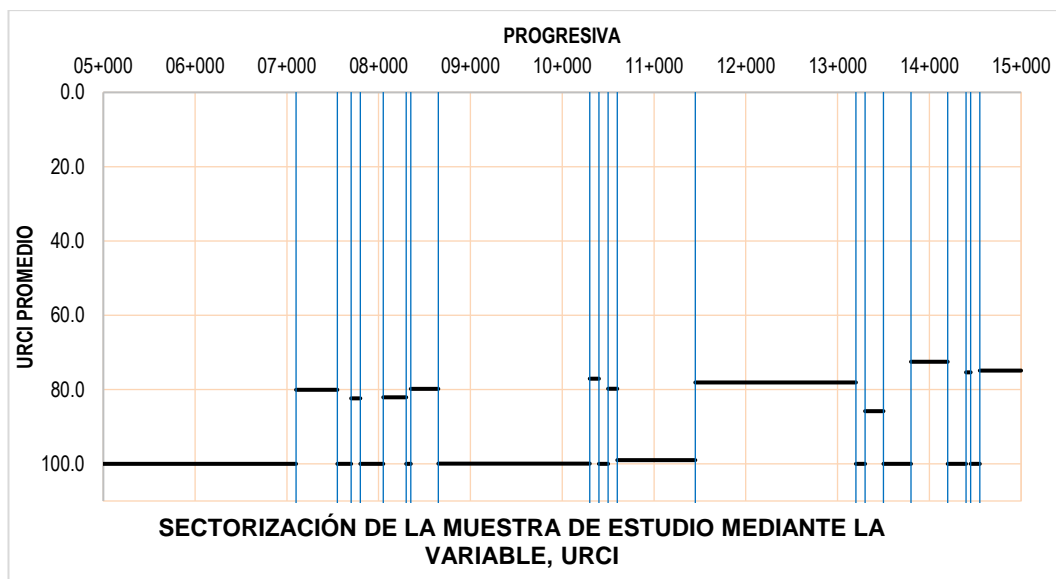
Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 47 URCI promedio para cada sector homogéneo, fecha de medición 16/05/2016

SECTOR	PROGRESIVA		URCI PROMEDIO POR SECTOR
	INICIO	FIN	
1C	5000	7100	100.0
2C	7100	7550	80.1
3C	7550	7700	100.0
4C	7700	7800	82.4
5C	7800	8050	100.0
6C	8050	8300	82.1
7C	8300	8350	100.0
8C	8350	8650	79.8
9C	8650	10300	99.9
10C	10300	10400	77.1
11C	10400	10500	100.0
12C	10500	10600	79.8
13C	10600	11450	99.0
14C	11450	13200	78.1
15C	13200	13300	100.0
16C	13300	13500	85.8
17C	13500	13800	100.0
18C	13800	14200	72.5
19C	14200	14400	100.0
20C	14400	14450	75.4
21C	14450	14550	100.0
22C	14550	15000	74.9

Fuente: Elaboración propia

Luego, se elabora un gráfico de sectores homogéneos por URCI, que superpuesto con el gráfico de sectores homogéneos por IRlc, permite demostrar que existe similitud en los resultados de ambas metodologías.



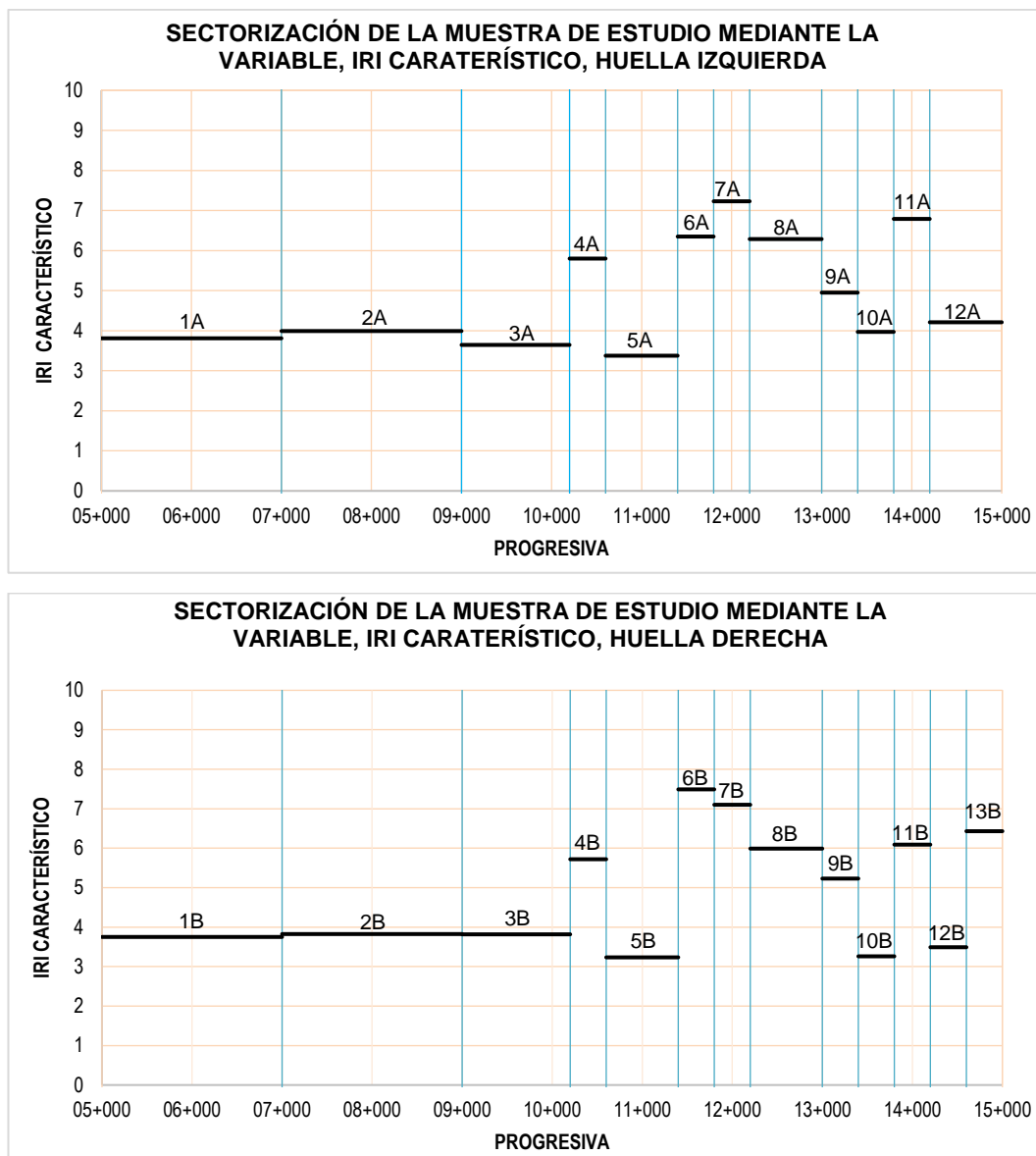


Figura N° 68 Superposición entre el gráfico de sectores homogéneos por URCl y por IRIC
 Fuente: Elaboración Propia

Para realizar una mejor comparación entre los resultados de ambas metodologías, se calcula el URCl promedio ponderado que le corresponde a cada sector propuesto en la sectorización por IRIC, ver tabla N°48, y con ello se elabora un gráfico de URCl promedio ponderado versus progresiva, ver fig. N°69.

Tabla N° 48 URCl promedio ponderado por cada sector propuesto en la sectorización por IRIC

SECTOR URCl	PROGRESIVA		URCl PROMEDIO POR SECTOR	LONG.	LONG. X URCl	SUMA (LONG.)	SUMA (LONG. X URCl)	PROMEDIO PONDERADO URCl	SECTOR IRIC HUELLA IZQUI.
	INICIO	FIN							
1C	5000	7000	100	2000	200000	2100	210000	100	1A

SECTOR URCI	PROGRESIVA		URCI PROMEDIO POR SECTOR	LONG.	LONG. X URCI	SUMA (LONG.)	SUMA (LONG. X URCI)	PROMEDIO PONDERADO URCI	SECTOR IRIC HUELLA IZQUI.
	INICIO	FIN							
1C	7000	7100	100	100	10000	1900	168715	88.80	2A
2C	7100	7550	80.1	450	36045				
3C	7550	7700	100	150	15000				
4C	7700	7800	82.4	100	8240				
5C	7800	8050	100	250	25000				
6C	8050	8300	82.1	250	20525				
7C	8300	8350	100	50	5000				
8C	8350	8650	79.8	300	23940				
9C	8650	9000	99.9	350	34965				
9C	9000	10200	99.9	1200	119880	1200	119880	99.9	3A
9C	10200	10300	99.9	100	9990	400	35680	89.2	4A
10C	10300	10400	77.1	100	7710				
11C	10400	10500	100	100	10000				
12C	10500	10600	79.8	100	7980				
13C	10600	11400	99	800	79200	800	79200	99.0	5A
13C	11400	11450	99	50	4950	400	32285	80.7	6A
14C	11450	11800	78.1	350	27335				
14C	11800	12200	78.1	400	31240	400	31240	78.1	7A
14C	12200	13000	78.1	800	62480	800	62480	78.1	8A
14C	13000	13200	78.1	200	15620	400	34200	85.5	9A
15C	13200	13300	100	100	10000				
16C	13300	13400	85.8	100	8580				
16C	13400	13500	85.8	100	8580	400	38580	96.5	10A
17C	13500	13800	100	300	30000	800	67475	84.3	12A
18C	13800	14200	72.5	400	29000				
19C	14200	14400	100	200	20000				
20C	14400	14450	75.4	50	3770				
21C	14450	14550	100	100	10000				
22C	14550	14600	74.9	50	3745				
22C	14600	15000	74.9	400	29960				

SECTOR URCI	PROGRESIVA		URCI PROMEDIO POR SECTOR	LONG.	LONG. X URCI	SUMA (LONG.)	SUMA (LONG. X URCI)	PROMEDIO PONDERADO URCI	SECTOR IRIC HUELLA DER.
	INICIO	FIN							
1C	5000	7000	100	2000	200000	2100	210000	100	1B
1C	7000	7100	100	100	10000				
2C	7100	7550	80.1	450	36045	1900	168715	88.80	2B
3C	7550	7700	100	150	15000				
4C	7700	7800	82.4	100	8240				
5C	7800	8050	100	250	25000				
6C	8050	8300	82.1	250	20525				

SECTOR URCI	PROGRESIVA		URCI PROMEDIO POR SECTOR	LONG.	LONG. X URCI	SUMA (LONG.)	SUMA (LONG. X URCI)	PROMEDIO PONDERADO URCI	SECTOR IRIC HUELLA DER.
	INICIO	FIN							
7C	8300	8350	100	50	5000				
8C	8350	8650	79.8	300	23940				
9C	8650	9000	99.9	350	34965				
9C	9000	10200	99.9	1200	119880	1200	119880	99.9	3B
9C	10200	10300	99.9	100	9990	400	35680	89.2	4B
10C	10300	10400	77.1	100	7710				
11C	10400	10500	100	100	10000				
12C	10500	10600	79.8	100	7980				
13C	10600	11400	99	800	79200	800	79200	99.0	5B
13C	11400	11450	99	50	4950	400	32285	80.7	6B
14C	11450	11800	78.1	350	27335				
14C	11800	12200	78.1	400	31240	400	31240	78.1	7B
14C	12200	13000	78.1	800	62480	800	62480	78.1	8B
14C	13000	13200	78.1	200	15620	400	34200	85.5	9B
15C	13200	13300	100	100	10000				
16C	13300	13400	85.8	100	8580				
16C	13400	13500	85.8	100	8580	400	38580	96.5	10B
17C	13500	13800	100	300	30000	400	29000	72.5	11B
18C	13800	14200	72.5	400	29000				
19C	14200	14400	100	200	20000	400	37515	93.8	12B
20C	14400	14450	75.4	50	3770				
21C	14450	14550	100	100	10000				
22C	14550	14600	74.9	50	3745				
22C	14600	15000	74.9	400	29960	400	29960	74.9	13B

Fuente: Elaboración Propia

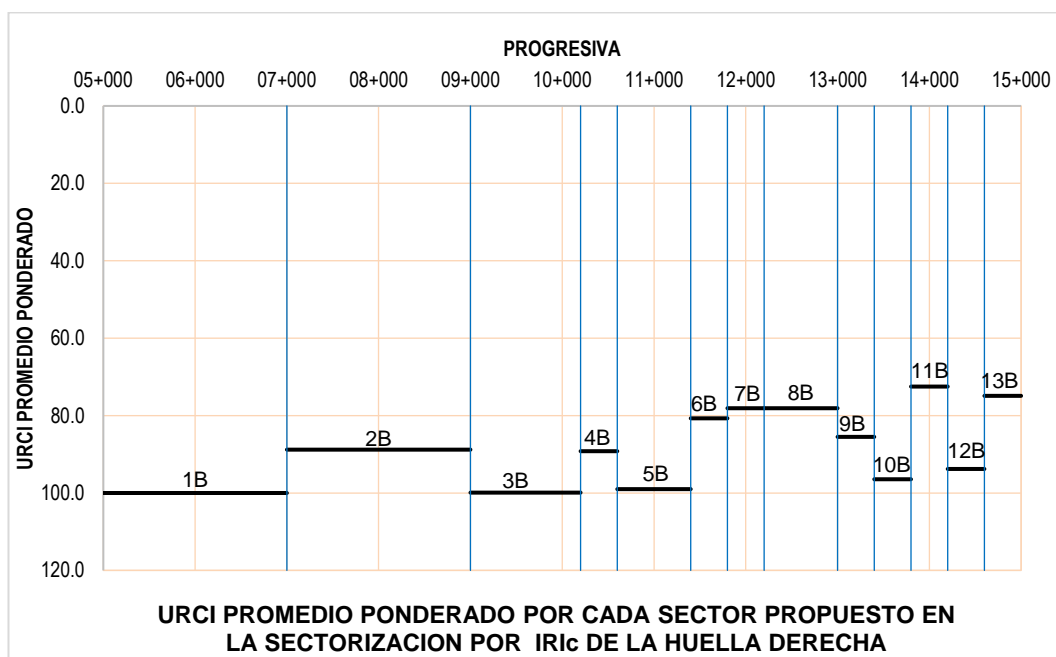
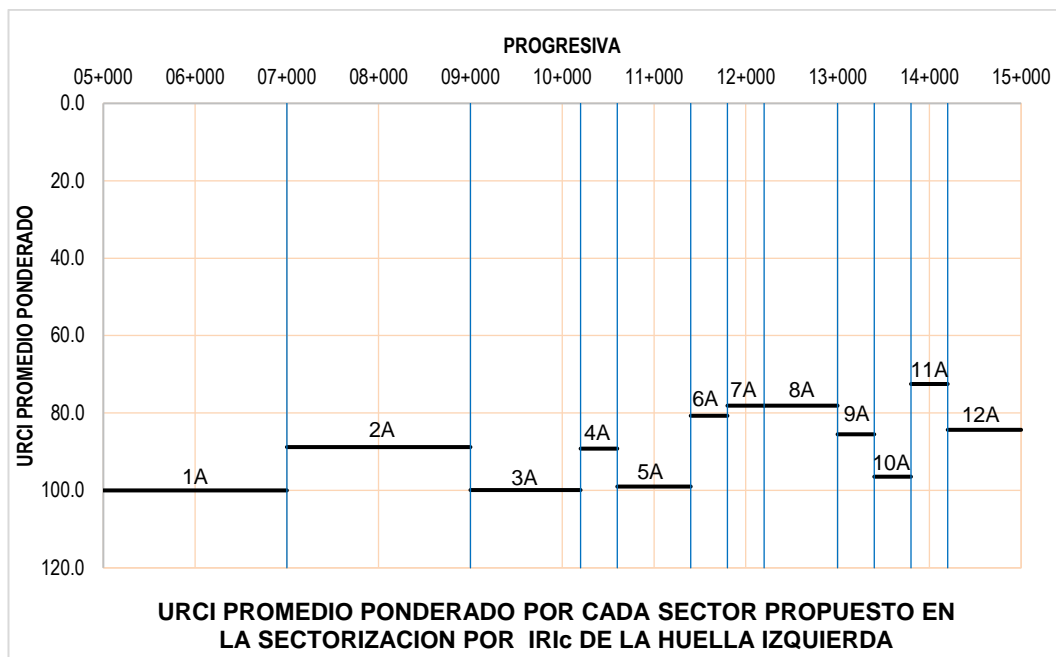


Figura N° 69 URCl promedio ponderado por cada sector propuesto en la sectorización por IRCl.

