

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“ESTUDIO COMPARATIVO DEL MÉTODO PCI Y EL MANUAL
DE CONSERVACIÓN VIAL MTC EN LA EVALUACIÓN
SUPERFICIAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE, TRAMO EMP.PE-3S
- ATUNCOLLA, 2017.”**

TESIS

PRESENTADA POR:

JUAN ARTEMIO CHOQUE PALACIOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO-PERU

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**“ESTUDIO COMPARATIVO DEL MÉTODO PCI Y EL MANUAL DE
CONSERVACIÓN VIAL MTC EN LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE
PAVIMENTO FLEXIBLE, TRAMO EMP.PE-3S - ATUNCOLLA, 2017.”**

TESIS PRESENTADA POR:

JUAN ARTEMIO CHOQUE PALACIOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL



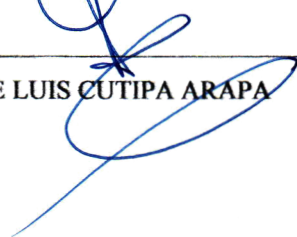
FECHA DE SUSTENTACIÓN: 08 DE MARZO DEL 2019.

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:


M.C. EMILIO CASTILLO ARONI.

PRIMER MIEMBRO:


Ing. JOSE LUIS CUTIPA ARAPA

SEGUNDO MIEMBRO:


Ing. GLENY ZOILA DE LA RIVA TAPIA

DIRECTOR:


Dr. SAMUEL HUAQUISTO CACERES

TEMA: Ciencias de la Ingenieria.

AREA: Transportes

LINEA DE INVESTIGACIÓN: Transportes y Gestion Vial.

DEDICATORIA

DIOS:

Por iluminarme y por darme un día más de vida.

MIS PADRES:

Pedro y Rofina, por su inmenso cariño e invaluable amor, sacrificio y apoyo Incondicional, a pesar que ya no están a mi lado, sé que junto al creador me direccionan por buen camino.

MIS HERMANOS:

Juan, Lourdes, Fernando, Clotilde, Genara, por sus nobles deseos y apoyo incondicional, en especial a mi hermano Fernando y Genara.

MI HIJO:

Jhon Alexander, que es la razón de mí ser y cada día que pasa me levanta la moral, las ganas de vivir, alcanzar nuevas metas profesionales y personales.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado la fuerza y valor para terminar mis estudios de Pre - Grado.

A mis tías Jacoba, Alicia, Leucadia que fueron como madres para mí y que siempre estuvieron en momentos más difíciles de mi vida estudiantil y a mi tío C.P.C. Lucio Blanco Loza que fue un ejemplo como profesional para las generaciones que lo seguimos y al Dr Antonio Espillico Chique por sus consejos y apoyo incondicional.

Al Dr. Samuel Huaquisto Cáceres por su asesoría y dirección, que fue fundamental para la elaboración de la presente tesis y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que me han acompañado durante el largo camino, brindándome siempre su orientación con profesionalismo ético en la adquisición de conocimientos y afianzando mi formación como estudiante universitario, porque cada uno, con sus valiosas aportaciones, me ayudó a crecer como persona y como profesional.

Al Ing. Jesús Mamani Velásquez, Ing. Marco Antonio Nalvarte Andrade y a los profesionales que conforman el equipo de supervisión de la **Oficina de Supervisión de Infraestructura(OSI),Oficina General de Ejecución e Inversiones(OEI)** de la UNA-PUNO, quienes me han orientado con profesionalismo y compartido valiosos conocimientos, el cual enmarca un escalón más hacia un futuro en donde sea partícipe en afrontar y porque no, resolver problemas que hoy en día aquejan a nuestra sociedad lo cual entiendo es la finalidad del ejercicio profesional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE GENERAL	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	xii
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I.....	16
1. INTRODUCCIÓN:	16
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.3. HIPÓTESIS	17
1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	17
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
CAPÍTULO II	19
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
2.2. MARCO TEÓRICO.....	21
2.2. CICLO DE VIDA DE LOS PAVIMENTOS.....	24
2.3. MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS	26
2.4. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS	27
2.5. TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS	30
2.6. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS.	37
2.7. TIPOS DE EVALUACIÓN	37
2.8. MARCO CONCEPTUAL.....	43
CAPÍTULO III.....	45
3. MATERIALES Y MÉTODOS.	45
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.....	45
3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO	46

3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO.....	46
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO.....	46
3.5. MÉTODO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI).....	46
3.6. MANUAL DE CARRETERAS – MANTENIMIENTO O CONSERVACIÓN VIAL, 2014.....	87
3.7. REGULARIDAD.....	92
3.8. INVENTARIO DE CONDICIÓN.	96
3.9. PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	115
CAPÍTULO IV.....	139
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	139
4.1. EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO EXISTENTE.....	139
4.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI).....	141
4.3. EVALUACIÓN DE LA VÍA CON EL MÉTODO PCI.....	143
4.4. EVALUACIÓN DE LA VÍA CON EL MANUAL DE CARRETERAS O CONSERVACIÓN VIAL DEL MTC.....	146
4.5. COMPARACIÓN DEL MÉTODO PCI Y EL MANUAL DE CARRETERAS-CONSERVACIÓN VIAL O MANTENIMIENTO DEL MTC.....	149
CAPÍTULO V.....	155
5. CONCLUSIONES.....	155
CAPÍTULO VI.....	156
6. RECOMENDACIONES.....	156
CAPÍTULO VII.....	157
7. BIBLIOGRAFIA.....	157
ANEXOS.....	159
ANEXO N° 01: HOJAS DE AFORO DE VEHÍCULOS.....	159
ANEXO N° 02: HOJAS DE CÁLCULO DE IRI.....	159
ANEXO N° 03: HOJAS DE CÁLCULO DEL MÉTODO PCI.....	159

ANEXO N° 04: HOJAS DE CÁLCULO DEL MANUAL DEL MTC.	159
ANEXO N° 05: PANEL FOTOGRÁFICO.....	159
ANEXO N° 06: ÁBACOS DE ASTM D643-18 PARA EL METODO PCI.....	159

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: SECCIÓN TÍPICA TRANSVERSAL PAVIMENTO RÍGIDO.....	22
FIGURA 2: SECCIÓN TÍPICA TRANSVERSAL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	22
FIGURA 3: SECCIÓN TÍPICA TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO SEMI RIGIDO.....	23
FIGURA 4: SECCIÓN TÍPICA TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO ARTICULADO	23
FIGURA 5: CICLO DE VIDA DE LOS PAVIMENTOS Y MOMENTOS DE MANTENIMIENTO ..	25
FIGURA 6: CICLO DE VIDA DE LOS PAVIMENTOS CON MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN.....	26
FIGURA 7: SELLADO DE GRIETAS CON ASFALTO.....	28
FIGURA 8: PROCEDIMIENTO TÍPICO DE COLOCACIÓN DE PARCHES.....	29
FIGURA 9: PROCEDIMIENTO TÍPICO SELLO ARENA-ASFALTO.....	31
FIGURA 10 PROCEDIMIENTO TÍPICO DE RIEGO NEGRO.	31
FIGURA 11: PROCEDIMIENTO TÍPICO DE ARENADO.....	32
FIGURA12: APLICACIÓN DE LECHADA ASFÁLTICA Y MICRO AGLOMERANTE EN FRIO...	32
FIGURA 13: TRATAMIENTO SUPERFICIAL CON ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMEROS	33
FIGURA 14: SOBRE CARPETA DE ASFALTO.	34
FIGURA 15: RECICLADO SUPERFICIAL EN SITIO.....	35
FIGURA 16: MAQUINA FRESADORA, PAVIMENTO FRESADO Y MATERIAL FRESADO.....	36
FIGURA 17: ESQUEMA DEL RUGOSIMETRO MERLIN	39
FIGURA 18: VIGA BENKELMAN.....	43
FIGURA 19: MAPA VIAL DE SILLUSTANI	45
FIGURA 20: MAPA SATELITAL DE LA VÍA EN ESTUDIO.....	46
FIGURA 21: ESCALA DE PUNTAJE.....	48
FIGURA 22: ODÓMETRO ELECTRÓNICO	49
FIGURA 23: REGLA RÍGIDA DE ALUMINIO	49
FIGURA 24: CONOS DE SEGURIDAD EN LA VÍA.	50
FIGURA 25: NUMERO DE VALORES PERMISIBLES	55
FIGURA 26: CURVAS DE VALORES DEDUCIDOS CORRECCIÓN	57
FIGURA 27: NIVEL DE SEVERIDAD DE PIEL DE COCODRILO (L)	59
FIGURA 28: SEVERIDAD MEDIA DE PIEL DE COCODRILO (M).....	60
FIGURA 29: SEVERIDAD ALTA DE PIEL DE COCODRILO (H).....	60
FIGURA 30: BAJO NIVEL DE SEVERIDAD DE EXUDACIÓN (L).....	61
FIGURA 31: SEVERIDAD MEDIO DE EXUDACIÓN (M).....	61
FIGURA 32: SEVERIDAD ALTA (H) DE EXUDACIÓN.....	62
FIGURA 33: SEVERIDAD BAJA DE FISURAS POR BLOQUES(L)	62
FIGURA 34: SEVERIDAD MEDIA DE FISURAS EN BLOQUE (M).....	63
FIGURA 35: SEVERIDAD ALTA DE FISURAS EN BLOQUE(H).....	63
FIGURA 36: SEVERIDAD BAJO (L) EN ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS.....	64