Fuente: Elaboración Propia

La fig. N°68 en concordancia con la fig. N°69, permiten concluir que los resultados obtenidos mediante ambas metodologías son muy parecidos, a excepción de los sectores 2A y 2B donde difieren; lo cual es sustentable, pues las fallas superficiales que predominan en ambos sectores se encuentran principalmente en la parte central, ver fig. N°70, y las mediciones del IRCl, a diferencia del URCl que abarca todo el ancho de calzada, solo se ha realizado en las huellas.



Figura N° 70 Desgaste de la capa de rodadura en la huella derecha, izquierda y parte central.

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, si bien los resultados de ambas metodologías son parecidos al superponerse gráficamente, estos difieren cuando se comparan las escalas de medida. Para comparar las escalas de medida se elabora la tabla N°49, el cual toma en cuenta la fig. N°5 y N°28 y la tabla N°41 y N°48

Tabla N° 49 Comparación entre las escalas de medida del IR_{lc} y UR_{CI}

HUELLA IZQUIERDA						
SECTOR	INICIO	FIN	IR _{lc}	ESCALA IR _{lc}	UR _{CI}	ESCALA UR _{CI}
1A	05+000	07+000	3.81	BUENO	100	EXCELENTE
2A	07+000	09+000	3.99	BUENO	88.8	EXCELENTE
3A	09+000	10+200	3.64	BUENO	99.9	EXCELENTE
4A	10+200	10+600	5.8	BUENO	89.2	EXCELENTE
5A	10+600	11+400	3.38	BUENO	99	EXCELENTE
6A	11+400	11+800	6.35	REGULAR	80.7	MUY BUENO
7A	11+800	12+200	7.23	REGULAR	78.1	MUY BUENO
8A	12+200	13+000	6.29	REGULAR	78.1	MUY BUENO
9A	13+000	13+400	4.95	BUENO	85.5	EXCELENTE
10A	13+400	13+800	3.97	BUENO	96.5	EXCELENTE
11A	13+800	14+200	6.79	REGULAR	72.5	MUY BUENO
12A	14+200	15+000	4.21	BUENO	84.3	MUY BUENO

HUELLA DERECHA						
SECTOR	INICIO	FIN	IRIc	ESCALA IRIc	URCI	ESCALA URCI
1 B	05+000	07+000	3.75	BUENO	100	EXCELENTE
2 B	07+000	09+000	3.82	BUENO	88.8	EXCELENTE
3 B	09+000	10+200	3.82	BUENO	99.9	EXCELENTE
4 B	10+200	10+600	5.72	BUENO	89.2	EXCELENTE
5 B	10+600	11+400	3.23	BUENO	99	EXCELENTE
6 B	11+400	11+800	7.49	REGULAR	80.7	MUY BUENO
7 B	11+800	12+200	7.1	REGULAR	78.1	MUY BUENO
8 B	12+200	13+000	5.99	REGULAR	78.1	MUY BUENO
9 B	13+000	13+400	5.23	BUENO	85.5	EXCELENTE
10 B	13+400	13+800	3.26	BUENO	96.5	EXCELENTE
11 B	13+800	14+200	6.09	REGULAR	72.5	MUY BUENO
12 B	14+200	14+600	3.49	BUENO	93.8	EXCELENTE
13 B	14+600	15+000	6.43	REGULAR	74.9	MUY BUENO

Fuente: Elaboración Propia

La tabla N°49 muestra que no coinciden las escalas de medida del IRIc y URCI, sin embargo, se observa que existe relación entre ambas. En toda la muestra de estudio se cumple que la escala bueno del IRIc equivale a la escala excelente del URCI y la escala regular del IRIc equivale a la escala muy bueno del URCI; esta diferencia entre las escalas de medida, se debe a que la metodología URCI, no es muy estricta a la hora de calificar el tipo de severidad de una falla, además la muestra se emplaza dentro una zona árida por lo que la falla tipo “inadecuado drenaje en la carretera” no cuenta como un tipo de falla, ya que la vía no presenta cunetas, por lo que la calificación del URCI no disminuye como debería ser.

Para determinar cómo influyen las variables tráfico, capacidad de soporte de la subrasante, espesor de capa de rodadura, tipo de material que compone la capa de rodadura, cota de sub rasante, pendiente, velocidad de operación, humedad relativa, temperatura, grado de compactación y contenido de sales en el comportamiento del URCI, se ha visto conveniente adoptar las mismas conclusiones que se obtienen al determinar cómo influyen las variables precitadas en el comportamiento del IRIc, esto se ultimó se acepta únicamente porque ambas metodologías han mostrado similar resultado.

Por último, para concluir con el análisis del estado de conservación de la superficie de rodadura, considerando los resultados de la medición del URCI, se propone un

gráfico, que permite determinar las fechas donde se debe realizar los mantenimientos periódicos, a fin de mantener los niveles de servicio adecuados. Para elaborar este gráfico, se propone realizar los mantenimientos periódicos cuando el URCl pase de muy bueno a bueno, URCl=70, ya que según la equivalencia de escalas tratados anteriormente esto equivaldría a un IRlc=8, que es la transición de regular a malo. Además, es necesario dividir la muestra de estudio en dos sectores y analizarlos de manera independiente, ya que presentan su propio ritmo de deterioro, estos sectores se encuentran comprendidos entre el km 05+000 y km 10+200 y el km 10+200 y km 15+000.

A continuación, se muestra la tabla N°50, el cual contiene los resultados del URCl promedio por cada sector, y con ello se elabora la Fig.N°71, que permite determinar las fechas en que se deben realizar los mantenimientos periódicos.

Tabla N° 50 URCl promedio por cada sector, resultados de las tres mediciones realizadas

UNICO CARRIL					
SECTOR	INICIO	FIN	FECHA DE MEDICIÓN		
			22/07/14	02/09/2015	16/05/2016
			URCl promedio	URCl promedio	URCl promedio
1	05+000	10+200	100	98.71	95.89
2	10+200	15+000	100	96.26	85.62

Fuente: Elaboración propia

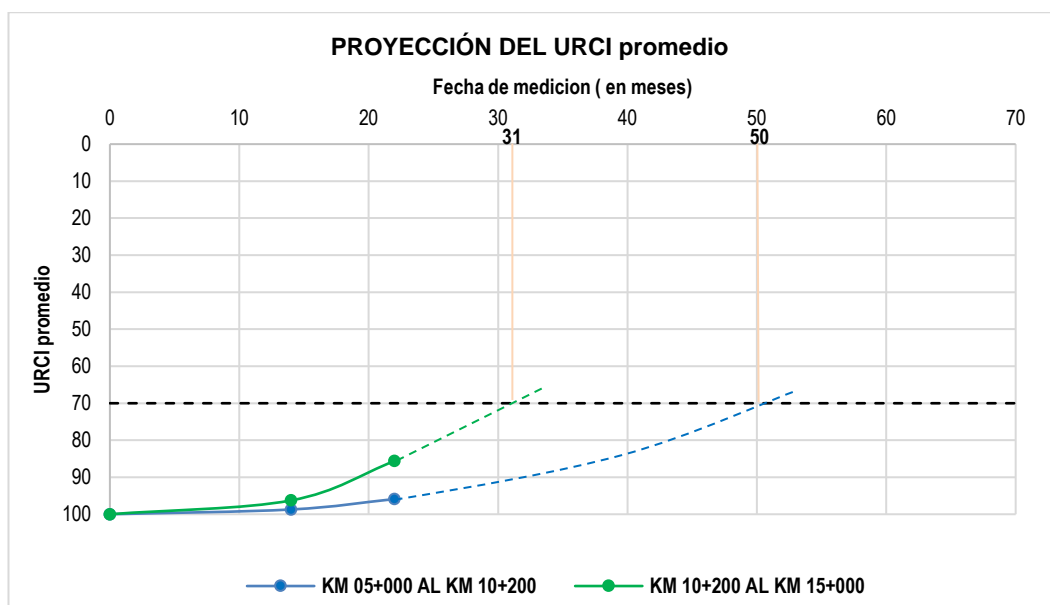


Figura N° 71 Proyección del URCl promedio, considerando las tres evaluaciones realizadas

Fuente: Elaboración Propia

Las fechas probables donde se debe realizar los mantenimientos periódicos en los sectores 1 y 2, a fin de mantener los niveles de servicios adecuados, según la fig. N°71, son a los 50 y 31 meses respectivamente. Estos resultados permiten deducir, que el sector 1 presenta un comportamiento adecuado, el cual está acorde con las recomendaciones del proveedor de Cloruro de Magnesio Hexahidratado, quienes en sus especificaciones proponen un estimado de mantenimientos periódicos cada 4 años, o lo que viene a ser lo mismo 48 meses. Por otra parte, el sector 2, presenta un comportamiento inadecuado, desgaste prematuro de la superficie de rodadura, el cual va a requerir de mantenimiento periódico a los 31 meses, casi a la mitad del tiempo propuesto por los proveedores en sus especificaciones.

- Análisis del estado de conservación de la superficie de rodadura, considerando los resultados de la medición del PASER

Luego de interpretar los resultados de la medición del PASER, ver tabla N°27, N°28, N°29 y fig. N°72, se elabora la fig. N°73, que muestra la sectorización de la muestra de estudio a partir de los resultados de la tercera medición del PASER, el cual comparado con la figura N°68, permite establecer que la metodología PASER, presenta resultados parecidos a los obtenidos mediante las metodologías IRI y URCI, por lo que se concluye que la metodología PASER, puede ser empleado como un método alternativo, donde se quiera tener un registro rápido del estado de conservación de la superficie de rodadura. Sin embargo, no se recomienda su empleo como herramienta de Gestión de Conservación Vial, ya que las mediciones se realizan cada 1000m, poseen un carácter subjetivo, y no es posible obtener metrados referenciales para la proyección de los mantenimientos rutinarios.

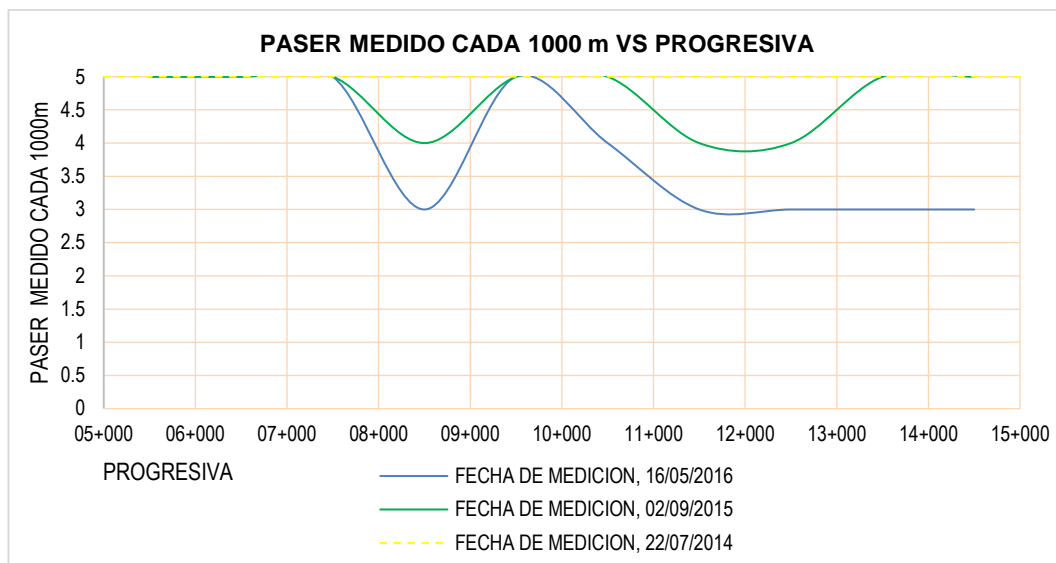


Figura N° 72 PASER vs PROGRESIVA

Fuente: Elaboración Propia

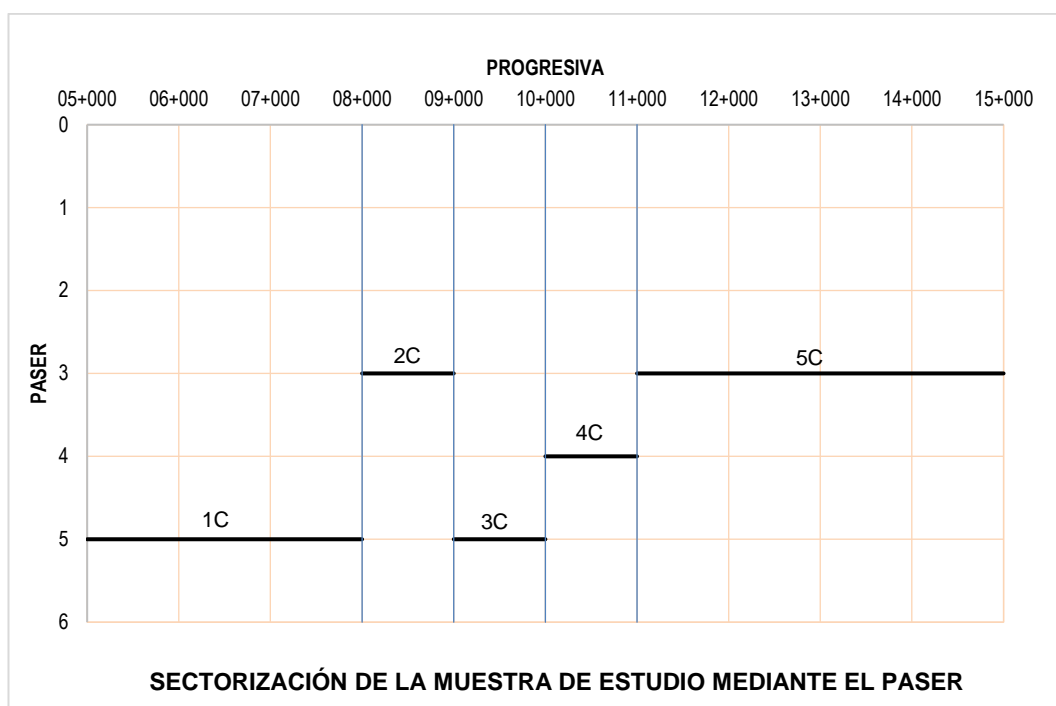


Figura N° 73 Sectorización de la muestra de estudio mediante el PASER

Fuente: Elaboración Propia

4.3 EVALUACIÓN DE SUPRESION DE POLVO

Como se mencionó en el capítulo dos, este tipo de evaluación tiene por objeto medir la cantidad de polvo antes y después de la aplicación de una medida de mitigación de polvo, para ello se emplean métodos cuantitativos y cualitativos, los cuales son materia de estudio de la presente tesis.

En lo que respecta a métodos cualitativos en la presente investigación se emplean los métodos Grado de polvo (GP) y Parámetro polvo URCl(PP-URCl) y en lo que respecta a métodos cuantitativos se emplea el método denominado Detección de los Niveles de Concentración de Polvo con el equipo DUSTMATE (NCP).

A continuación, se procede a describir la evaluación realizada por los métodos precitados y se analiza sus resultados.

4.3.1 Evaluación de supresión de polvo.

- Evaluación de supresión de polvo por el método Grado de Polvo (GP)

La aplicación de este método consiste en seleccionar los tramos de estudio, tramo A(del km 06+000 al km 08+000) y tramo B(del km 12+000-14+000), luego se particiona dichos tramos en unidades medibles, en este caso se divide en unidades de 500 m, finalmente se hace circular una camioneta a 40 km/h por los tramos de estudio y mientras se hace el recorrido se valoraba el grado de polvo, considerando los lineamientos que se menciona en la tabla N°5.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos luego de aplicar la metodología Grado de Polvo (GP) (ver tabla N°51 y N°52).

Tabla N° 51 Resultados de la medición del GRADO DE POLVO, primera evaluación (02/09/2015 – 14 meses después de haberse rehabilitado el tramo II)

CUADRO RESUMEN DEL GRADO DE POLVO (Evaluación realizada el 02/09/2015)				
Nº DE MEDICIÓN	TRAMO	PROGRESIVA		GRADO
		DEL KM	AL KM	
M1	A	06+000	06+500	1
M2		06+500	07+000	1
M3		07+000	07+500	1
M4		07+500	08+000	1
M5	B	12+000	12+500	1
M6		12+500	13+000	1
M7		13+000	13+500	1
M8		13+500	14+000	1

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

Tabla N° 52 Resultados de la medición del GRADO DE POLVO, segunda evaluación (16/05/2016 – 22 meses después de haberse rehabilitado el tramo II)

CUADRO RESUMEN DEL GRADO DE POLVO (Evaluación realizada el 16/05/2016)				
N° DE MEDICIÓN	TRAMO	PROGRESIVA		GRADO
		DEL KM	AL KM	
M1	A	06+000	06+500	1
M2		06+500	07+000	1
M3		07+000	07+500	1
M4		07+500	08+000	1
M5	B	12+000	12+500	1
M6		12+500	13+000	3
M7		13+000	13+500	1
M8		13+500	14+000	3

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

- Evaluación de supresión de polvo por el método Parámetro Polvo URCI (PP-URCI)

La aplicación de este método consiste en seleccionar los tramos de estudio, tramo A(del km 06+000 al km 08+000) y tramo B(del km 12+000-14+000), luego se particiona dichos tramos en unidades medibles, en este caso se divide en unidades de 500 m, y por cada unidad se selecciona un muestra representativa de 50m, tal como lo indica el Reporte Especial 87-15(Manual URCI), después se hace circular una camioneta a 40 km/h por las muestras representativas, finalmente se mide la altura de la nube de polvo que se genera por el paso de la camioneta, y con ello se le valora un nivel de falla¹⁵.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos luego de aplicar la metodología Parámetro Polvo URCI (PP – URCI) (ver tabla N°53 y N°54).

Tabla N° 53 Resultados de la medición del PARAMETRO POLVO URCI, primera evaluación (02/09/2015 - 14 meses después de haberse rehabilitado el tramo II)

CUADRO RESUMEN DEL PARAMETRO POLVO URCI (Evaluación realizada el 02/09/2015)				
N° DE MEDICIÓN	TRAMO	PROGRESIVA		CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM	
M1	A	06+000	06+500	NO PRESENTA
M2		06+500	07+000	NO PRESENTA
M3		07+000	07+500	NO PRESENTA
M4		07+500	08+000	NO PRESENTA
M5	B	12+000	12+500	LEVE
M6		12+500	13+000	LEVE
M7		13+000	13+500	LEVE
M8		13+500	14+000	LEVE

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

¹⁵ Los niveles de falla por presencia de polvo se encuentran explicados en el sub capítulo 2.10.

Tabla N° 54 Resultados de la medición del PARAMETRO POLVO URCI, segunda evaluación (16/05/2016 – 22 meses después de haberse rehabilitado el tramo II)

CUADRO RESUMEN DEL PARAMETRO POLVO URCI (Evaluación realizada el 16/05/2016)				
Nº DE MEDICIÓN	TRAMO	PROGRESIVA		CLASIFICACION
		DEL KM	AL KM	
M1	A	06+000	06+500	NO PRESENTA
M2		06+500	07+000	NO PRESENTA
M3		07+000	07+500	LEVE
M4		07+500	08+000	LEVE
M5	B	12+000	12+500	LEVE
M6		12+500	13+000	MODERADO
M7		13+000	13+500	LEVE
M8		13+500	14+000	MODERADO

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

- Evaluación de supresión de polvo por el método Detección de los Niveles de Concentración de Polvo con el equipo DUSTMATE (NCP).

La aplicación de este método consiste en seleccionar los tramos de estudio, tramo A (del km 06+000 al km 08+000) y tramo B (del km 12+000-14+000), luego se instala el equipo DUSTMATE en el parachoques trasero de una camioneta, a fin de que se pueda captar de manera directa la cantidad de polvo generado por la tracción del neumático con la capa de rodadura, después se configura el equipo para que obtenga mediciones de PM2.5 y PM10, posteriormente se realiza el recorrido de los tramos a una velocidad constante de 40km/h, con lo cual se almacena los datos segundo a segundo de la cantidad de polvo generado por el paso de la camioneta, finalmente se descarga los datos almacenados para su posterior análisis.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos luego de aplicar la metodología Detección de los Niveles de Concentración de Polvo con el equipo DUSTMATE (NCP) (ver tabla N°55, N°56 y N°57).

Tabla N° 55 Resultados de la medición de los NIVELES DE CONCENTRACION DE POLVO primera evaluación 08/10/2013 – 9 meses antes de la Rehabilitación)

CUADRO RESUMEN DE LOS NIVELES DE CONCENTRACION DE POLVO (Evaluación realizada el 08/10/2013)					
Nº DE MEDICIÓN	TRAMO	PROGRESIVA		TAMAÑO DE PARTICULA	VALOR PROMEDIO (partículas/cc)
		DEL KM	AL KM		
M1	A	06+000	08+000	PM 2.5	251
M2		06+000	08+000	PM 10	403
M3	B	12+000	14+000	PM 2.5	463
M4		12+000	14+000	PM 10	804

Fuente: LIPLATA PERU S.A

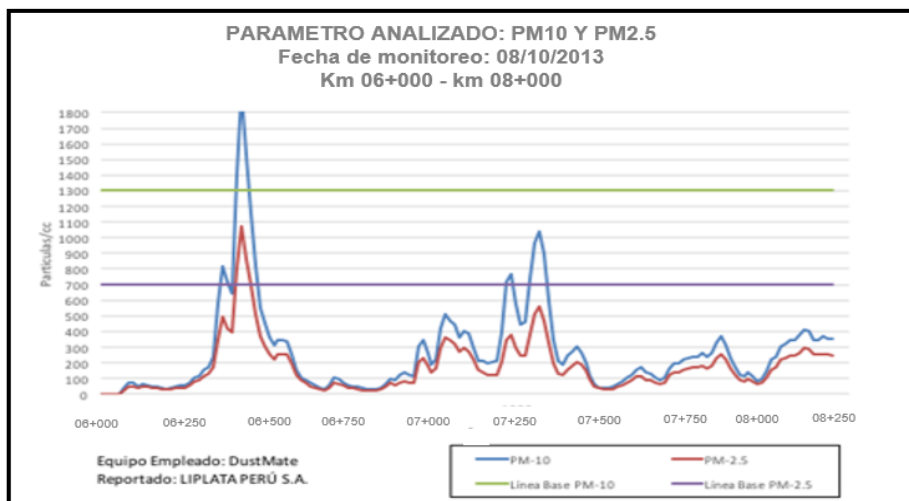


Figura N° 74 Monitoreo de material particulado PM10 y PM 2.5(08/10/2013)-TRAMO A.
 Fuente: LIPLATA PERU S.A

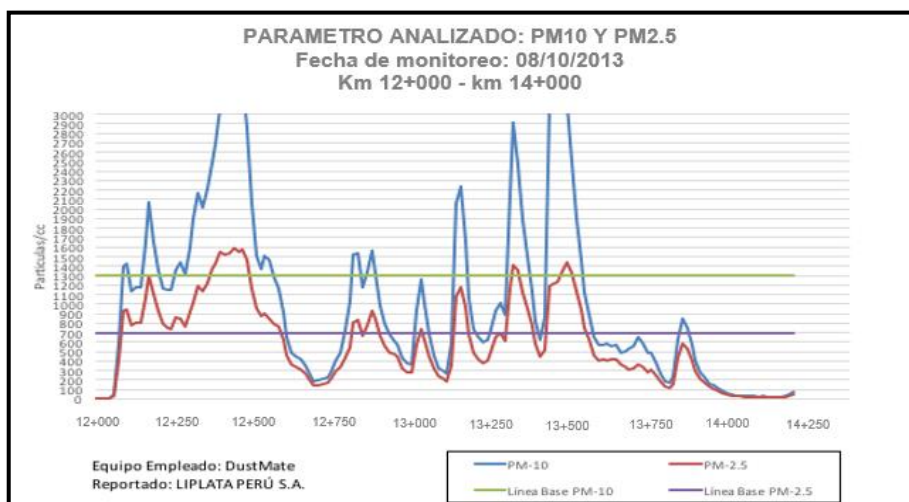


Figura N° 75 Monitoreo de material particulado PM10 y PM 2.5(08/10/2013)-TRAMO B.
 Fuente: LIPLATA PERU S.A

Tabla N° 56 Resultados de la medición de los NIVELES DE CONCENTRACION DE POLVO segunda evaluación 24/10/2014 – 3 meses después de la Rehabilitación)

CUADRO RESUMEN DE LOS NIVELES DE CONCENTRACION DE POLVO (Evaluación realizada el 24/10/2014)					
Nº DE MEDICIÓN	TRAMO	PROGRESIVA		TAMAÑO DE PARTICULA	VALOR PROMEDIO (partículas/cc)
		DEL KM	AL KM		
M1	A	06+000	08+000	PM 2.5	33
M2		06+000	08+000	PM 10	41
M3	B	12+000	14+000	PM 2.5	78
M4		12+000	14+000	PM 10	87

Fuente: LIPLATA PERU S.A

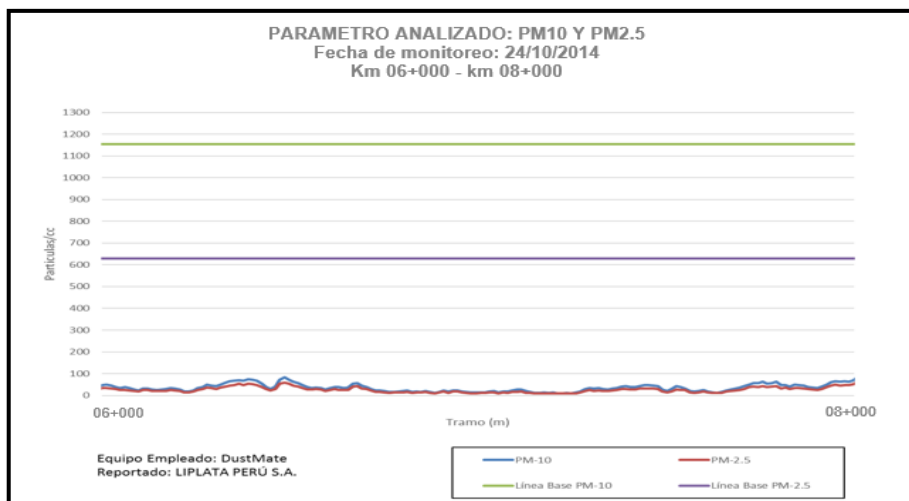


Figura N° 76 Monitoreo de material particulado PM10 y PM 2.5(24/10/2014)-TRAMO A.
 Fuente: LIPLATA PERU S.A