FIGURA 37: SEVERIDAD MEDIO(M) EN ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS.....	64
FIGURA 38: SEVERIDAD ALTO (H) EN ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS	65
FIGURA 39: SEVERIDAD BAJO (L) CORRUGACIÓN.....	66
FIGURA 40: SEVERIDAD MEDIA (M) CORRUGACIÓN.	66
FIGURA 41: SEVERIDAD ALTO (H) CORRUGACIÓN.....	67
FIGURA 42: SEVERIDAD BAJO (L) DE DEPRESIÓN.....	67
FIGURA 43: SEVERIDAD MEDIO (M) DE DEPRESIÓN.	68
FIGURA 44: SEVERIDAD ALTO (H) DE DEPRESIONES.	68
FIGURA 45: SEVERIDAD BAJO (L) DE FISURA DE BORDE.....	69
FIGURA 46: SEVERIDAD MEDIO (M) DE FISURA DE BORDE.	69
FIGURA 47: SEVERIDAD ALTO (H) DE FISURA DE BORDE.....	70
FIGURA 48: SEVERIDAD BAJO (L) DE FISURAS DE REFLEXIÓN DE JUNTA.	70
FIGURA 49: SEVERIDAD MEDIA (M) DE FISURAS DE REFLEXIÓN DE JUNTA.....	71
FIGURA 50: SEVERIDAD ALTO (H) DE FISURAS DE REFLEXIÓN DE JUNTA.....	71
FIGURA 51: SEVERIDAD BAJO (L) DESNIVEL CARRIL-BERMA.	72
FIGURA 52: SEVERIDAD MEDIO (M) DESNIVEL CARRIL-BERMA.	72
FIGURA 53: SEVERIDAD ALTO (H) DESNIVEL CARRIL-BERMA.	73
FIGURA 54: SEVERIDAD BAJO (L) FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	74
FIGURA 55: SEVERIDAD MEDIO (M) FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	74
FIGURA 56: SEVERIDAD ALTO (H) FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	75
FIGURA 57: SEVERIDAD BAJO (L) DE PARCHES Y CORTES UTILITARIOS.	75
FIGURA 58: SEVERIDAD MEDIO (M) DE PARCHES Y CORTES UTILITARIOS.....	76
FIGURA 59: SEVERIDAD ALTO (H) DE PARCHES Y CORTES UTILITARIOS.....	76
FIGURA 60: AGREGADO PULIDO.	77
FIGURA 61: SEVERIDAD BAJO (L) DE PARCHES.....	78
FIGURA 62: SEVERIDAD MEDIO (M) DE PARCHES	78
FIGURA 63: SEVERIDAD ALTO (H) DE PARCHES.....	78
FIGURA 64: SEVERIDAD BAJO (L) DE AHUELLAMIENTO.	79
FIGURA 65: SEVERIDAD MEDIO(M) DE AHUELLAMIENTO.....	79
FIGURA 66: SEVERIDAD ALTO (H) DE AHUELLAMIENTO.	80
FIGURA 67: SEVERIDAD BAJA(L) DE DESPLAZAMIENTO.....	80
FIGURA 68: SEVERIDAD MEDIA (M) DE DESPLAZAMIENTO.....	81
FIGURA 69: SEVERIDAD ALTA (H) DE DESPLAZAMIENTO.....	81
FIGURA 70: SEV. BAJA (L) DE FISURAS PARABÓLICAS POR DESLIZAMIENTO	82
FIGURA 71: SEV. MEDIO (M) DE FISURAS PARABÓLICAS POR DESLIZAMIENTO.....	82
FIGURA 72: SEVERIDAD ALTA(H) DE FISURAS PARABÓLICAS.....	83
FIGURA 73: HINCHAMIENTO.	83
FIGURA 74: SEVERIDAD BAJO(L) DE PELADURA POR INTEMPERISMO.....	84
FIGURA 75: SEVERIDAD MEDIO (M) DE PELADURA POR INTEMPERISMO.....	84
FIGURA 76: SEVERIDAD ALTA (H) DE PELADURA POR INTEMPERISMO.....	85

FIGURA 77: SEVERIDAD BAJA (L) CRUCE DE VÍA FÉRREA	85
FIGURA 78: SEVERIDAD MEDIA(M) CRUCE DE VÍA FÉRREA	86
FIGURA 79: SEVERIDAD ALTA (H) CRUCE DE VÍA FÉRREA	86
FIGURA 80: MODELO DE CUARTO DE CARRO.....	94
FIGURA 81: MAGNITUD DE FALLA,PIEL DE COCODRILO	99
FIGURA 82: MAGNITUD DE FALLA, FISURAS LONGITUDINALES.....	100
FIGURA 83: MAGNITUD DE FALLA, DEPRESIÓN CONTINUA LONGITUDINAL	102
FIGURA 84: MAGNITUD DE FALLA, DEPRESIONES LOCALIZADAS(HUNDIMIENTO).	102
FIGURA 85: GRAVEDAD 1,2,3;AHUELLAMIENTO	104
FIGURA 86: GRAVEDAD 1, 2,3; REPARACIÓN O PARCHADO	105
FIGURA 87: GRAVEDAD 1, 2,3; PELADURA SUPERFICIAL.....	106
FIGURA 88: GRAVEDAD 1, 2,3; BACHES (HUECOS).....	106
FIGURA 89: GRAVEDAD 1, 2,3; FISURAS TRANSVERSALES.....	108
FIGURA 90: GRAVEDAD 3 ; CONTINUA CON SUPERFICIE VISCOSA.....	109
FIGURA 91: GRAVEDAD 1,2,3; DAÑOS EN BERMAS.....	110
FIGURA 92: VEHÍCULOS QUE TRANSITAN EN EL TRAMO DE ESTUDIO	116
FIGURA N° 93: VEHÍCULOS MENORES	116
FIGURA 94: VEHÍCULOS TURÍSTICOS.....	117
FIGURA 95: ESTACIÓN DE AFORO N° 1 Y 2.....	118
FIGURA 96: CÁLCULO DE ÍNDICE MEDIO SEMANAL.....	118
FIGURA 97: CLASIFICACIÓN VEHICULAR SEMANAL	119
FIGURA 98: CONTEO DE VEHÍCULOS POR DÍA.....	119
FIGURA 99: DIMENSIÓN DE CALZADA Y BERMA	120
FIGURA 100 : EQUIPOS DE SEGURIDAD PERSONAL E INSTRUMENTOS	122
FIGURA 101: FALLA DE FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	124
FIGURA 102 : ÁBACO DE FALLAS DE FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES ..	124
FIGURA 103: CURVA PARA CALCULAR EL MAX. DEDUCIDO.....	125
FIGURA 104: ABACO PARA EL CÁLCULO DE VALORES DEDUCIDOS CORREGIDOS	126
FIGURA 105: FORMATO PARA EL MÉTODO DEL MTC	129
FIGURA 106: CÁLCULO DE PUNTAJE DE CONDICIÓN	130
FIGURA 107: LEVANTAMIENTO DATOS CON MERLIN	132
FIGURA 108: PARTES DEL EQUIPO MERLIN	133
FIGURA 109: LEVANTAMIENTO DE DATOS EN CAMPO.	134
FIGURA 110: FORMATO PARA LLENADO DE DATOS EN CAMPO.....	135
FIGURA 111: HISTOGRAMA DE FRECUENCIA.....	135
FIGURA 112: HISTOGRAMA PARA EL DESCARTE DE DATOS.	136
FIGURA 113: DESCARTE DE DATOS Y CÁLCULO DEL “D”.....	136
FIGURA 114: NUMERO DE VEHÍCULOS QUE PASA POR LA VÍA EN UNA SEMANA.	140
FIGURA 115: HISTOGRAMA DE VEHÍCULOS POR DÍA.	140
FIGURA 116: PORCENTAJE POR TIPO DE VEHÍCULOS.	141

FIGURA 117: RESUMEN DE RESULTADOS DEL IRI	142
FIGURA 118: PORCENTAJE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)	145
FIGURA 119: RESUMEN DEL RESULTADO DE LA CONDICIÓN DEL PCI	145
FIGURA 120: CLASIFICACIÓN DE TIPO DE DAÑO (MTC)	146
FIGURA 121: PORCENTAJE DEL ESTADO DE LAS UNIDADES DE MUESTREO	148

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: CORRELACIÓN DE CATEGORÍA DE ACCIÓN CON UN RANGO DE PCI	27
TABLA N° 2: ESCALA DE RUGOSIDAD IRI	38
TABLA N° 3: MODELO DE TABLA DE ASTM.....	54
TABLA N° 4: CALCULO DE VALORES MÁXIMOS DEDUCIDOS.....	56
TABLA N° 5 : NIVEL DE SEVERIDAD PARA BACHES MENOR A 750MM.....	77
TABLA N° 6: NIVELES DE SERVICIOS PARA: CALZADAS (TRATAMIENTO SUPERFICIAL). 88	
TABLA N° 7: FACTORES DE EQUIVALENCIA DE CARGA	91
TABLA N° 8: TABLA DE PESOS Y MEDIDAS.....	92
TABLA N° 9: COMPARACIÓN DE VALORES IRI UTILIZADOS EN PERU Y OTROS PAÍSES . .	95
TABLA N° 10: RUGOSIDAD IRI(M/KM) SEGÚN EL TIPO DE CARRETERA.....	96
TABLA N° 11: DETERIOROS Y FALLAS	98
TABLA N° 12: NIVELES DE GRAVEDAD DE DETERIOROS PARA BERMAS.....	110
TABLA N° 13: CLASE DE EXTENSIÓN DE LOS DAÑOS DE LOS PAVIMENTOS.....	111
TABLA N° 14: CLASE DE DENSIDAD DE LOS BACHES (HUECOS) DE LOS PAVIMENTOS FLEX.	111
TABLA N° 15: ANCHO DE INFLUENCIA DE LAS FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSV. 111	
TABLA N° 16-A : CALIFICACIÓN PARA CADA TIPO DE DETERIORO O FALLA DE LA CAPA DE RODADURA POR SECCIÓN DE 200M DE CARRETERAS CON PAVIMENTO FLEXIBLE	112
TABLA N° 17: CALIFICACIÓN DE CONDICIÓN.	114
TABLA N° 18: TIPOS DE CONDICIÓN SEGÚN CALIFICACIÓN DE CONDICIÓN	114
TABLA N° 19: TIPO DE CONSERVACIÓN SEGÚN CALIFICACIÓN DE CONDICIÓN.....	114
TABLA N° 20: DIMENSIONES DE LA VÍA EN ESTUDIO	120
TABLA N° 21: NÚMERO DE MUESTRAS E INTERVALOS DE MUESTRAS.....	121
TABLA N° 22: FORMATO PARA EL CÁLCULO DEL PCI.	123
TABLA N° 23: CALCULO DE VALORES DEDUCIDOS.....	126
TABLA N° 24: CÁLCULO DE LA CONDICIÓN DE PCI.....	127
TABLA N° 25: RESUMEN DE RESULTADOS DEL MÉTODO DEL PCI.....	144
TABLA N° 26: RESUMEN DEL ESTADO DE LA VÍA (PCI).....	144
TABLA N° 27: RESUMEN DE RESULTADOS DEL MANUAL DEL MTC.	147
TABLA N° 28: RESUMEN DEL ESTADO DE LAS UNIDADES DE MUESTREO.....	148
TABLA N° 29: ESTANDARIZACIÓN DE PARÁMETROS CALIFICACIÓN.....	149
TABLA N° 30: RESUMEN DE MUESTRAS DE PCI Y MTC	149
TABLA N° 31: PRUEBA T PARA DOS MUESTRAS.	151
TABLA N° 32: COMPARACIÓN DE FALLAS DEL PCI Y MTC.....	151
TABLA N° 33: COMPARACIÓN DEL PCI Y EL MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL MTC... 153	
TABLA N° 34: PROMEDIO DE CLASIFICACIÓN Y ESTADO DE LOS MÉTODOS PCI Y MTC 153	