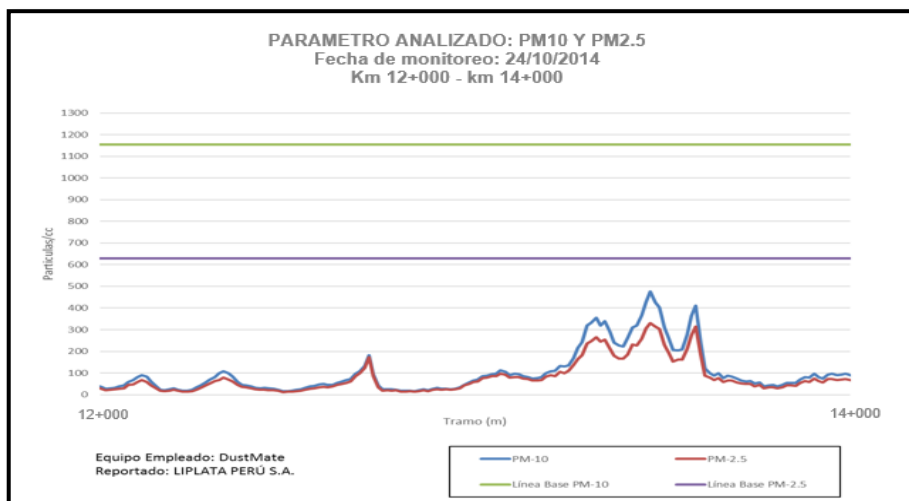


Figura N° 77 Monitoreo de material particulado PM10 y PM 2.5(24/10/2014)-TRAMO B.
 Fuente: LIPLATA PERU S.A

Tabla N° 57 Resultados de la medición de los NIVELES DE CONCENTRACION DE POLVO
 tercera evaluación 12/10/2016 – 27 meses después de la Rehabilitación)

CUADRO RESUMEN DE LOS NIVELES DE CONCENTRACION DE POLVO (Evaluación realizada el 12/10/2016)					
Nº DE MEDICIÓN	TRAMO	PROGRESIVA		TAMAÑO DE PARTICULA	VALOR PROMEDIO (partículas/cc)
		DEL KM	AL KM		
M1	A	06+000	08+000	PM 2.5	53
M2		06+000	08+000	PM 10	73
M3	B	12+000	14+000	PM 2.5	135
M4		12+000	14+000	PM 10	218

Fuente: LIPLATA PERU S.A

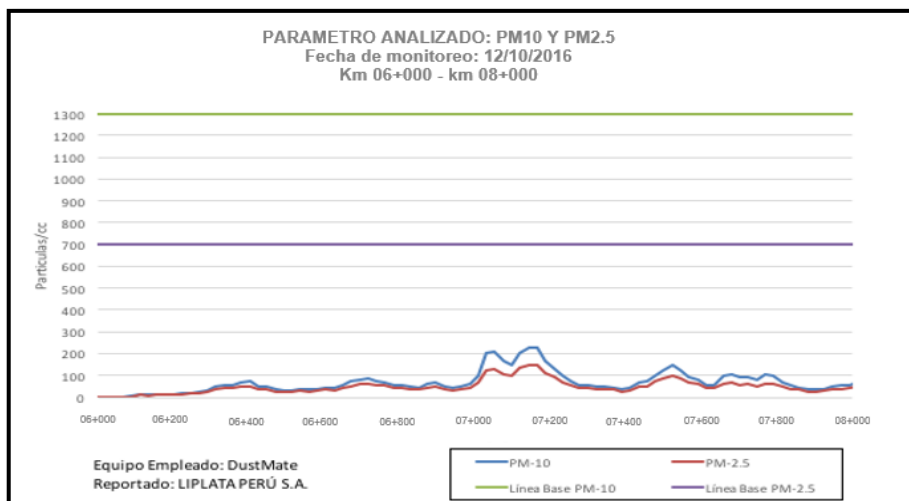


Figura N° 78 Monitoreo de material particulado PM10 y PM 2.5(12/10/2016)-TRAMO A.
Fuente: LIPLATA PERU S.A

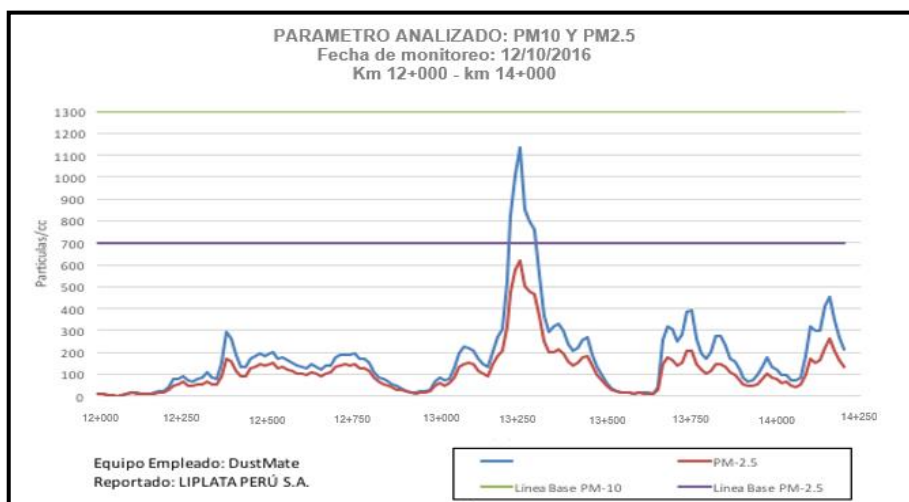


Figura N° 79 Monitoreo de material particulado PM10 y PM 2.5(12/10/2016)-TRAMO B.
Fuente: LIPLATA PERU S.A

4.3.2 Análisis de los resultados obtenidos

- Análisis de los resultados obtenidos por el método Grado de polvo (GP)
De los resultados obtenidos por el método Grado de Polvo, se desprende:
 - ❖ Respecto del tramo A, al realizar el recorrido con la camioneta a los 14 y 22 meses no se observa presencia de polvo sobre el parabrisas.
 - ❖ Respecto del tramo B, al realizar el recorrido con la camioneta no se observa presencia de polvo sobre el parabrisas a los 14 meses, pero si cierta cantidad polvo a los 22 meses, que no genera disconformidad al manejar.

- Análisis de los resultados obtenidos por el método Parámetro polvo URCI (PP-URCI)

De los resultados obtenidos por el método Parámetro Polvo URCI (PP-URCI), se desprende:

- ❖ En lo que respecta al tramo A, a los 14 meses no se observa nube de polvo alguno, brindando la sensación de estar sobre una vía pavimentada, por otro lado, a los 22 meses se observa dos zonas, el primero del km 06+000 al km 07+000, donde no se observa nube de polvo y el segundo que va desde el km 07+000 al km 08+000 donde si se comenzó a observar presencia de nube de polvo que no supera los 0.90 m de altitud.
- ❖ En lo que respecta al tramo B, a los 14 meses se observa a lo largo del tramo presencia de nube de polvo que no supera los 0.90m de altitud, y a los 22 meses se observa algunas zonas donde la nube de polvo supera los 0.90m y otros donde no, pero en ninguno de ellos la altura de polvo supera los 2.70 m de altitud.

- Análisis de los resultados obtenidos por el método Detección de los Niveles de Concentración de Polvo con el equipo DUSTMATE (NCP).

De los resultados obtenidos por el método Detección de los Niveles de Concentración de Polvo con el equipo DUSTMATE, se desprende:

- ❖ En lo que respecta al tramo A, a los 3 meses se observa una eficiencia promedio de supresión de polvo de 89.83 % y 86.85 % de partículas PM10 y PM2.5 respectivamente y a los 27 meses se observó una eficiencia promedio de supresión de polvo de 81.89 % y 78.88 % de partículas PM10 y PM2.5 respectivamente.
- ❖ En lo que respecta al tramo B, a los 3 meses se observó una eficiencia promedio de supresión de polvo de 89.18 % y 83.15 % de partículas PM10 y PM2.5 respectivamente y a los 27 meses se observó una eficiencia promedio de supresión de polvo de 72.89 % y 70.84 % de partículas PM10 y PM2.5 respectivamente.

Los altos porcentajes de eficiencia de supresión de polvo obtenidos, ver figura N°80 y N°81, permiten afirmar que el Cloruro de Magnesio Hexahidratado es un excelente aditivo supresor de polvo.

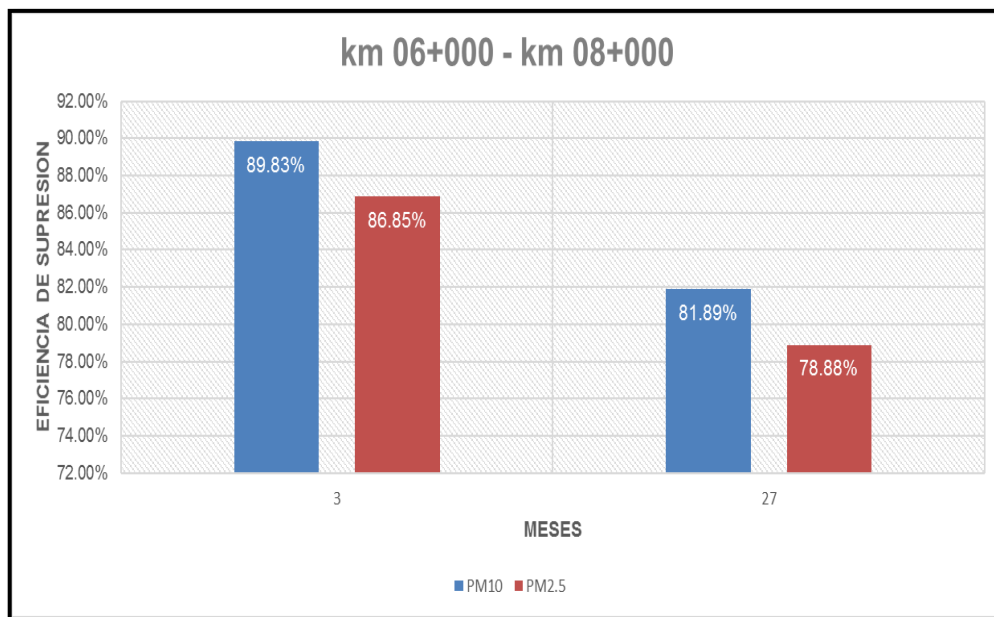


Figura N° 80 Porcentaje de eficiencia de supresión de polvo del Tramo A.

Fuente: Elaboración propia

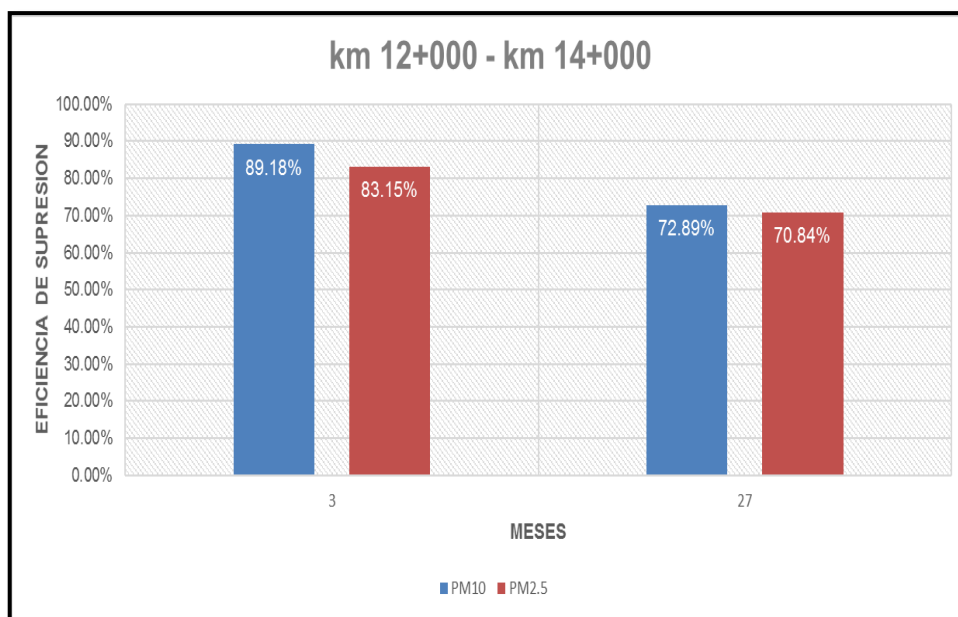


Figura N° 81 Porcentaje de eficiencia de supresión de polvo del Tramo B.

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- ❖ Luego de haber analizado cada una de las variables que influyen en el estado de conservación de la superficie de rodadura, se concluye que solo se puede sectorizar la muestra de estudio, en sectores homogéneos, mediante las variables capacidad de soporte, pendiente de la rasante y velocidad de operación. Las demás variables como el tráfico, espesor de capa de rodadura, tipo de material que compone la capa de rodadura, cota de rasante, humedad relativa y temperatura no pueden ser empleadas para sectorizar la muestra de estudio, ya que influyen de manera homogénea sobre la vía. Finalmente, tampoco se puede sectorizar la muestra de estudio mediante las variables grado de compactación y contenido de sales, ya que la cantidad de muestras ensayadas es limitada, debido a que se ha procurado extraer la menor cantidad de muestras posibles, a fin de no dañar la superficie de rodadura.
- ❖ Para realizar el análisis de estado de conservación de la superficie de rodadura considerando los resultados de la medición del IRI, se sectoriza la muestra de estudio, en sectores homogéneos, empleando el método de Diferencias Acumuladas, obteniéndose 12 sectores para la huella izquierda y 13 sectores para la huella derecha, ver tabla N°41. Posteriormente se superpone esta sectorización, con las sectorizaciones de las variables capacidad de soporte, pendiente de rasante y velocidad de operación. De donde se concluye, que la capacidad de soporte de subrasante no es la causa de que se presenten sectores con desgaste prematuro de la superficie de rodadura, además se observa que los sectores que presentan desgaste prematuro son aquellos que presentan pendientes de rasante mayores a 4% en al menos 30% de su longitud o presentan velocidades de operación menores a 20 m/s en al menos 55% de su longitud. Por lo que es preferible aplicar el Cloruro de Magnesio Hexahidratado en vías rectas y con pendientes menores a 4%.
- ❖ Si bien no se sectoriza la muestra de estudio mediante las variables grado de compactación y contenidos de sales, debido a la cantidad limitada de ensayos, se procura extraer las muestras en zonas específicas donde la vía presenta un comportamiento bueno, regular y regular a malo. De los resultados se concluye que todas las zonas muestreadas que presentan una superficie de rodadura con deterioro entre regular y regular a malo no cumplen con el grado de compactación necesario, 100% de la MDS para afirmados, ni

con contenido de sales mínimo requerido, 2.5% en peso del material granular seco. Por lo que para obtener resultados óptimos con el Cloruro de Magnesio Hexahidratado es imprescindible que haya una buena homogenización entre la sal y el material granular, así como una adecuada compactación.