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

MTC	: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
PCI	: Pavement Condition Index
ASM	:Asfalto Modificado.
MERLIN	: Rugosímetro merlin
ASTM	: American Society For Testing And Materials, 2018
APWA	: American Public Work Association
DV.	: Valor Deducido
CDV	: Valor Deducido Corregido
CDT	: Valor Deducido Total.
IMDS	: Índice Medio Diario Semanal.
IMDM	: Índice Medio Diario Mensual.
INMDA	: Índice Medio Diario Anual.
VIZIR	: Visión Inspection de Zones et itinéraires Á Risque
HDM III	: Highway Design and Maintenance Standards Model
SCUP	: Sistema de Costo Usuario en Pavimento.

.

RESUMEN

La iniciativa de comparar las metodologías del **PCI** y el **Manual de carreteras – Conservación vial o Mantenimiento 2014** en la estructura del pavimento flexible en el tramo de la vía antes mencionada, se centra en definir el método más adecuado para la evaluación de vías con pavimento flexible, tomando para esta investigación la vía desvío a Atuncolla – Atuncolla, teniendo en cuenta que la metodología del PCI es la más difundida para evaluación de vías de infraestructura vial en el País a pesar que se tiene el Manual de carreteras –Mantenimiento o conservación vial del MTC, que poco o casi nada se utiliza o se desconoce de este manual para evaluación superficial de pavimentos afirmados, flexibles y regidos.

Se llevó una inspección preliminar y posteriormente el levantamiento de tipos de fallas para cada método, reportando en los formatos respectivos de cada metodología para realizar un análisis detallado de la vía en estudio del Tramo EMP. **PE-3S (DV. ATUNCOLLA)-ATUNCOLLA**, la cual está en condiciones óptimas para la aplicación de los dos métodos para la investigación, se brinda información según los parámetros y criterios de las metodologías empleadas PCI (**Americano**) y el **Manual de carreteras – Conservación vial o Mantenimiento 2014 (Perú)**, donde a través de la comparación de estas metodologías se determinó el estado de la carpeta asfáltica del tramo de vía estudiada, obteniendo que el método del PCI es más fiable que el manual del MTC.

Palabras clave: Evaluación, PCI, manual, pavimento, inspección.

ABSTRACT

The initiative to use the maintenance and maintenance methodologies PCI and the Road Manual - Road Maintenance or Maintenance 2014 in the structure of the flexible pavement in the stretch of road studied, focuses on improving the quality of the road to Atuncolla - Atuncolla (city), taking into account that the methodology of the PCI is used in the road infrastructure of the country, but the Road Manual-maintenance or road maintenance of the MTC little or almost nothing is used or unknown in this manual for surface evaluation of flexible and regulated pavements.

A visual inspection was carried out reporting damage found in the respective formats of each methodology to carry out a detailed analysis of the route under study of the EMP Tranche. PE-3S (DV. ATUNCOLLA) -ATUNCOLLA (CITY), which is in optimal conditions for the application of the research project, information will be provided according to the parameters and criteria of the methodologies used PCI (American) and the Highway Manual - Road maintenance or Maintenance 2014 (Peru) where through the comparison of these methodologies the state of the asphalt folder of the section of road studied was determined, obtaining the methodologies PCI is good than highway Manual –Road maintenance or maintenance of MTC.

Keywords: Evaluation, PCI, manual, pavement, inspection, regularity.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN:

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Las carreteras son el principal medio de comunicación entre diferentes puntos tanto en el ámbito nacional y local, por lo cual su uso es constante y necesario para el desarrollo de las regiones del País.

La red vial del Perú está conformada por vías afirmadas y asfaltadas y las vías pavimentadas muestran deterioro por la falta de mantenimiento ya que estos son los que definen en gran escala la vida útil del pavimento, este mantenimiento es de carácter preventivo y periódico. Es necesario plantear nuevas metodologías de rehabilitación de las vías existentes y el deseo de aumentar y mejorar en calidad la conservación de la red vial a un costo menor, las empresas privadas han experimentado el uso de soluciones económicas de mantenimiento periódico de vías que respondan de buena manera frente a las exigencias de cantidad de flujo vehicular del sector, tipo de clima de la zona, y disponibilidad de materiales.

Por ello, para el mantenimiento de vías pavimentadas en el Perú, se viene incrementando la utilización de los diferentes parámetros de evaluación, al respecto se ha analizado internacionalmente que una apropiada evaluación contribuye a obtener un eficiente mantenimiento de la red de caminos y disminuye significativamente los costos de operación de los vehículos, reduce los tiempos de recorrido, mejora el confort para la circulación vehicular y aminora los accidentes de tránsito por causa de mal estado de la vía, es por tal motivo que es imprescindible conocer el estado en que se encuentran las vías luego de su construcción.

Para el proyecto de tesis tenemos la red vial regional Emp. PE-3S (DV. Atuncolla) – ATUNCOLLA, ubicada en el departamento de Puno, en la cual se debe realizar trabajos de mantenimiento rutinario, periódico y de emergencia de ser el caso, para garantizar el adecuado tránsito vehicular, para lo cual es necesario evaluar ciertos parámetros que nos permitan saber el estado actual de la carretera.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

1.2.1. PRINCIPAL

¿Cuál es el método más apropiado para la evaluación de pavimento flexibles, el Manual de Carreteras - Mantenimiento Vial del MTC o el PCI, aplicando en la vía de prueba Emp. PE-3S (DV. Atuncolla) –ATUNCOLLA en los 9 Km?

1.2.2. ESPECÍFICAS

¿Cuál es el estado actual de la vía Emp? PE-3S (DV. Atuncolla) – ATUNCOLLA (Ciudad) de acuerdo al método del índice de condición de pavimento (PCI)?

¿Cuál es el estado actual de la vía Emp? PE-3S (DV. Atuncolla) – ATUNCOLLA de acuerdo al Manual de mantenimiento o Conservación de Carreteras del MTC?

Por lo cual se evaluó los 9 kilómetros del tramo en estudio, con los métodos PCI y el manual de mantenimiento de carreteras o conservación del MTC 2014.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

El método del PCI es la más eficiente al evaluar y comparar la aplicación de los métodos PCI y el Manual de Carreteras - Mantenimiento o Conservación Vial del MTC en la carretera Emp. PE-3S (DV. Atuncolla)- Atuncolla.

1.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

- ✓ El estado del pavimento de la vía Emp. PE-3S (DV. Atuncolla) - ATUNCOLLA, según el método del PCI es “Regular”.
- ✓ La evaluación del estado actual de la Vía Emp. PE-3S (DV. Atuncolla) - ATUNCOLLA, por el Manual de Carreteras-Mantenimiento o Conservación del MTC, es de Condición regular.
- ✓ Al comparar los dos métodos, el método del PCI es más fiable que el manual de mantenimiento del MTC.

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

Puno es una región que cuenta con una variedad de atractivos turísticos, es una actividad muy importante para el desarrollo de la región por lo que es necesario que

cuenta con carreteras en buen estado para el acceso de los distintos centros turísticos, por ejemplo, el complejo arqueológico de Sillustani, un atractivo turístico muy importante de la región.

La necesidad de una infraestructura vial de calidad, es indispensable, por ello debemos tomar las previsiones y correcciones necesarias en la conservación y mantenimiento de vías.

El presente proyecto, está dirigido plantear el método más óptimo para la evaluación de vías e incentivar el mantenimiento de los pavimentos flexibles, planteando alternativas de solución en las fallas encontradas y mejorar la transitabilidad, nivel de serviciabilidad, seguridad y comodidad a los usuarios locales, nacionales e Internacionales.

Además interesa dar a conocer los resultados, conclusiones y sugerencias para que sean tomados en consideración por parte de las instituciones dedicadas a la ejecución de obras viales para mejorar la calidad de éstas.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. OBJETIVO GENERAL.

Evaluar y comparar la aplicación de los métodos PCI y el Manual de Carreteras - Mantenimiento o Conservación Vial del MTC en la carretera Emp. PE-3S (DV.Atuncolla) –Atuncolla del año 2017.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Evaluar el estado superficial de la carpeta asfáltica por medio del PCI de la vía Emp. PE-3S(DV. Atuncolla) - Atuncolla
- ✓ Evaluar el estado de la carpeta asfáltica mediante el manual de carreteras – mantenimiento o conservación del MTC de la via Emp. PE-3S (DV. Atuncolla) –ATUNCOLLA.
- ✓ Comparar y determinar el método más fiable para la evaluación superficial de pavimentos flexibles.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

- ✓ Alave,(2013); “Evaluación del Micro pavimento Slurry Seal tipo II, Mediante deflectometria y rugosidad; En la carretera IIRSA-Sur Tramo V;Torata – Humajalso,KM 59 +000 al KM 61+000,después de dos Años de Aplicación”, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú; tiene como objetivo Evaluar el comportamiento del Micro Pavimento Slurry Seal Tipo II , Mediante la Deflectometria y rugosidad , evaluar en qué medida varia el índice de regularidad internacional a lo largo de dos años de aplicación. El desarrollo del presente trabajo está destinado a evaluar los niveles de calidad exigidos por el ministerio de transportes y comunicaciones, en cuanto a la deflexión característica y el índice de regularidad internacional; que a su vez permita utilizar estos parámetros como indicadores del estado funcional y estructural del pavimento ya sea para plantear alternativas de mantenimiento o rehabilitación.
- ✓ Concluye que al cabo de dos años de aplicación del micro pavimento, se observó un desgaste notorio, pudiéndose notar en el IRI, teniendo unos valores IRI en el año 2012 de: 2.41 m/km en el carril derecho y 2.50 m/km en el carril izquierdo; aun con este desgaste del micro pavimento slurry seal con respecto al año 2010, este cumple con las especificaciones técnicas y los requerimientos que estipula el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”,donde nos indica que la Regularidad Característica no deberá ser mayor a 4.00, para carreteras de un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles. Obteniéndose valores promedio a 2.4, sin embargo se

podría estar programando alguna alternativa de mantenimiento para el tramo en estudio.

- ✓ Rodríguez (2009); en su tesis denominada “Cálculo del Índice de Condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla – Piura”, Universidad Privada de Piura, Piura, Perú; tiene como objetivo aplicar el método PCI, para determinar la condición superficial en la cual se encuentra el pavimento flexible de dicha avenida, se analizaron mil doscientos metros lineales de la vía y se determinaron las fallas existentes, además se cuantifico el estado en el que se encontraban. En un capítulo de la tesis presentada, hace mención la problemática por la que pasan los pavimentos en la ciudad de Piura, debido al bajo mantenimiento que estas reciben y el estado bajo de serviciabilidad que ofrecen. Finalmente el estudio concluye que aplicando el método PCI, dicha avenida tiene un Índice de condición de pavimento (PCI) ponderado de 49, lo cual determina un estado regular según la metodología, por último, dentro de las recomendaciones solo se mencionaron algunas técnicas de reparación para las fallas encontradas.
- ✓ Leguia, Pacheco (2016); en su tesis “Evaluación Superficial de Pavimentos Flexibles por el Método Pavement Condition Index(PCI) en las Vías Arteriales: Cincuentenario, Colon y Miguel Grau (Huacha-huaura-Lima)”; Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú ; Concluye que aplicando este método se determinó que la Av. Cincuentenario tiene un PCI de 51.84 y se encuentra en un estado de conservación “Regular “; mientras que la Av. Colon y Miguel Grau tienen Un PCI de 59.9 y presentan un estado de conservación “Bueno”.

Concluye también con el método PCI se puede clasificar el estado de conservación en el que se encuentran los pavimentos flexibles, así como

el tipo de fallas que presentan a fin de realizar el tratamiento que corresponda.

- ✓ Medina, de la Cruz (2015); en su tesis "Evaluación Superficial del Pavimento Flexible del Jr. José Gálvez del Distrito de Lince Aplicando el Método del PCI"; Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú ; En sus objetivos plantea determinar el índice de condición del pavimento, con la cual se podrá determinar si la vía esta apta para brindar adecuadas condiciones para los usuarios.

Concluye que la vía evaluada, con el método PCI es "Regular" y que está apto para brindar adecuadas condiciones para los usuarios, las fallas más comunes encontradas son: Piel de Cocodrilo, fisuras en bloque, fisura longitudinal y transversal, parches, agregado pulido, baches ahuellamiento, peladuras por interperismo y desprendimiento de agregados.

2.2. MARCO TEÓRICO.

2.1.1. PAVIMENTO.

Los pavimentos son estructuras que consisten en capas superpuestas de materiales procesados por encima del terreno natural con el fin de distribuir las cargas aplicadas por un vehículo a la sub-rasante. Asimismo es una superficie que debe brindar comodidad y seguridad cuando se transite sobre ella. Debe proporcionar un servicio de calidad de manejo aceptable, adecuada resistencia al deslizamiento, apropiados niveles de reflejo de luz y un nivel bajo de ruido. (MEDINA DE LA CRUZ & DE LA CRUZ PUMA , 2017)

2.1.2. TIPOS DE PAVIMENTOS.

Se presentan principalmente 4 tipos de pavimentos, los cuales son flexibles, rígidos, semi-rígidos articulados. Se diferencian por la estructura y las capas que las conforman.

Asimismo como se transmiten los esfuerzos y deflexiones a las capas subsecuentes.

Un pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico con o sin acero. Este tipo de pavimentos no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores. La sección transversal de un pavimento rígido está compuesta por la losa de

concreto hidráulico que va sobre la sub-base y esta sobre la sub-rasante. Tiene costos iniciales de construcción altos en comparación con los pavimentos flexibles y su periodo de vida varia entre 20 y 40 años y el mantenimiento que requiere es minimo, primordialmente en las juntas. (MEDINA DE LA CRUZ & DE LA CRUZ PUMA , 2017)

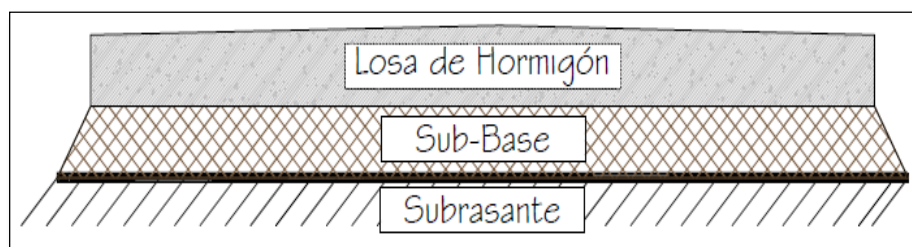


FIGURA 1: Sección Típica Transversal Pavimento Rígido
FUENTE: Palacios & de la Cruz, 2015

Por otro lado un pavimento flexible cuenta con una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Este pavimento está compuesto de una carpeta asfáltica, base granular y capa de sub-base. Es más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de 10 a 15 años. Requiere de un mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil. (MEDINA DE LA CRUZ & DE LA CRUZ PUMA , 2017)

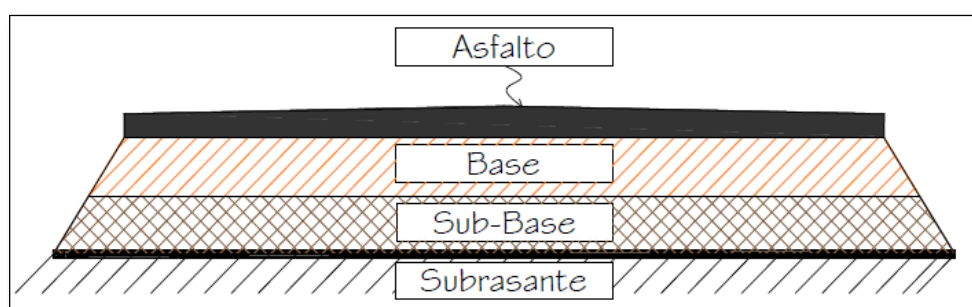


FIGURA 2: Sección típica transversal pavimento flexible
FUENTE: Medina & De la Cruz, 2015

Los pavimentos semi-rígidos contienen la misma estructura que los flexibles, con la variación que se rigidiza artificialmente una de las capas con algún aditivo que puede ser: asfalto, cal, cemento, emulsión o químicos; incrementando la capacidad portante del suelo. Dentro de este tipo están incluidos los pavimentos compuestos, los cuales combinan tipos de pavimentos flexibles y rígidos, normalmente la capa rígida

está por debajo y la capa flexible por encima. (MEDINA PALACIOS & DE LA CRUZ PUMA, 2015)

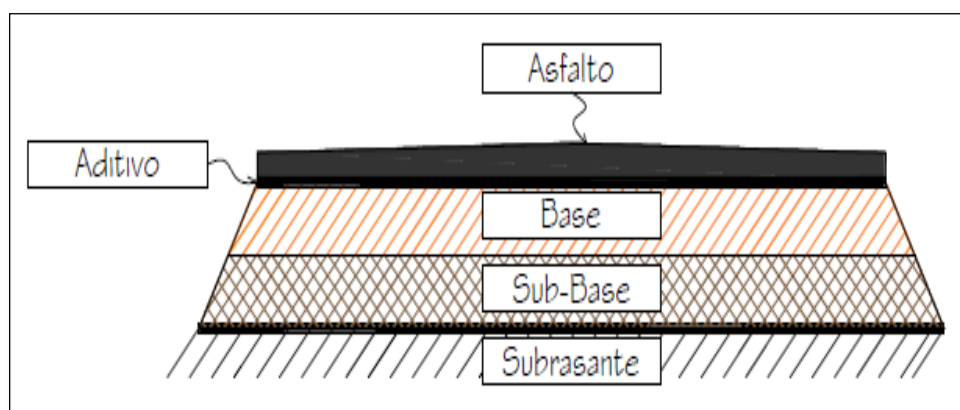


FIGURA 3: Sección Típica transversal del pavimento semi rígido
FUENTE: Medina & De la Cruz, 2015

Por ultimo tenemos a los pavimentos denominados articulados, cuyas capas de rodadura se encuentran conformadas por bloques de concreto prefabricados, iguales entre si y de un espesor uniforme; y que se colocan sobre una capa delgada de arena, la cual se encuentra sobre una capa granular o la sub rasante.