- ❖ Para emplear los resultados de la medición del IRI como herramienta de Gestión Vial, es conveniente dividir la muestra de estudio en dos sectores que presentan distintas velocidades de deterioro, los cuales se encuentran comprendidos entre el km 05+000 y km 10+200 y el km 10+200 y km 15+000, además es necesario citar al manual de Mantenimiento o Conservación Vial, aprobado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, mediante Resolución Directoral N.º 08-2014-MTC/14, de fecha 23 de marzo del 2014, ya que acá se propone el IRIc máximo que puede presentar una carretera durante su periodo de servicio. De ambos se concluye, que las fechas donde se debe realizar los mantenimientos periódicos en los sectores 1 y 2, a fin de mantener los niveles de servicio adecuados, son a los 49 y 28 meses respectivamente. Estos resultados permiten deducir, que el sector 1 presenta un comportamiento adecuado, el cual está acorde con las recomendaciones del proveedor de Cloruro de Magnesio Hexahidratado, quienes en sus especificaciones proponen un estimado de mantenimientos periódicos cada 4 años, o lo que viene a ser lo mismo 48 meses. Por otra parte, el sector 2, presenta un comportamiento inadecuado, desgaste prematuro de la superficie de rodadura, el cual va a requerir de mantenimiento periódico a los 28 meses.
- ❖ Luego de comparar gráficamente las sectorizaciones de la muestra de estudio mediante el URCl y el IRI, se concluye que ambas metodologías han presentado resultados muy parecidos. Por lo que las conclusiones que desprenden de analizar el estado de conservación de la superficie de rodadura mediante el IRI pueden ser empleadas para el URCl.
- ❖ Para emplear los resultados de la medición del URCl como herramienta de Gestión Vial, es conveniente dividir la muestra de estudio en dos sectores que presentan distintas velocidades de deterioro, los cuales se encuentran comprendidos entre el km 05+000 y km 10+200 y el km 10+200 y km 15+000, además es necesario mencionar que según la equivalencia de escalas entre el URCl y IRIc, se debe realizar los mantenimientos periódicos cuando el URCl pase de muy bueno a bueno, URCl=70, que equivale a un IRIc=8. De ambos se concluye, que las fechas donde se debe realizar los mantenimientos

periódicos en los sectores 1 y 2, a fin de mantener los niveles de servicio adecuados, son a los 50 y 31 meses respectivamente. Por otra parte, la metodología del URCI también puede ser empleado para determinar el costo de los mantenimientos rutinarios o periódicos, ya que permite cuantificar las fallas en m² o ml, según corresponda el tipo de falla.

- ❖ Luego de comparar gráficamente las sectorizaciones de la muestra de estudio mediante el PASER, URCI e IRI, se concluye que los tres presentan resultados parecidos, sin embargo, la metodología del PASER se recomienda solo como método alternativo donde se quiera tener un registro rápido del estado de conservación de la superficie de rodadura, ya que las mediciones se realizan cada 1000m, poseen un carácter subjetivo, y no es posible obtener metrados referenciales para la elaboración de presupuestos de los mantenimientos.
- ❖ Luego de analizar los resultados obtenidos mediante las metodologías PASER, URCI e IRI, se concluye que las metodologías IRI y URCI, se complementan satisfactoriamente cuando se quiere evaluar funcionalmente una vía, ya que el IRI permite detectar pequeñas variaciones en el deterioro de la superficie de rodadura, que mediante el URCI sería muy difícil de medir, y el URCI a diferencia del IRI permite medir el deterioro superficial en todo el ancho de la vía, además de reportar metrados de fallas que sirven para elaborar los costos de mantenimientos rutinarios o periódicos. El PASER, sin embargo, no presenta alguna cualidad que haga que se complemente con los anteriores, ya que sus mediciones son muy generales y no permite reportar metrados, sin embargo, es necesario su empleo cuando se requiera hacer una preevaluación rápida.
- ❖ Del inventario de fallas superficiales, se concluye que la falla tipo desprendimiento de agregado es la que predomina. Se ha observado en campo que este tipo de falla se agrava después de que se desprende de la superficie de rodadura la costra protectora, que funciona como recubrimiento, el cual se forma luego realizar el riego supresor de polvo. Por lo que es necesario, considerar en los mantenimientos rutinarios riegos periódicos de salmuera sobre la superficie de rodadura, a fin de mantener intacta la costra protectora.
- ❖ De la evaluación de supresión de polvo realizado mediante el método Grado de polvo (GP), se concluye que el tramo A, presenta un GP de 1 y 1 para las

mediciones realizadas a los 14 y 22 meses respectivamente, ver tabla N°58, lo que significa que el conductor de la camioneta no observa presencia de polvo sobre el parabrisas en ninguna de las dos mediciones; y para el tramo B, se concluye que presenta un GP de 1 y 2 para las mediciones realizadas a los 14 y 22 meses respectivamente, lo que significa, que para este segundo tramo el conductor no observa presencia de polvo sobre el parabrisas a los 14 meses, pero si cierta cantidad polvo a los 22 meses, que no genera disconformidad al manejar.

Tabla N° 58 Resumen de los resultados de la medición del Grado de Polvo (GP).

SECTOR	PROG.INI (Km)	PROG.FIN (Km)	GP (22/07/2014) MES "0"	GP (02/09/2015) MES "14"	GP (16/05/2016) MES "22"
TRAMO A	Km. 06+000	Km. 08+000	1	1	1
TRAMO B	Km. 12+000	Km. 14+000	1	1	2

Fuente: Elaboración propia.

- ❖ De la evaluación de supresión de polvo realizado mediante el método Parámetro Polvo URCI(PP-URCI), se concluye que los tramos A y B presentan los niveles de severidad de exposiciones de polvo que se muestran en la tabla N°59, de donde se deduce que el aditivo trabaja correctamente como supresor de polvo hasta los 14 meses, y presenta una disminución de su eficacia a los 22 meses.

Tabla N° 59 Resumen de los resultados de la medición del PP-URCI.

SECTOR	PROG.INI (Km)	PROG.FIN (Km)	PP-URCI (22/07/2014) MES "0"	PP-URCI (02/09/2015) MES "14"	PP-URCI (16/05/2016) MES "22"
TRAMO A	Km. 06+000	Km. 07+000	NO PRESENTA	NO PRESENTA	NO PRESENTA
	Km. 07+000	Km. 08+000	NO PRESENTA	NO PRESENTA	LEVE
TRAMO B	Km. 12+000	Km. 13+000	NO PRESENTA	LEVE	LEVE-MODERADO
	Km. 13+000	Km. 14+000	NO PRESENTA	LEVE	LEVE-MODERADO

Fuente: Elaboración propia.

- ❖ Luego de haber evaluado la supresión de polvo mediante las metodologías Grado de Polvo (GP) y Parámetro Polvo URCI (PP-URCI), se concluye que ambas metodologías permiten obtener un registro cualitativo rápido y de bajo costo de la cantidad de polvo que se desprende de la superficie de rodadura, sin embargo, no se recomienda su uso como herramienta de Gestión Vial, ya

que al no ser cuantitativo, las mediciones no permiten realizar proyecciones para determinar las fechas en que se va requerir riegos supresores de polvo.

- ❖ De la evaluación de supresión de polvo realizado mediante el método Detección de los Niveles de Concentración de Polvo con el equipo DUSTMATE, se concluye que los tramos A y B presentan altos porcentajes de efectividad de supresión de polvo, ver tabla N°60, lo cual comprueba la eficacia del Cloruro de Magnesio Hexahidratado como aditivo supresor de polvo.

Tabla N° 60 Resumen de los resultados y porcentajes de efectividad de supresión de polvo medidos en partículas PM10 y PM2.5.

SECTOR	PROG.INI (Km)	PROG.FIN (Km)	Tipo de partícula	PROMEDIO DE (# partículas) / cc			Porcentaje de efectividad de supresión de polvo (%)	
				MES "9"	MES "3"	MES "27"	AI "MES 3"	AI "MES 27"
TRAMO A	Km. 06+000	Km. 08+000	PM 2.5	251	33	53	86.85%	78.88%
	Km. 06+000	Km. 08+000	PM 10	403	41	73	89.83%	81.89%
TRAMO B	Km. 12+000	Km. 14+000	PM 2.5	463	78	135	83.15%	70.84%
	Km. 12+000	Km. 14+000	PM 10	804	87	218	89.18%	72.89%

Fuente: Elaboración propia.

- ❖ Luego de haber evaluado la supresión de polvo mediante el método Detección de los Niveles de Concentración de Polvo con el equipo DUSTMATE, se concluye que este método tampoco puede ser empleado como herramienta de Gestión Vial, ya que los resultados de la medición están en función de la altura en que se coloca el equipo DUSTMATE, la carga que lleva la camioneta, la estación del año y la hora en que se realiza la medición. Por lo que, si se quiere emplear los Niveles de Concentración de Polvo como herramienta de Gestión Vial, es mejor emplear métodos gravimétricos normados, ya que permiten tener una medición cuantitativa y continua de los niveles de concentración de polvo.

RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda emplear los resultados de las mediciones periódicas del IRI y URCl como herramienta de Gestión Vial, para determinar las fechas propicias en las cuales se deben realizar los mantenimientos rutinarios y periódicos, a fin de mantener los niveles de servicios adecuados durante el periodo de servicio.
- ❖ De presentarse sectores con desgaste prematuro de la superficie de rodadura, se recomienda determinar mediante la metodología empleada en la presente tesis, la causa del comportamiento inusual y con ello establecer las medidas de corrección necesarias.
- ❖ Se recomienda para posteriores estudios donde se considera aplicar el Cloruro de Magnesio Hexahidratado como aditivo estabilizador, determinar previo al diseño geométrico, la resistencia al deslizamiento que ofrece la superficie estabilizada cuando se presente la máxima humedad relativa, y con ello elaborar un diseño geométrico que contemple estos resultados; ya que en la muestra de estudio se observa que debido a la propiedad higroscópica del Cloruro de Magnesio Hexahidratado, en ciertas horas del día, generalmente al amanecer y al atardecer, horas en que la humedad relativa es alta, la superficie de rodadura presenta una película delgada de agua, generándose una disminución de la resistencia al deslizamiento, lo que origina una dificultad en el frenado, aumento de la distancia de parada, y a ciertas velocidades la sensación de patinaje del vehículo.
- ❖ Se recomienda aplicar el Cloruro de Magnesio Hexahidratado solo en vías con climas desérticos, ya que, de no ser así, es posible que las precipitaciones disuelvan la sal de la capa y superficie de rodadura, y encausen en quebradas o ríos, originando problemas medioambientales.
- ❖ Se recomienda aplicar el Cloruro de Magnesio hexahidratado en vías en lo posible rectas y con pendientes menores a 4%.
- ❖ Se recomienda para la Evaluación de Supresión de Polvo, emplear métodos gravimétricos normados, ya que a diferencia de los métodos empleados en la presente tesis, los métodos gravimétricos pueden ser empleados como herramienta de Gestión Vial, ya que realizan mediciones continuas de la concentración de polvo, lo que permite determinar el incremento diario de la concentración de polvo y con ello poder determinar mediante extrapolación

las fechas en que se debe realizar los riegos supresores de polvo, a fin de preservar la salud de las personas que viven colindantes a la vía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anticona L. P., "Innovación metodológica para evaluar superficie estabilizada con Cloruro de Magnesio aplicación vía de acceso a Caral (Km 05+000 – Km 15 +000)", Tesis de Grado, Ediciones UNI-FIC, Perú, Lima, 2012.

Águila R.P. "Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos", Publicación por Camineros S.A.C, Lima, Perú, 2002.

Arriaga P.M., Garnica A.P., Rico R.A., "Índice Internacional de Rugosidad en la red de carretera de México", Publicación Técnica N°108 del Instituto Mexicano del transporte, México, Sanfandila, 1998

Borja M., "Metodología de la investigación científica para ingenieros", Ediciones de la Universidad de Chiclayo, Perú, Chiclayo, 2012.

Carlessi H.S. y Reyes C., "Metodología y diseños en la investigación científica", 5a edición. Editorial Bussines Support Aneth S.R.L., Perú, Lima, 2015.

Cavieres A.W., "Comportamiento de las Soluciones Básicas de carpetas de rodadura aplicadas a caminos de bajo volumen de transito", Tesis de Grado, Ediciones de la Universidad de Chile, Chile, Santiago de Chile, 2008.

Cavada V.D., "Evaluación económica del control de polución y reconstrucción de la carpeta de rodado en camino industrial Los Bronces con supresor de polvo", Tesis de Grado, Ediciones de la Universidad de Chile, Chile, Santiago de Chile, 2016.

Choque H. M., "Evaluación de aditivos químicos en la eficiencia de la conservación de superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas", Tesis de Grado, Ediciones UNI-FIC, Perú, Lima, 2012.

Eaton R.A., Gerard S. y Cate D.W., "Rating Unsurfaced Roads a field manual for measuring maintenance problems", Editorial de la US Army Corps of Engineers, United State, Wisconsin, 1982.

García R.A., “Estudio teórico experimental de demanda, tecnología y economía de métodos para la supresión de polvo en caminos los ríos”, Tesis de Grado, Ediciones Universidad Austral de Chile, Chile, Valdivia, 2012.

Gutiérrez M.C., “Evaluación de la efectividad del Cloruro de Magnesio Hexahidratado como estabilizador químico de capas de rodadura granulares”, Tesis de Grado, Ediciones Universidad Ricardo Palma, Perú, Lima, 2010.

Thenoux G.Z. y Vera A.S., “Estabilización química de carreteras no pavimentadas en el Perú y ventajas comparativas del Cloruro de Magnesio frente al Cloruro de Calcio”, Artículo Materiales de Construcción, Vol. N°52, Ediciones Universidad Católica de Chile, Chile, Santiago de Chile, 2002.

Marcos R., Cabrera M., Laos H., Mamani D. y Valderrama A., “Estudio comparativo para la determinación del polvo atmosférico sedimentable empleando las metodologías de Tubos Pasivos y Placas Receptoras en la ciudad universitaria de San Marcos”, Ediciones de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, Lima, 2008.

MEF, “Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública en carreteras”, Ediciones del Ministerio de Economía y Finanzas, Perú, Lima, 2015.

MTC, “Documento Técnico de Soluciones Básicas en carreteras no pavimentadas”, Ediciones del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Perú, Lima, 2014.

MTC, “Manual de carreteras Conservación Vial Vol. N°1, N°2 y N°3”, Ediciones del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Perú, Lima, 2013.

MTC, “Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para construcción EG-2013”, Ediciones del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Perú, Lima, 2013.

MTC, "Manual de carreteras Diseño Geométrico DG-2014", Ediciones del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Perú, Lima, 2014.

MTC, "Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos", Ediciones del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Perú, Lima, 2013.

Ñaupas H., Mejía E., Novoa E. y Villagómez A., "Metodología de la investigación cuantitativa- cualitativa y redacción de la tesis", Ediciones de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos., Ediciones de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, Lima, 2014.