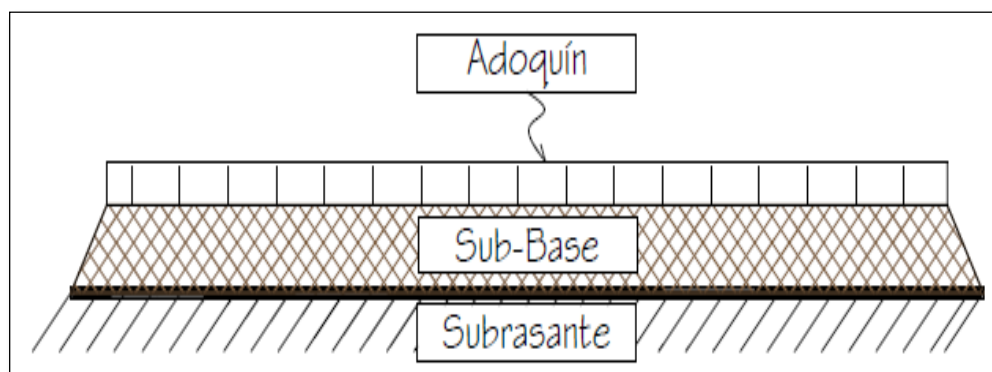


FIGURA 4: Sección típica transversal del pavimento articulado
FUENTE: Medina & De la Cruz, 2015

A continuación describiremos las capas que conforman generalmente a los pavimentos flexibles, debido a que el tema gira en entorno a este tipo de pavimento.

Sub rasante: Es la capa más profunda de toda la estructura que conforman al pavimento.

Estos suelos pertenecientes a la sub rasante serán adecuados y estables con CBR igual o mayor a 6%. En el caso que sea menor (sub rasante pobre o inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual se tendrá que analizar alternativas de

solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo de suelo, estabilización química de suelo, estabilización con geo-sintéticos, entre otros, eligiendo la alternativa más conveniente en cuanto a lo técnico y económico. Se apoya sobre el terreno natural de fundación.

Sub-base: Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.

Base granular: Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Esta capa será de material granular ($\text{CBR} \geq 80\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento. A su vez esta capa debe ser de mejor calidad y granulometría que la sub-base.

Carpeta asfáltica: Es la capa superior del pavimento flexible y es colocada sobre la base granular con la finalidad de sostener directamente el tránsito. Asimismo es la capa de mejor calidad debido a que debe ofrecer características como fricción, suavidad, control de ruido y drenaje.

2.2. CICLO DE VIDA DE LOS PAVIMENTOS

El ciclo de vida del pavimento, sin considerar un mantenimiento y rehabilitación, se puede representar mediante una curva de comportamiento, la cual es una representación histórica de la calidad del pavimento. Dicha curva evidencia cuatro etapas, las cuales se describen a continuación (MEDINA DE LA CRUZ & DE LA CRUZ PUMA, 2017):

Construcción: El estado del pavimento es excelente y cumple con los estándares de calidad necesarios para satisfacer a los usuarios. El costo en el que se ha incurrido hasta esta etapa es la construcción del paquete estructural

Deterioro imperceptible: El pavimento ha sufrido un desgaste progresivo en el transcurso del tiempo, el deterioro en esta etapa ya existe pero es poco visible y no es apreciable por los usuarios. Generalmente el mayor daño se produce en la superficie de rodadura debido al tránsito y clima. Para disminuir el deterioro o desgaste es necesario aplicar una serie de medidas de mantenimiento y conservación, si no se efectúan, la vida útil del pavimento se reduce drásticamente.

Deterioro acelerado: Después de varios años, los elementos del pavimento están cada vez más deteriorados, la resistencia al tránsito se ve reducida. La estructura básica del pavimento está dañada, esto lo podemos constatar por las fallas visibles en la superficie de rodadura. Esta etapa es corta, ya que la destrucción es bastante acelerada. El estado del camino varía desde regular hasta muy pobre.

Deterioro total: Esta etapa puede durar varios años y constituye el desgaste completo del pavimento. La transitabilidad se ve seriamente reducida y los vehículos empiezan a experimentar daños en sus neumáticos, ejes, etc.

Los costos de operación de los vehículos aumenta y la vía se hace intransitable para los vehículos.

Según lo descrito arriba los pavimentos sufren deterioros constantes debido a las solicitaciones externas como la lluvia, el tránsito, etc. cuyos efectos puede resultar en un pavimento intransitable. El deterioro de un pavimento se da desde una etapa inicial, con un deterioro casi imperceptible hasta el deterioro total. Es importante resaltar que un pavimento de una condición regular hacia arriba ofrece un camino aún adecuado para los usuarios. En la siguiente figura 07 se muestra como la condición estructural y funcional de los pavimentos se disminuye con el tiempo.

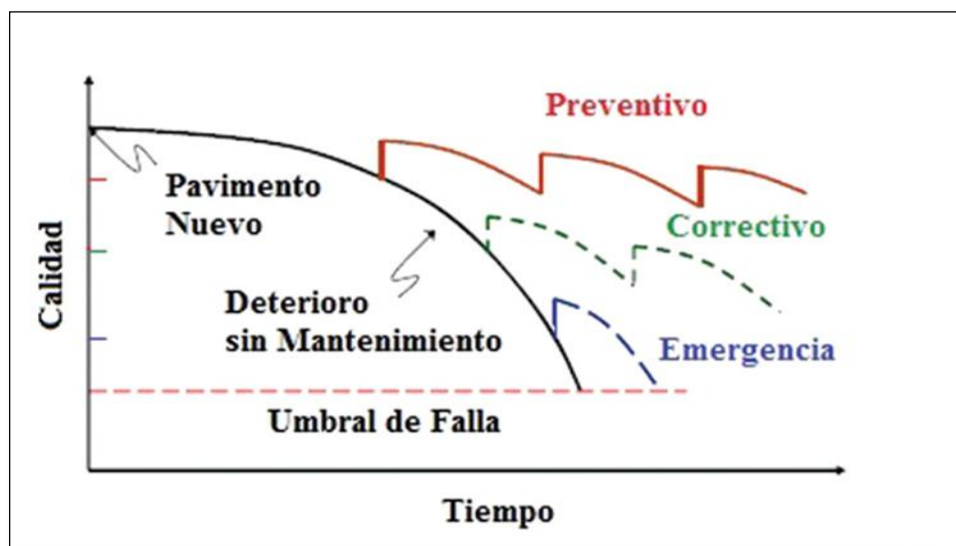


FIGURA 5: Ciclo de Vida de los Pavimentos y Momentos de Mantenimiento
FUENTE: Revista Vial, 2018

Es importante citar que con la ayuda del índice de serviciabilidad o el índice de condición de un pavimento se puede determinar la condición. Asimismo existen otras variables además del tiempo como el número de ejes equivalentes y el tránsito

acumulado que nos permitirán graficar la degradación del pavimento. Asimismo el ciclo de vida de los pavimentos puede alargarse si se realiza trabajos de mantenimiento y rehabilitación de manera oportuna, tal como se puede apreciar en la siguiente figura 07.

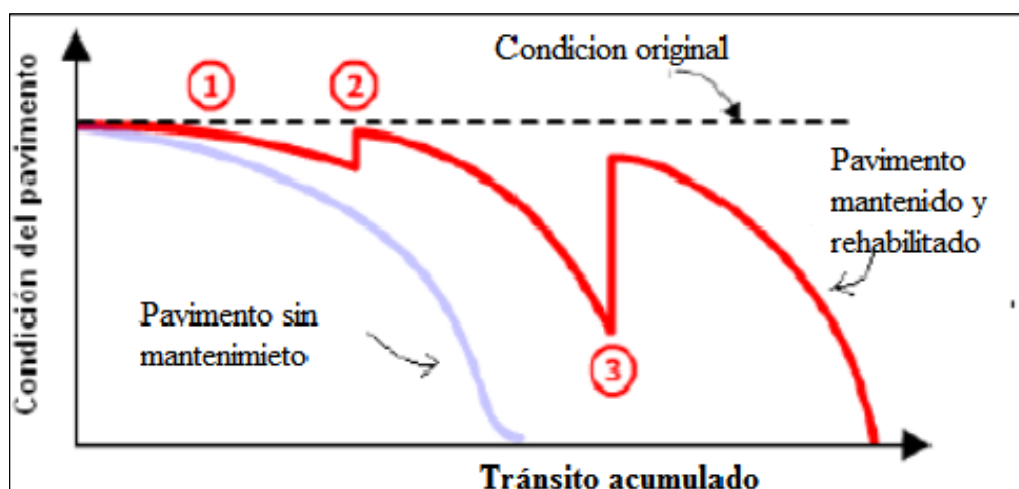


FIGURA 6: Ciclo de vida de los pavimentos con mantenimiento y rehabilitación
FUENTE: Medina & De la Cruz, 2015

Se puede observar la curva gris que representa el comportamiento de un pavimento sin intervención y la de color rojo con mantenimiento y rehabilitación. En la curva roja se identifica tres puntos, los cuales se describen a continuación:

En el punto 1: el pavimento se deteriora con menor rapidez debido a trabajos de mantenimiento.

En el punto 2: se aplica un trabajo inicial de rehabilitación que restaura la condición del pavimento.

Por último en el punto 3: se realiza una segunda intervención de rehabilitación que restaura la mayoría de la condición original del pavimento.

2.3. MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS

El presente punto tiene por objeto discutir los aspectos más comunes relativos a las acciones de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles.

Existen distintos niveles de intervención en la conservación vial, estos se clasifican en función a la magnitud de los trabajos necesarios, desde una intervención simple hasta una intervención más complicada y por ende más costosa.

El mantenimiento reduce la velocidad del deterioro del pavimento corrigiendo pequeños defectos antes de que ellos empeoren y conduzcan a deterioros mayores. Buscando recuperar el deterioro de la capa de rodadura ocasionados por el tránsito y por

los efectos del clima. Más allá de cierto punto, el simple mantenimiento no es suficiente y se requieren obras de rehabilitación que conducen a un mejoramiento en la condición del pavimento, recuperando las condiciones iniciales de la vía.

Las actividades de mantenimiento se agrupan en dos categorías, las cuales son: preventivas y correctivas. El mantenimiento preventivo incluye aquellas actividades realizadas para proteger el pavimento y reducir su deterioro. Por su parte el mantenimiento correctivo consiste en aquellas actividades ejecutadas para corregir fallas específicas del pavimento o áreas deterioradas. A continuación se presentan la tabla 01 donde se relacionan los rangos de PCI de un pavimento flexible a la categoría de acción a utilizar.

TABLA N° 1: *Correlación de categoría de acción con un rango de PCI*

RANGO DE PCI	CATEGORIA DE ACCIÓN
100 a 85	Mantenimiento Preventivo o Mínimo
85 a 60	Mantenimiento Preventivo Rutinario y/o Periódico
60 a 40	Mantenimiento Correctivo
40 a 25	Rehabilitación – Refuerzo Estructural
Menor a 25	Rehabilitación – Reconstrucción

FUENTE: *Elaboración Propia.*

El mantenimiento preventivo se puede clasificar en rutinario y periódico. El rutinario se ejecuta con regularidad, una o más veces al año, dependiendo de la condición del camino y el periódico se realiza cada cierto número de años.

A continuación se describirán las principales técnicas de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos de concreto asfálticos.

2.4. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS

Sellado de grietas: El sellado de grietas es una actividad que consiste básicamente en limpieza de las grietas y sellado de las mismas con productos asfálticos, lechada o mezcla asfáltica, a fin de prevenir la entrada de agua y otros materiales a la estructura del pavimento.



FIGURA 7: Sellado de Grietas con asfalto.

FUENTE: Sacvis, 2018

Bacheo o parche: Son las más comunes en la reparación de fallas localizadas en pavimentos. Se describe como la remoción y reposición de un área localizada severamente dañada, o el relleno de huecos producidos por disgregación. Se realiza para corregir fallas estructurales manifestadas por la aparición de grietas del tipo piel de cocodrilo de severidad media y alta, ahuellamiento profundo, grietas de deslizamiento y fallas puntuales como huecos, quiebres, hundimientos, etc. Se clasifica en cuatro tipos, los cuales se describen brevemente a continuación:

Emergencia: Relleno de huecos con mezclas asfálticas en frío o en caliente y eventualmente concreto Portland, materiales granulares, etc. Se ejecutan con poca o ninguna preparación del área afectada.

Superficie: No requiere remoción del pavimento. Consiste en sellar mediante la aplicación de un riego de adherencia y mezcla asfáltica (en frío o en caliente) áreas localizadas que presenten agrietamientos, deformaciones, hundimientos y/o disgregación. El procedimiento consiste en limpiar la superficie, aplicar el riego asfáltico, extender y compactar la mezcla de espesores por lo general entre 2 y 4 cm.

Carpeta: Considera la remoción parcial o total de la capa asfáltica en la zona afectada, limpieza y conformación (de ser necesaria) de la superficie de apoyo, aplicación de un riego de adherencia, el cual puede suprimirse en algunos casos a juicio del Ingeniero, relleno y compactación de la mezcla asfáltica de reposición.

Profundo: Remoción y reposición de la capa asfáltica y de bases o sub-rasante. La remoción de bases, sub-bases o material de sub-rasante se hará cuando no se encuentre una superficie de apoyo sólida, los casos más comunes son: exceso de humedad, falta de compactación, contaminación y/o materiales de pobre calidad. En estos casos debe removerse y reemplazarse el material inadecuado.

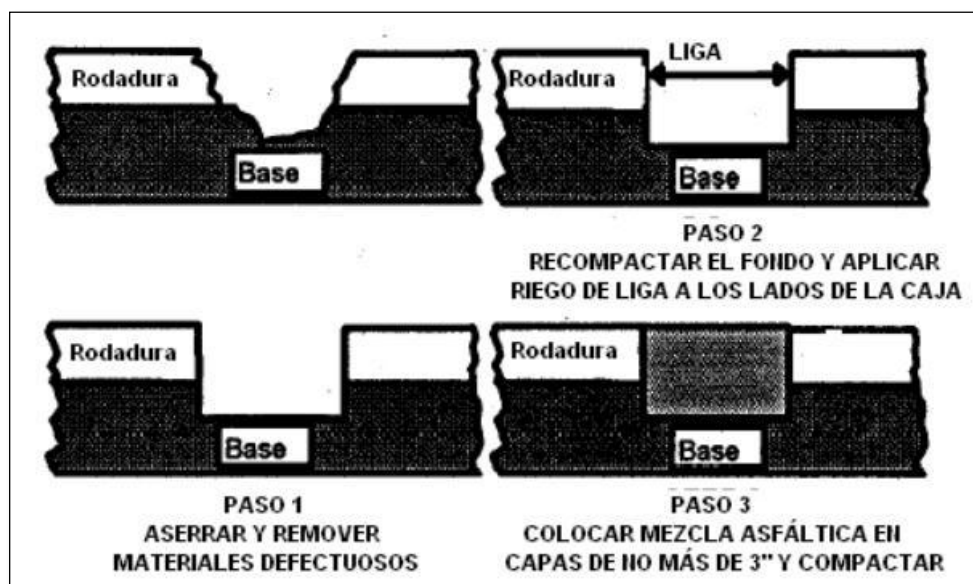


FIGURA 8: Procedimiento típico de colocación de parches.
FUENTE: Medina & De la Cruz, 2015

Tratamiento Superficial (Sello) Localizado: Consiste en la aplicación de un sello asfáltico o tratamiento superficial en sitios localizados menores de 300 m² de área.

Riego con material asfáltico cubierto con agregados o lechada asfáltica. Es conveniente sobre pavimentos envejecidos y oxidados, que presenten grietas finas y/o pérdida de agregado por disgregación menor. Así mismo, pueden ser utilizados para corregir problemas de textura y mejorar la resistencia al deslizamiento en puntos críticos como: curvas, intersecciones y pendientes. Requiere acciones previas como el bacheo, sellado de grietas anchas, nivelación localizada en áreas deformadas, además de barrido y limpieza de la superficie. Las acciones más comunes son: capa de sello con piedra o grava picada o con arena y lechada asfáltica.

Nivelación localizada con mezcla asfáltica: Esta acción es básicamente igual en su ejecución al bacheo superficial. Es adecuada para corregir fallas de poca gravedad como: hundimientos, ahuellamientos, zanjas, etc. Su ejecución requiere barrido y riego asfáltico de la superficie a tratar. Luego la mezcla es extendida a mano o con la ayuda

de equipos de construcción. Finalmente la mezcla es compactada, empleando equipos de rodillo liso, hasta obtener una densificación adecuada.

Micro-fresado y/o texturizado localizada: El fresado en frío es un proceso por el cual un equipo provisto de un cilindro rotatorio, con dientes de especial dureza, remueve pavimentos de concreto asfáltico, hasta una profundidad especificada. Estos equipos cuentan con sistemas de nivelación automática y son capaces de operar con buena precisión. Esta acción específica se refiere, en el caso de fresado, a la remoción de 1 a 3 cm. de pavimento con la finalidad de alisar áreas deformadas con elevaciones y corrugaciones, ahuellamientos menores, superficies agrietadas y disgregadas. El equipo remueve el material sin dañar las capas inferiores, deja una superficie rugosa y nivelada que facilita la colocación de nuevas capas de espesor uniforme, además de mejorar la adherencia. Por su parte la texturización se refiere al fresado o remoción de un espesor entre 3 a 10 mm. con la finalidad de mejorar la fricción del pavimento.

2.5. TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS

Tratamientos Superficiales (Capas de Sello): Los sellos o tratamientos superficiales constituyen una excelente alternativa de rehabilitación. Son adecuados y económicos para proteger superficies viejas y oxidadas, sellar grietas y corregir fallas menores. Los sellos asfálticos no aportan un significativo incremento estructural al pavimento. Sin embargo, al sellar grietas, es decir, impermeabilizando la superficie, se reduce la tasa de deterioro y produce un incremento en la vida de éste. Para el buen comportamiento de un sello es importante que se realice una preparación adecuada de la superficie. Esta debe incluir reparaciones localizadas, bacheo, nivelación y/o fresado, sello de grietas anchas, reparación de zanjas, barrido, etc. La duración de un sello asfáltico es variable y depende de la condición del pavimento original, calidad del sello y características del tráfico. Por lo general, puede esperarse una duración entre 4 y 8 años. A continuación se mostraran fotografías de los diversos tipos de tratamientos que existen en la actualidad. (MEDINA DE LA CRUZ & DE LA CRUZ PUMA , 2017).



FIGURA 9: Procedimiento típico sello arena-asfalto
FUENTE: Medina & De la Cruz, 2015

La sellada arena – asfalto es una aplicación de una emulsión de rotura rápida seguida por la extensión y compactación de una capa delgada de arena. Se aplica para impermeabilizar capas de rodadura que presenten excesos de vacíos con aire y sean susceptibles de deterioro prematuro por envejecimiento y alta permeabilidad.



FIGURA 10 Procedimiento típico de riego negro.
FUENTE: Medina & De la Cruz, 2015

El riego negro es una aplicación ligera de emulsión asfáltica para sellar áreas localizadas fisuradas o con vacíos superficiales.



FIGURA 11: Procedimiento típico de arenado
FUENTE: Medina & De la Cruz, 2015

El arenado se aplica en áreas donde la superficie presente excesos de asfalto.



FIGURA 12: Aplicación de lechada asfáltica y micro aglomerante en frío.
FUENTE: Medina & De la Cruz, 2015

La aplicación de lechada asfáltica y el micro-aglomerado en frío se usan para impermeabilizar y rejuvenecer la superficie, así como para mejorar las características de fricción. También son efectivos en sello de áreas con grietas de escasa abertura. También existe micro – aglomerado en caliente y se usan para restablecer la resistencia al deslizamiento de pavimentos estructuralmente competentes y mejorar el drenaje.