Peña C.L., "Soluciones Básicas y recuperación de carreteras convencionales", Conferencia en el auditorio de PROVIAS NACIONAL, Perú, Lima, 2010.

Torres T.R., "Intervenciones en la red vial Nacional", Conferencia en el auditorio de PROVIAS NACIONAL, Perú, Lima, 2011.

Walker D., Entine L. y Kummer, S., "Pavement Surface Evaluation and Rating PASER Manual Gravel Roads", Editorial de la US Army Corps of Engineers, United State, Wisconsin, 1988.

ANEXOS

ANEXO A

Panel Fotográfico

ANEXO A1

**Panel fotográfico del antes y después de la
rehabilitación del tramo II del camino vecinal
San Gregorio-Socso**



Figura N° 82 Vista hacia adelante del Km 05+100, foto tomada antes de la rehabilitación del camino. (28-12-2011)

Fuente: Estudio Definitivo del camino vecinal San Gregorio – Socso



Figura N° 83 Vista hacia adelante del Km 05+500, foto tomada antes de la rehabilitación del camino. (28-12-2011)

Fuente: Estudio Definitivo del camino vecinal San Gregorio – Socso



Figura N° 84 Vista hacia adelante del Km 07+100, foto tomada antes de la rehabilitación del camino. (28-12-2011)

Fuente: Estudio Definitivo del camino vecinal San Gregorio – Socso



Figura N° 85 Vista hacia adelante del Km 08+100, foto tomada antes de la rehabilitación del camino. (28-12-2011)

Fuente: Estudio Definitivo del camino vecinal San Gregorio – Socso



Figura N° 86 Vista hacia atrás del Km 12+000, foto tomada antes de la rehabilitación del camino.
(28-02-2011)

Fuente: Estudio Definitivo del camino vecinal San Gregorio – Socso



Figura N° 87 Vista hacia adelante del Km 14+200, foto tomada antes de la rehabilitación del camino. (28-12-2011)

Fuente: Estudio Definitivo del camino vecinal San Gregorio – Socso



Figura N° 88 Vista hacia atrás del Km 05+400, foto tomada a los 0 meses de haberse rehabilitado el camino. (22-07-2014)

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 89 Vista hacia atrás del Km 07+700, foto tomada a los 0 meses de haberse rehabilitado el camino. (22-07-2014)

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 90 Vista hacia atrás del Km 14+230, foto tomada a los 0 meses de haberse rehabilitado el camino. (22-07-2014)

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 91 Vista hacia atrás del Km 18+200, foto tomada a los 0 meses de haberse rehabilitado el camino. (22-07-2014)

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 92 Vista hacia atrás del Km 21+600, foto tomada a los 0 meses de haberse rehabilitado el camino. (22-07-2014)

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 93 Vista hacia atrás del Km 05+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 94 Vista hacia atrás del Km 06+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 95 Vista hacia atrás del Km 07+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015).

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 96 Vista hacia adelante del Km 08+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 97 Vista hacia adelante del Km 09+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 98 Vista hacia adelante del Km 10+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015).

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 99 Vista hacia adelante del Km 11+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

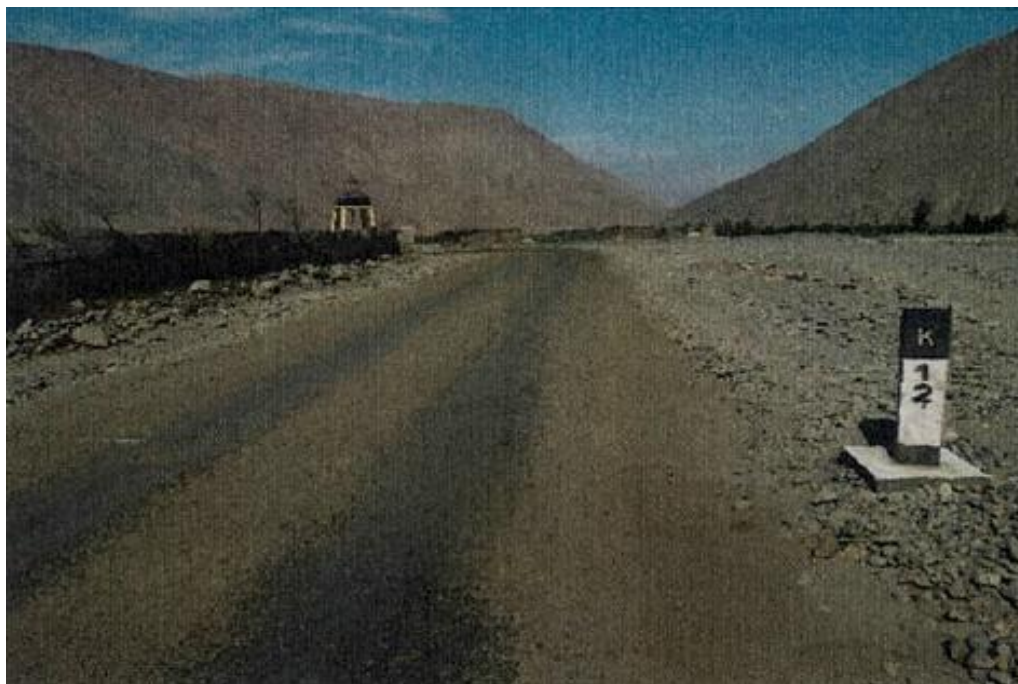


Figura N° 100 Vista hacia adelante del Km 12+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 101 Vista hacia atrás del Km 13+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO

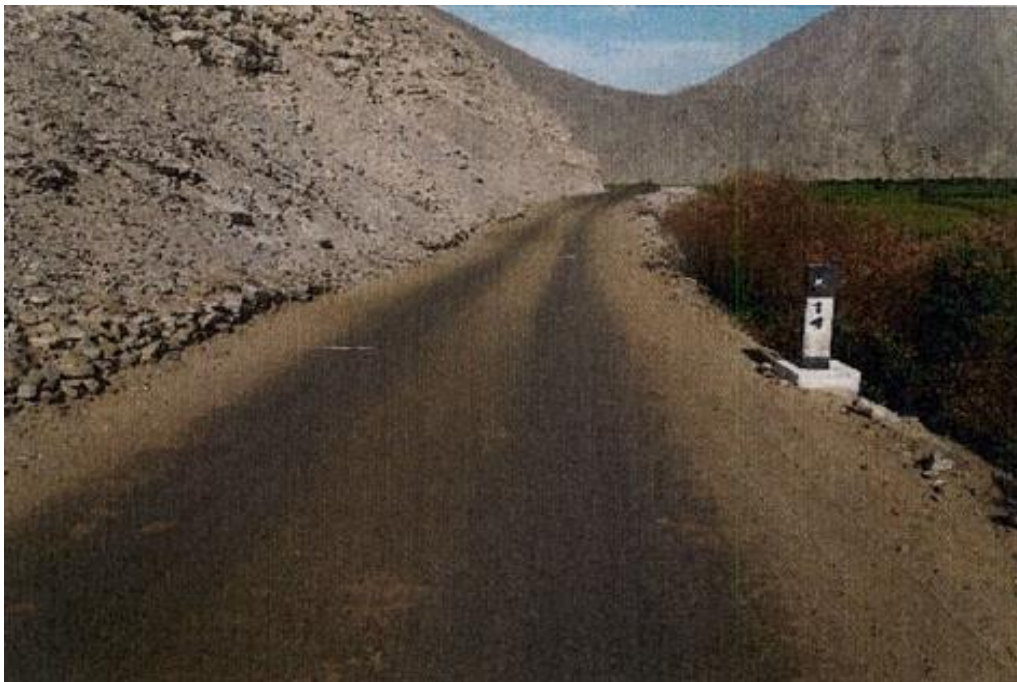


Figura N° 102 Vista hacia atrás del Km 14+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 103 Vista hacia atrás del Km 15+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino. (02-09-2015)

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 104 Vista hacia atrás del Km 05+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 105 Vista hacia atrás del Km 06+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 106 Vista hacia atrás del Km 07+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 107 Vista hacia adelante del Km 08+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 108 Vista hacia adelante del Km 09+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 109 Vista hacia adelante del Km 10+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 110 Vista hacia adelante del Km 11+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 111 Vista hacia adelante del Km 12+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia



Figura Nº 112 Vista hacia atrás del Km 13+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia



Figura Nº 113 Vista hacia adelante del Km 14+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 114 Vista hacia atrás del Km 15+000, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino. (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia

ANEXO A2

Panel fotográfico del proceso constructivo del tramo II del camino vecinal San Gregorio- Socso



Figura N° 115 Ensanche de la plataforma con excavadora sobre orugas. Prog.km 21+080.

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 116 Ensanche de la plataforma con un tractor sobre orugas. Prog.km 21+800.

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 117 Mezcla en cantera del material previamente cubicada con la salmuera. Prog.km 09+550.

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 118 Mezcla en cantera del material previamente cubicada con la salmuera. Prog.km 20+200.

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 119 Conformación del material granular, el material granular empleado fue previamente mezclado con salmuera en la cantera. Prog.km 23+800.

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 120 Conformación del material granular, el material granular empleado fue previamente mezclado con salmuera en la cantera. Prog.km 24+200.

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 121 Compactado del material granular previamente conformado. Prog.km 21+360.

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 122 Compactado del material granular previamente conformado. Prog.km 22+950.

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 123 Sellado del afirmado estabilizado previamente compactado con salmuera. Prog.km 19+000.

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR



Figura N° 124 Sellado del afirmado estabilizado previamente compactado con salmuera. Prog.km 24+360.

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR.

ANEXO A3

Panel fotográfico de la evaluación funcional y de supresión de polvo del tramo II del camino vecinal San Gregorio-Socso



Figura N° 125 Inicio del demarcado superficial de la capa de rodadura para delimitar las unidades de muestra. Prog.km 05+000, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino (02-09-2015)

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 126 Medición de la falla superficial perdida de agregado. Prog.km 10+400, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 127 Medición de la falla superficial perdida de agregado. Prog.km 14+700, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 128 Piedra perteneciente a la capa de rodadura mayor a 2". Prog.km 07+350, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 129 Piedra perteneciente a la capa de rodadura mayor a 6". Prog.km 15+210, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino (02-09-2015).

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 130 Humedad retenida en la superficie por el Cloruro de Magnesio. Prog.km 07+100, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 131 Medición de la rugosidad empleando el equipo MERLIN. Prog.km 14+200, foto tomada a los 0 meses de haberse rehabilitado el camino (22-07-2014)

Fuente: Ing. Juan José Enciso Torres/PVD-UGTR.



Figura N° 132 Medición de la rugosidad empleando el equipo MERLIN. Prog.km 11+500, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 133 Medición del Parámetro polvo URCI Y Grado de Polvo. Prog.km 07+750, foto tomada a los 22 meses de haberse rehabilitado el camino (16-05-2016)

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 134 Medición de polvo empleando el equipo DUSTMATE. Prog.km 24+100, foto tomada a los 27 meses de haberse rehabilitado el camino (12-10-2016).

Fuente: LIPLATA PERU S.A

ANEXO A4

**Panel fotográfico de la extracción de
muestras y toma de datos de humedad y
temperatura del tramo II del camino vecinal
San Gregorio-Socso**



Figura N° 135 Extracción de muestra y ensayo de densidad de campo. Prog.km 15+210, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino (02-09-2015).

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 136 Extracción de muestra y ensayo de densidad de campo. Prog.km 11+640, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino San Gregorio Socso (02-09-2015).

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 137 Extracción de muestra y ensayo de densidad de campo. Prog.km 08+690, foto tomada a los 14 meses de haberse rehabilitado el camino San Gregorio Socso (02-09-2015)

Fuente: PROVIAS DESCENTRALIZADO



Figura N° 138 Toma de datos de humedad y Temperatura. Prog.km 07+450, foto tomada a los 35 meses de haberse rehabilitado el camino San Gregorio Socso (20-06-2017)

Fuente: Elaboración propia.



Figura N° 139 Toma de datos de humedad y Temperatura. Prog.km 12+000, foto tomada a los 35 meses de haberse rehabilitado el camino San Gregorio Socso (20-06-2017)

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO B

Curvas para el cálculo de valores deductivos en unidades métricas e inglesas.

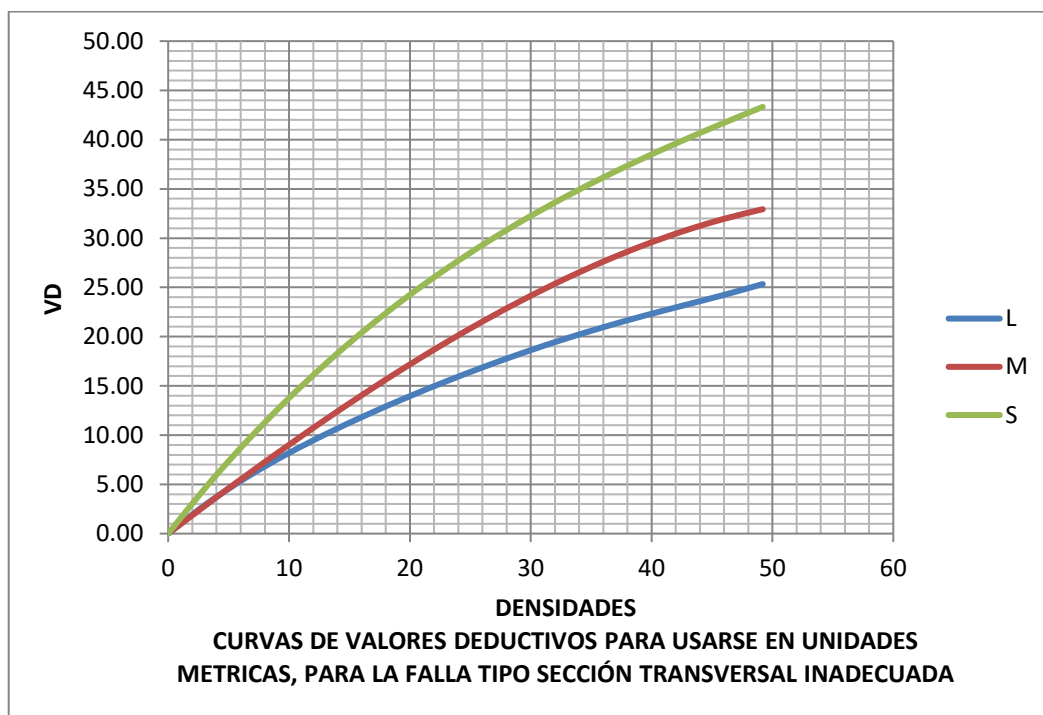


Figura N° 140 Curvas de valores deductivos para la falla tipo sección transversal inadecuada, para usarse en unidades métricas.

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI

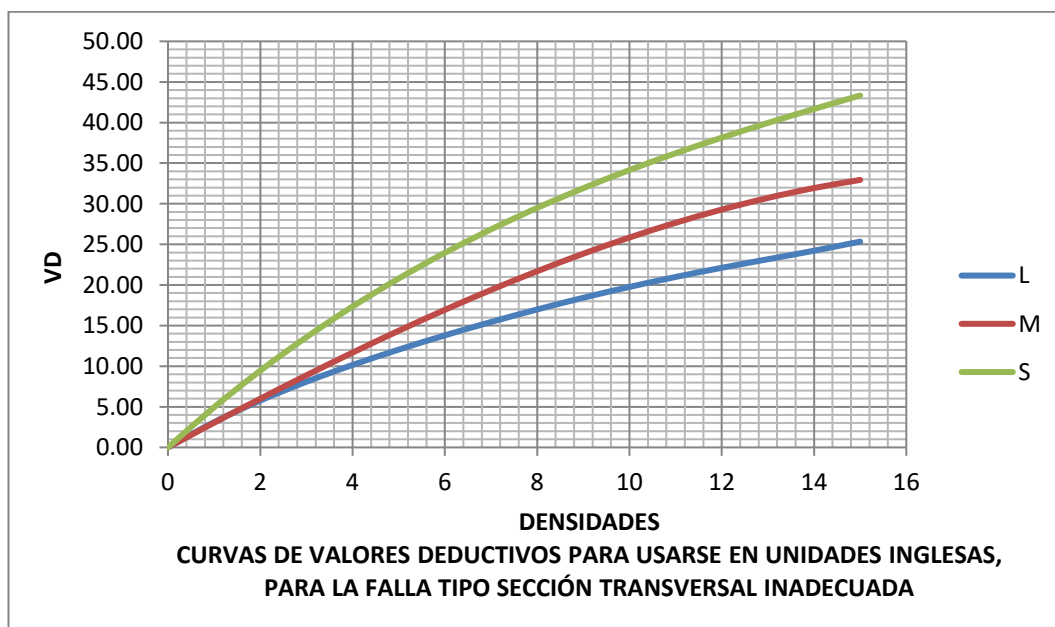


Figura N° 141 Curvas de valores deductivos para la falla tipo sección transversal inadecuada, para usarse en unidades inglesas.

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI

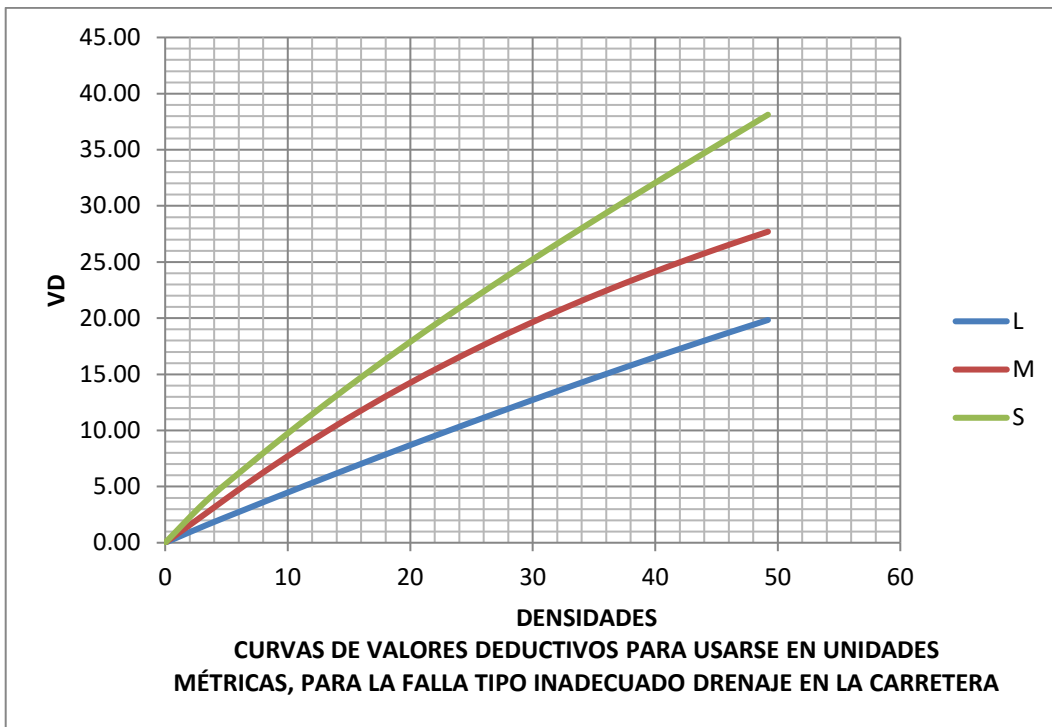


Figura N° 142 Curvas de valores deductivos para la falla tipo inadecuado drenaje en la carretera, para usarse en unidades métricas

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI

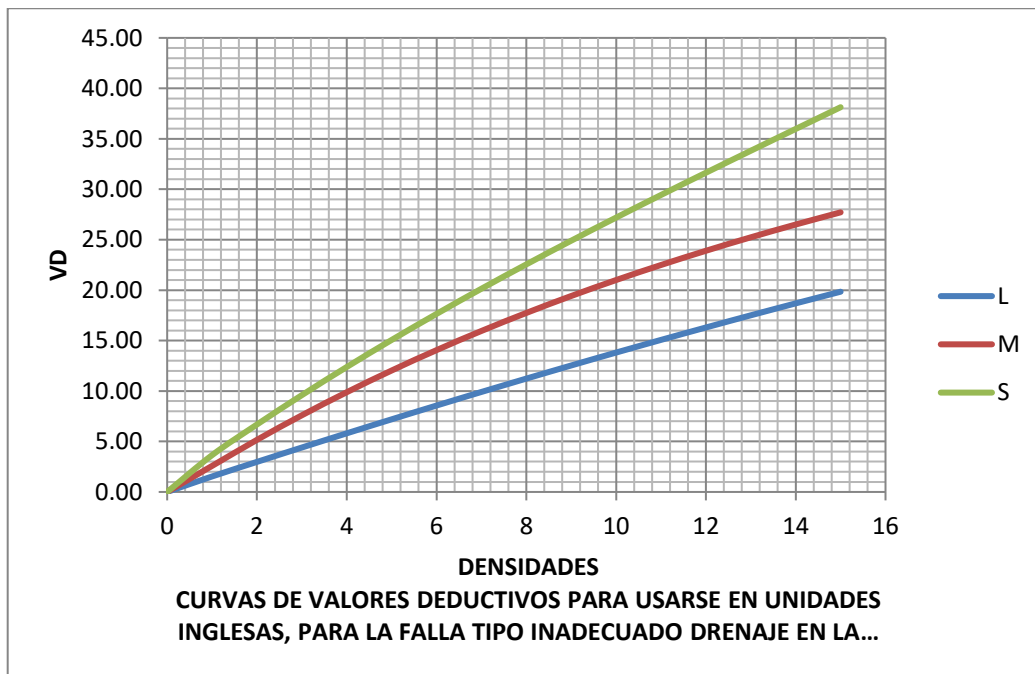


Figura N° 143 Curvas de valores deductivos para la falla tipo inadecuado drenaje en la carretera, para usarse en unidades inglesas.

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI

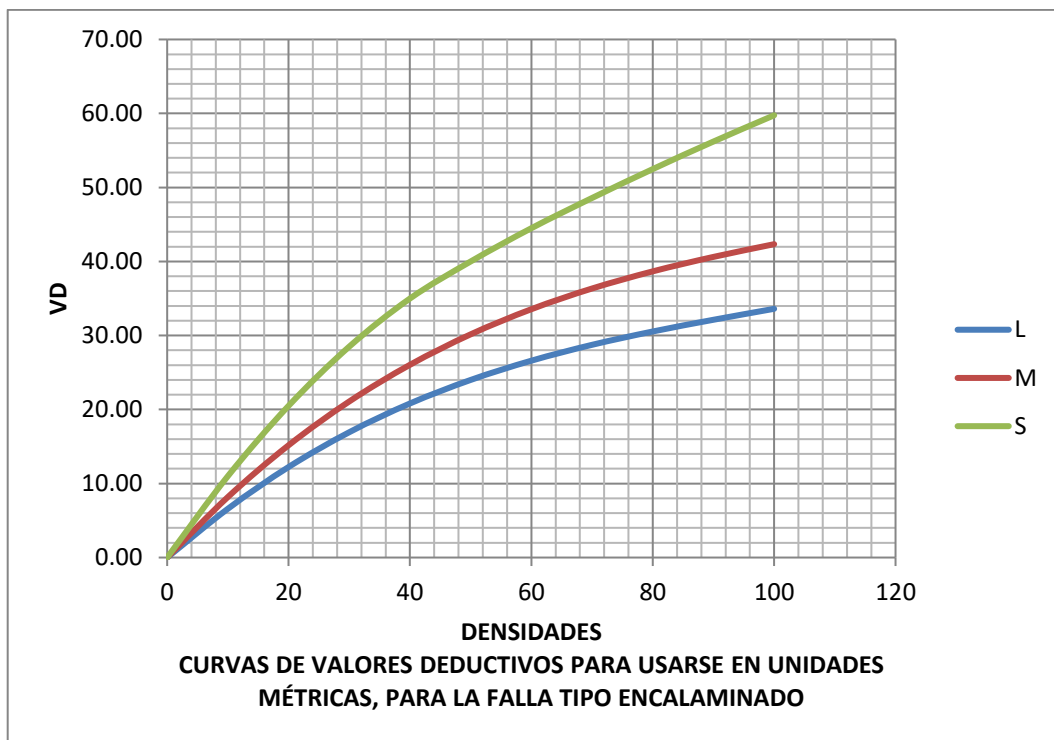


Figura N° 144 Curvas de valores deductivos para la falla tipo encalaminado, para usarse en unidades métricas.

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI

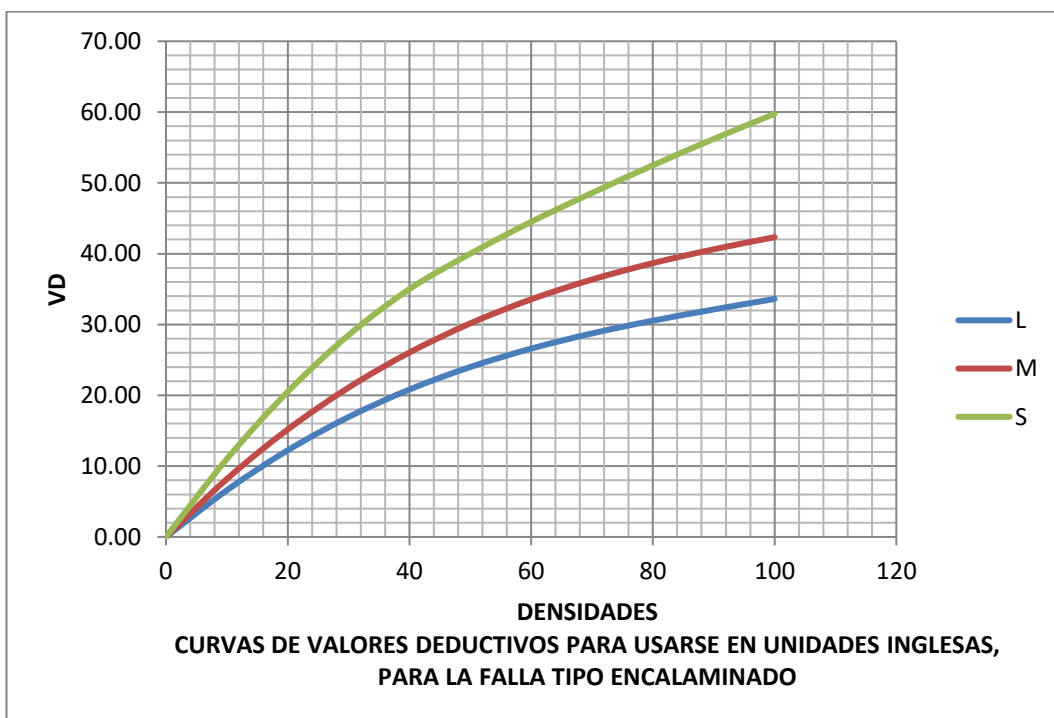


Figura N° 145 Curvas de valores deductivos para la falla tipo encalaminado, para usarse en unidades inglesas.

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI

Tabla N° 61 Valores deductivos para la falla tipo polvo según su nivel de severidad.

FALLA TIPO POLVO	
Nivel de severidad encontrado	Valor deductivo para el nivel de severidad encontrado
Leve	2
Moderado	5
Severo	15

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI

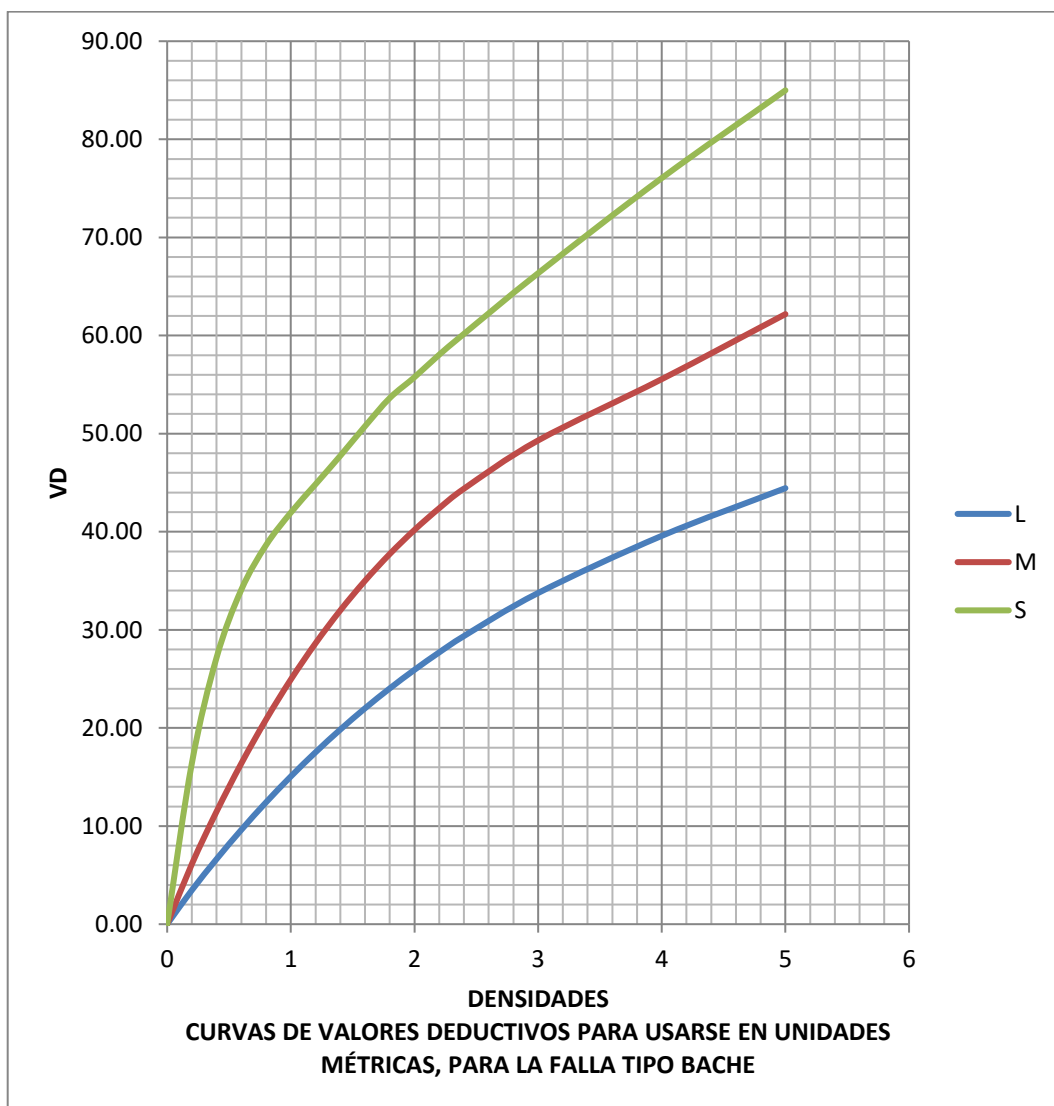


Figura N° 146 Curvas de valores deductivos para la falla tipo baches, para usarse en unidades métricas.