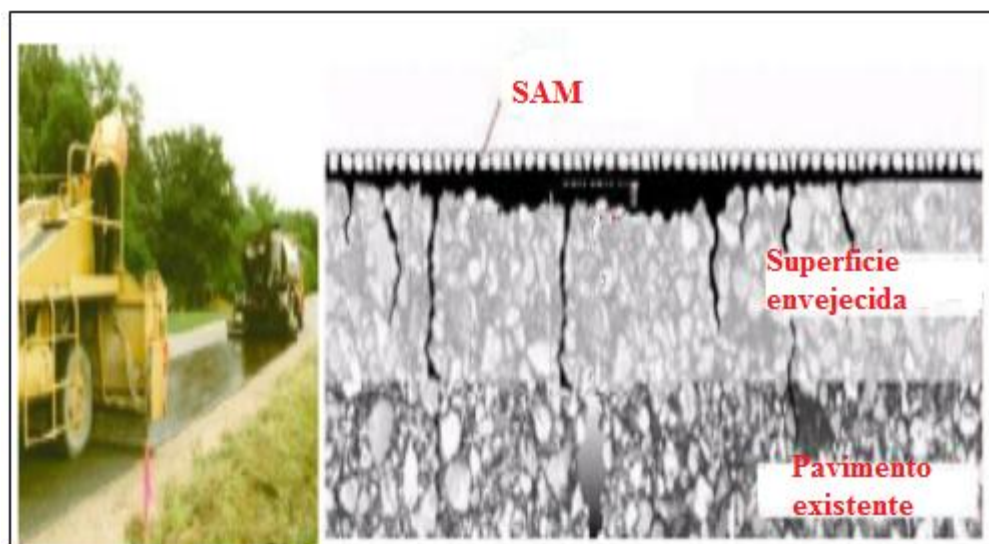


FIGURA 13: *Tratamiento superficial con asfalto modificado con polímeros*
FUENTE: Medina & De la Cruz, 2015

Este tratamiento superficial con SAM se usa para impermeabilizar y rejuvenecer la superficie, así como para mejorar las características de fricción.

Capas o sobre-carpeta: Procedimiento clásico para proteger un pavimento deteriorado, eliminar o reducir su rugosidad, mejorar la resistencia al deslizamiento y reforzar la estructura de un pavimento flexible mediante la repavimentación con concreto asfáltico.

Las capas asfálticas de alta calidad ofrecen solución para casi todo tipo de problema. Se tiene tres alternativas, las cuales se describen a continuación:

Nivelación: Son requeridas en aquellas vías deformadas que permitan elevación de la rasante. Son capas de espesor variable colocadas con equipos. Dependiendo del caso pueden ejecutarse previo a la colocación de otra capa, o cumplir simultáneamente funciones de nivelación y refuerzo estructural, nivelación y sello en forma simultánea. Es práctica común el uso de capas delgadas (2 a 4 cm.) cuando se considera la necesidad de proteger una superficie envejecida, mejorar su calidad de rodaje y resistencia al deslizamiento.

Fricción y/o sello: Las capas de fricción tienen como objetivo principal mejorar la resistencia al deslizamiento del pavimento a fin de dar mayor seguridad a los usuarios.

Estas capas deben ser de concreto asfáltico. Sus características especiales son: el uso de agregados de especial dureza y resistencia a la pulimentación y el cumplimiento de un requisito mínimo de textura. Estas capas se colocan en pavimentos sanos y poco

deformados, generalmente con espesores entre 2 y 4 cm. Su aporte estructural es moderado, sin embargo debe considerarse –según el caso– su efecto de sellado y nivelación de deformaciones leves que mejoran la calidad de rodaje del pavimento, además de cumplir con su objetivo principal, como es el mejorar la fricción.

Refuerzo estructural: Se recurre a un refuerzo estructural, cuando las cargas soportadas exceden su resistencia inicial de diseño. En estos casos el pavimento ha fallado estructuralmente y requiere ser reforzado para soportar futuras cargas. La construcción de capas de concreto asfáltico es comúnmente empleada para reforzar la estructura de un pavimento y mejorar su condición funcional. La determinación del espesor de esta capa debe hacerse mediante un análisis que permita establecer la condición del pavimento existente y su mecanismo de falla; determinar las características y condición de los materiales "in-situ"; definir el período de vida de la nueva estructura y las cargas esperadas, y determinar el espesor de refuerzo empleando un método o procedimiento técnicamente reconocido y apropiado del pavimento. Es importante mencionar que para el refuerzo estructural se puede hacer uso de concreto con cemento portland, la cual se coloca por encima de la capa de rodadura de concreto asfáltico, denominando a este tipo de pavimento como compuesto.



FIGURA 14: *Sobre carpeta de Asfalto.*
FUENTE: *Medina & De la Cruz, 2015*

Reciclado: Se entiende por reciclado la reutilización de materiales que conforman (capas) un pavimento existente, mediante procesos especiales, con la finalidad de mejorar sus propiedades y reincorporarlos en la estructura. El reciclado

puede ejecutarse en frío o en caliente. En ambos casos puede hacerse en obra, o transportando el material a una planta donde es procesado, bien en caliente o en frío. El reciclado en frío presenta las siguientes opciones: con cemento, emulsión asfáltica, emulsión asfáltica y cemento, asfalto espumado y por último con asfalto espumado y cemento. El reciclado en frío se emplea para corregir pavimentos que presenten agrietamientos y deformaciones debidos a insuficiencias estructurales. El reciclado en caliente se aplica para corregir deterioros no atribuibles a deficiencias estructurales.

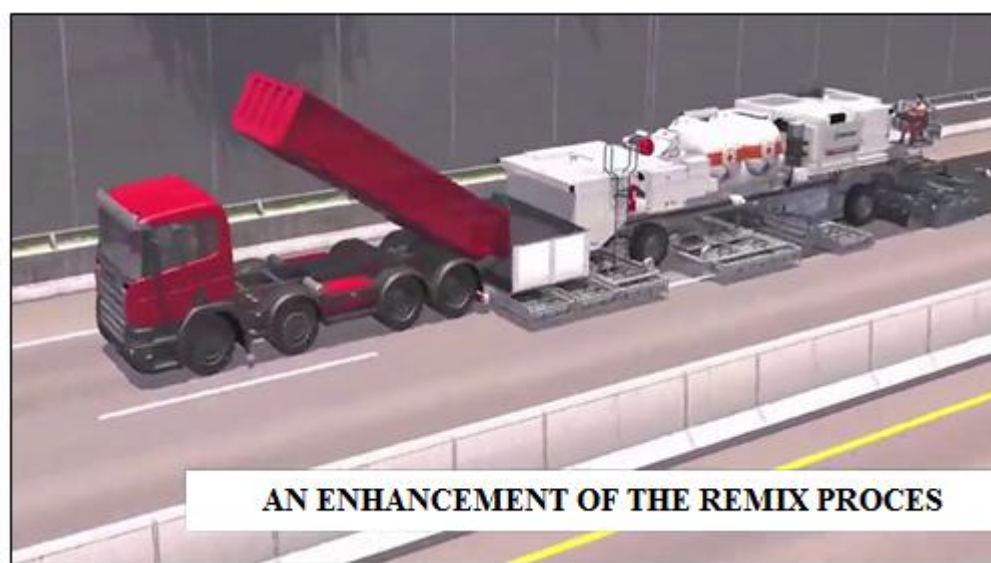


FIGURA 15: *Reciclado superficial en sitio*
FUENTE: RESANSIL,2018

Remoción por fresado: Su uso es conveniente para alisar superficies deformadas, remover elevaciones y corrugaciones, o reducir el ahuellamiento antes de la ejecución de otras acciones. Existen equipos capaces de remover más de 10 cm. en una sola pasada. En algunos casos el procedimiento puede ser especialmente beneficioso, específicamente en vías multi-carril pueden lograrse importantes ahorros económicos cuando se encuentra un carril más deteriorado que los adyacentes. En este caso el fresado permite remover con precisión el carril fallado y aplicar un correctivo específico, no necesariamente requerido por toda la calzada. Otro caso común es cuando un carril de una vía, generalmente el externo en vías multi-carril, requiere mayor refuerzo estructural que los adyacentes. En este caso al remover parte de la capa asfáltica en el canal fallado, y colocar el refuerzo que éste requiere, la nueva rasante no obliga un sobre-espesor en los canales adyacentes –menos deteriorados lográndose ahorros económicos. No produce daño a las bases y capas inferiores, reutilización del

material removido y causa poca molestia al tráfico. El problema principal de ésta acción se encuentra en el costo de los equipos y su poca disponibilidad a nivel nacional.



FIGURA 16: Maquina fresadora, pavimento fresado y material fresado
FUENTE: Carreteras-pa, 2018

2.6. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS.

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie y estructura del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas necesarias de reparación y mantenimiento. Con la evaluación se pretende determinar cómo intervenir un pavimento para prolongar su vida útil. La importancia de la evaluación radica en que permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad¹¹ óptima. Asimismo con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto. Por último la evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio ahorrando de esta manera gastos mayores (MEDINA PALACIOS & DE LA CRUZ PUMA, 2015)

Es resumen la evaluación de pavimentos permite conocer el estado situacional de la estructura y establecer medidas correctivas, ahorrando costos, para cumplir objetivos de serviciabilidad.

2.7. TIPOS DE EVALUACIÓN

Una correcta evaluación de pavimentos incluye estudios sobre el estado de la condición funcional y estructural.

A continuación se describirá a detalle ambos tipos de evaluación.

2.7.1. 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 (MEDINA PALACIOS & DE LA CRUZ PUMA, 2015)

Entre este tipo de deficiencias se encuentran: La rugosidad, fallas superficiales y pérdida de fricción, costo de usuario y el medio ambiente.

La rugosidad, relacionada a la comodidad. Se define como las irregularidades presentes en la superficie del pavimento, las cuales afectan la calidad de rodado de los vehículos, y por lo tanto la calidad del servicio brindada al usuario.