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI

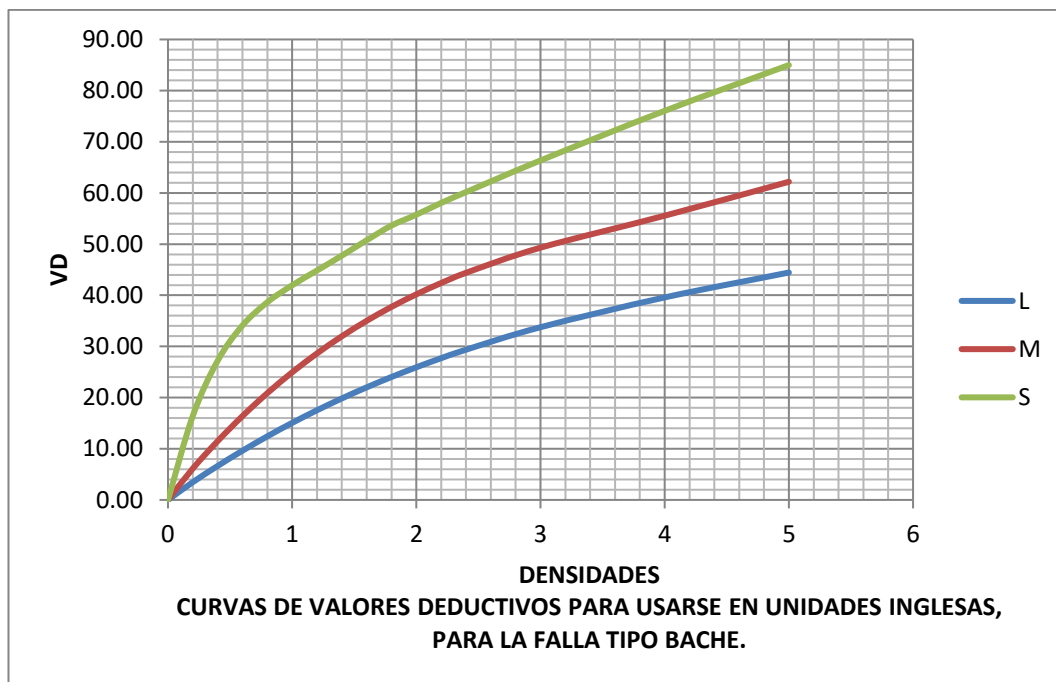


Figura N° 147 Curvas de valores deductivos para la falla tipo baches, para usarse en unidades inglesas.

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI

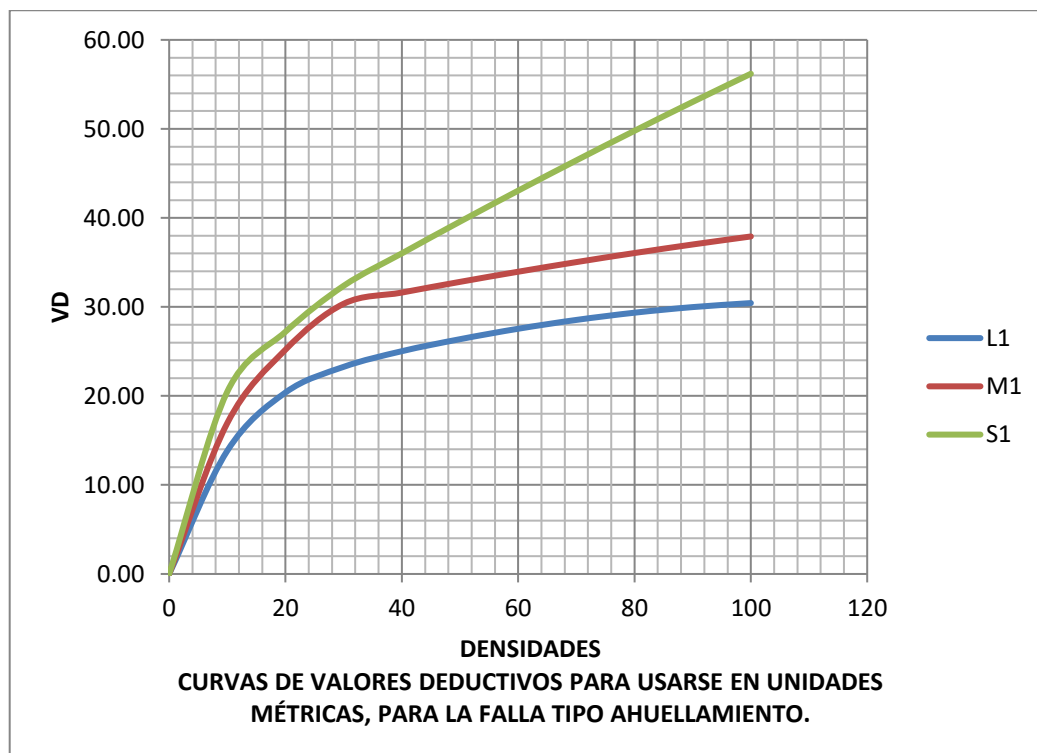


Figura N° 148 Curvas de valores deductivos para la falla tipo ahuellamiento, para usarse en unidades métricas.

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI

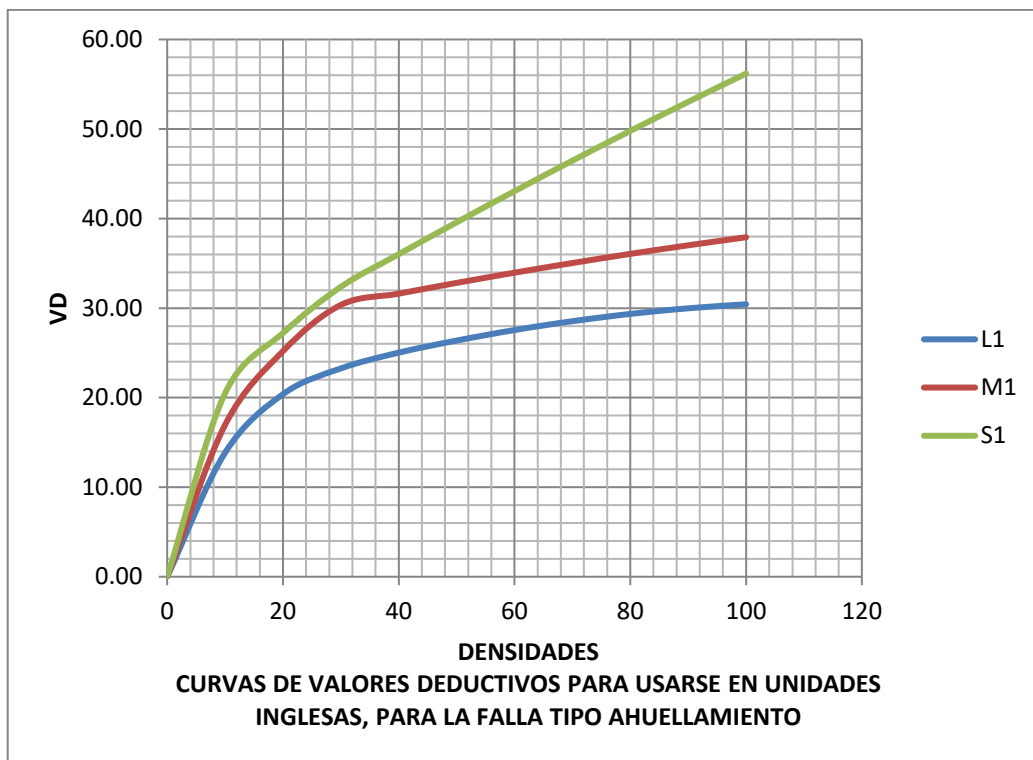


Figura N° 149 Curvas de valores deductivos para la falla tipo ahuellamiento, para usarse en unidades inglesas.

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI

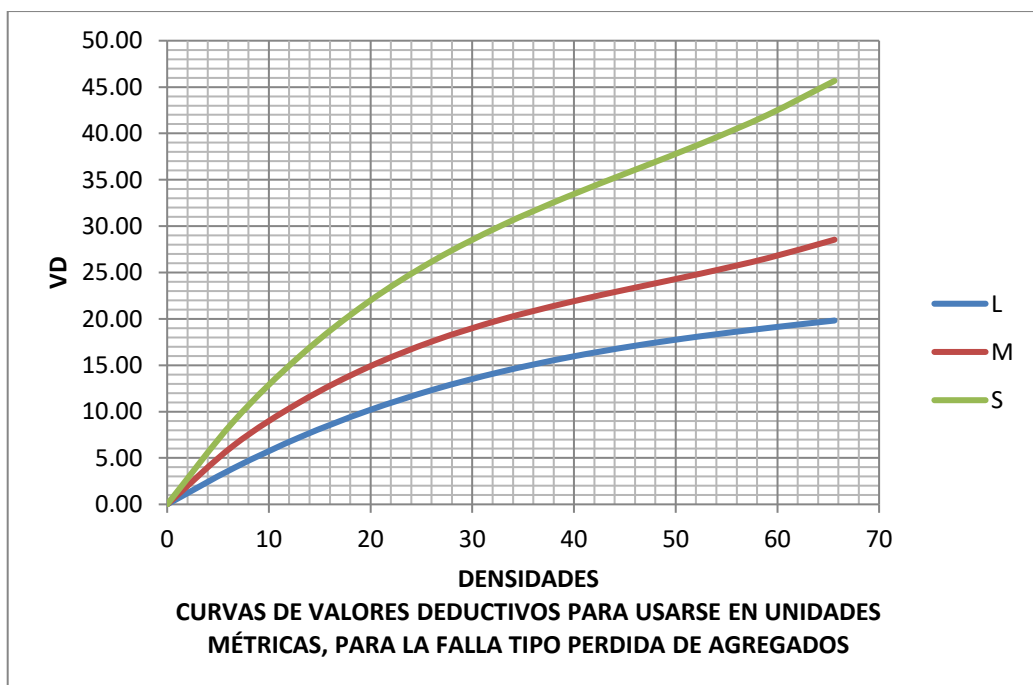


Figura N° 150 Curvas de valores deductivos para la falla tipo perdida de agregados, para usarse en unidades métricas.

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI

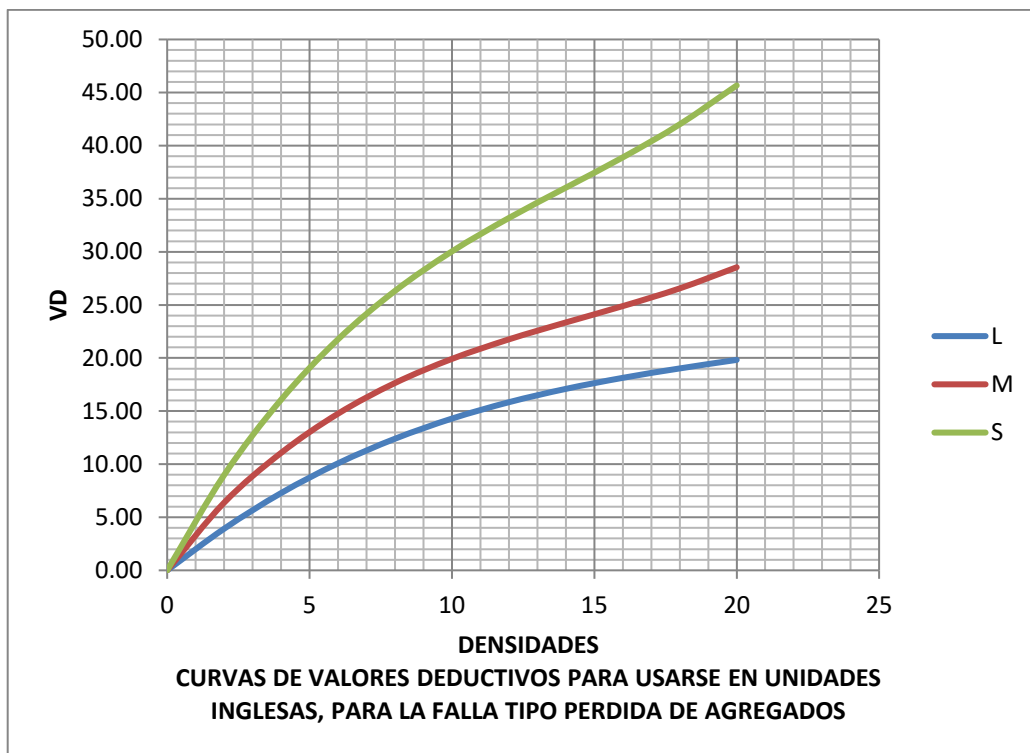


Figura N° 151 Curvas de valores deductivos para la falla tipo perdida de agregados, para usarse en unidades inglesas.

Fuente: Elaboración propia basado en el manual URCI