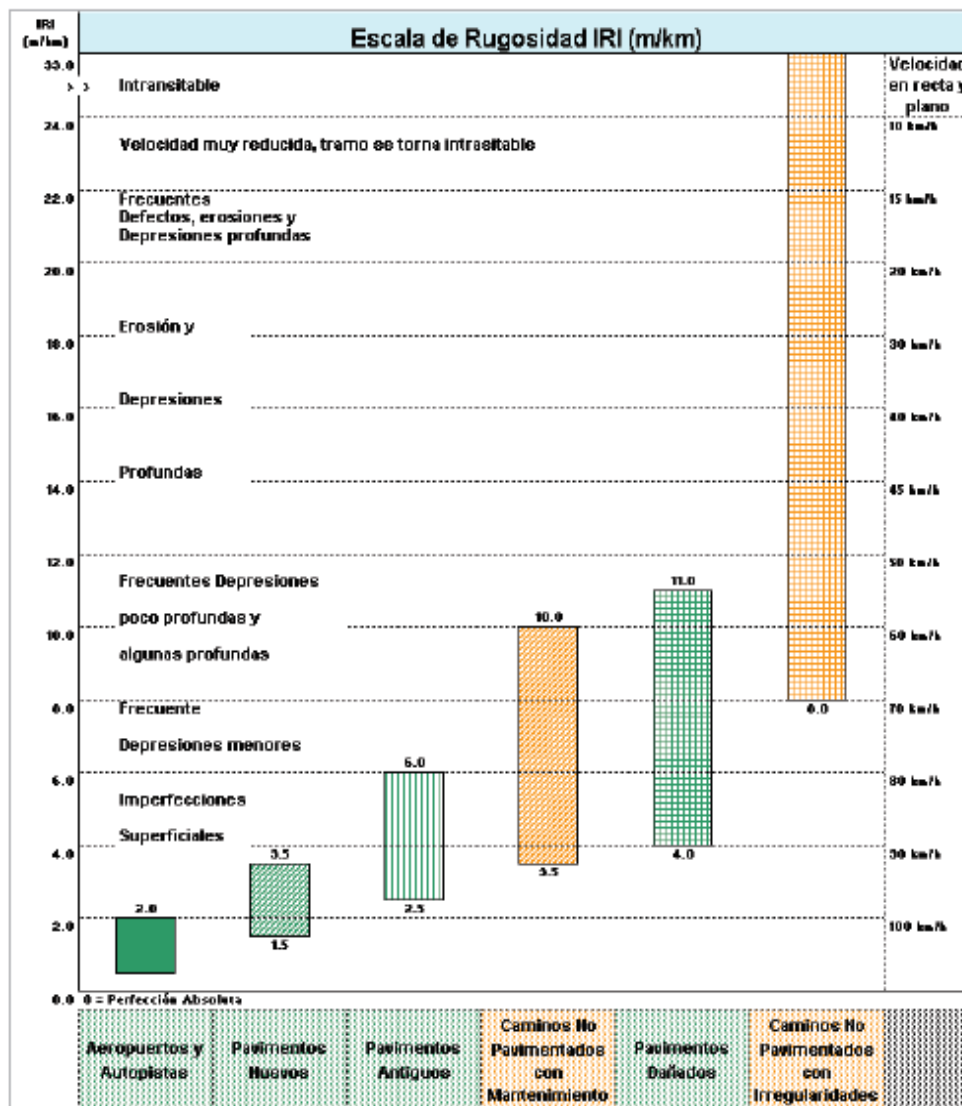


TABLA N° 2: Escala de rugosidad IRI
FUENTE: Manual de carreteras, suelos y Pavimentos

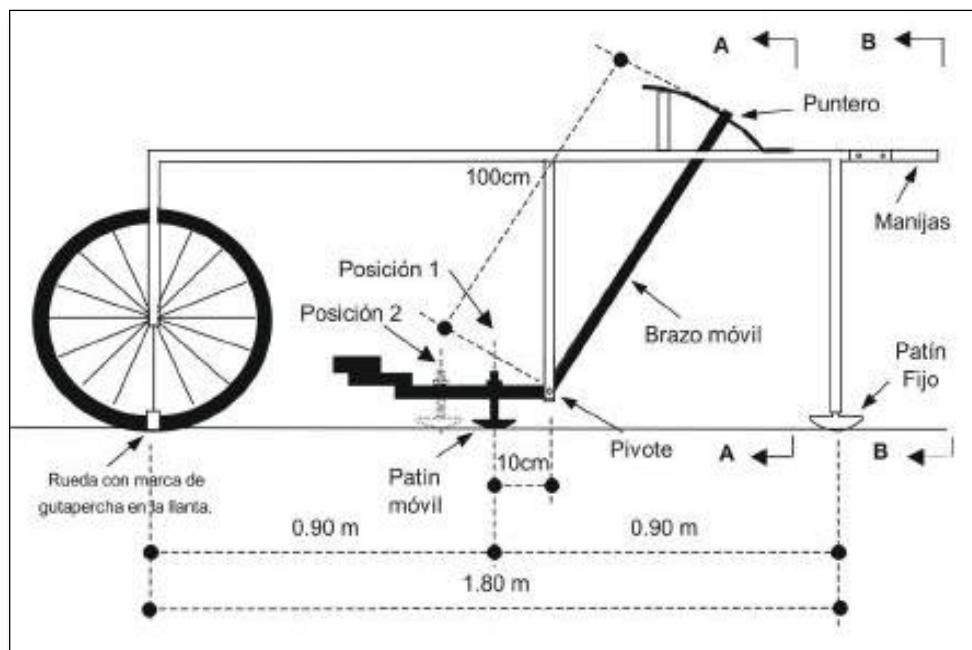


FIGURA 17: Esquema del rugosímetro Merlin
FUENTE: Manual del Usuario de Merlin

Existen otras formas de medir la rugosidad de los pavimentos, haciendo uso de los siguientes métodos:

a) PSR (Present Serviceability Rating): El juicio subjetivo de un observador respecto a la capacidad actual del pavimento para servir al usuario. Se hace uso de plantillas.

b) PSI (Present Serviceability Index): Corresponde a una estimación del PSR basada en correlaciones con mediciones objetivas de rugosidad y otros defectos presentes en el pavimento tales como grietas, baches y ahuellamiento.

Las fallas superficiales. son defectos o deterioros que se manifiestan en la superficie del pavimento y son medibles sin la necesidad de equipos especiales. Estos defectos tienen una importancia relativa en la serviciabilidad del pavimento, sin embargo su detección oportuna es importante debido a que permite prevenir el posible desencadenamiento de un deterioro acelerado y/o establecer un diagnóstico más preciso de las causas que originan el deterioro.

Es importante por lo tanto efectuar un adecuado reconocimiento y cuantificación de estas fallas, mediante una inspección (superficial y visual). En el siguiente capítulo se desarrolla de manera más completa este punto.

Existen varios métodos que permite evaluar los defectos superficiales de los pavimentos como por ejemplo el PCI, el cual se detalla más adelante. Asimismo

tenemos el método de VIZIR, la cual es una metodología desarrollada por el laboratorio central de puentes y calzadas de Francia en 1972. Establece una distinción clara entre fallas estructurales y funcionales; es decir, identifica las degradaciones que caracterizan la condición estructural y funcional. Se mide mediante el índice de deterioro superficial la que para la calificación del pavimento toma en cuenta solo la condición estructural. También involucra otros dos índices: índice de fisuración (If), el cual depende de la gravedad y la extensión de fisuraciones y agrietamientos de tipo estructural en cada zona evaluada; luego se calcula un índice de deformación Id, el cual también depende de la gravedad y extensión de las deformaciones de origen estructural. La combinación de If e Id da lugar a un primer índice el cual debe ser corregido en función de la extensión y la calidad de trabajos de bacheo. Los rangos de calificación varían de 1 a 7. Entre 1 y 2 bueno; 2 y 4 regular; 5, 6 y 7 deficiente. También existe un método denominado poco conocido en nuestro territorio denominado FHWA / OH99 / 004.

La **pérdida de fricción**, relacionada a la seguridad, ya que ha de proporcionar al usuario una superficie de rodadura segura en que en todo momento se consiga una buena adherencia neumático-pavimento. Es un defecto que tiene relación directa con el usuario, particularmente con los segmentos de alta velocidad, zonas de frenado como un cruce de peatones, en colegios y curvas de radio pequeño o curvas de radio amplio con peraltes menores a 6%. La pérdida de fricción se propone como consecuencia de una disminución combinada o individual de la macro-textura¹⁴ como de la micro-textura¹⁵ superficial del pavimento, lo cual puede originar accidentes, particularmente cuando el pavimento se encuentra mojado. Es decir la fricción está asociada a un aumento de la fisura del pavimento. Esto contribuye además con otros dos fenómenos asociados a pavimentos lisos:

Aumento del "spray" (nebulización), asociado al paso de vehículos a alta velocidad, reduciendo considerablemente la visibilidad.

La fricción o adherencia entre el neumático y la superficie del pavimento presenta respuestas diferentes a otros factores aparte de la textura como: agua sobre la superficie, la presión de inflado de la llanta, la velocidad de circulación y la época del año por los cambios de temperatura y humedad.

Los **costos de usuario**, asociado con la economía, están relacionados con los costos operativos de los vehículos y el costo del tiempo de viaje del usuario. En los costos operativos de los vehículos se toma en cuenta el consumo de combustible,

lubricantes, neumáticos, mantenimiento y los costos de posesión que incluyen la depreciación y los costos de inversión. El tiempo de viaje está relacionado con demoras en el viaje por intersecciones por semaforizadas, con retrasos durante el viaje por la ejecución de acciones de mantenimiento vial y con la condición del pavimento. Éste último aspecto es especialmente interesante, ya que dependiendo de la condición del pavimento (Buena- Regular-Mala) y la topografía del terreno (Llano-Ondulado-Montañoso) varía el gasto en que incurre el usuario de la vía. Para cualquier topografía, el gasto por la circulación en una vía en mala condición es mayor que el gasto de circulación por la misma vía en condición regular o buena, sin embargo, dicho gasto se incrementa si el terreno pasa de llano a montañoso. La determinación del Costo Usuario puede realizarse a través de varios modelos como el Modelo McFarland (USA), Modelo HDM III (Highway Design and Maintenance Standards Model) y el Modelo SCUP (Sistema de Costo Usuario en Pavimento).

Por último el impacto ambiental, relacionado con el ruido de Contacto Neumático-Pavimento. En autopistas y carreteras con velocidades de circulación relativamente elevadas es conveniente que la profundidad media de la rugosidad esté comprendida entre 0,71 y 1 mm. Las texturas muy rugosas pueden ser demasiado ruidosas tanto para los usuarios como para los habitantes de la zona, por lo que en cada caso será necesario alcanzar un equilibrio entre seguridad y nivel sonoro.

En la figura 20, se muestra una figura que relaciona el ruido, la velocidad y la textura del pavimento.

Los factores asociados con la mezcla de la capa de rodamiento que inciden en la producción de ruido durante el rodaje de los vehículos son: Textura de la superficie, porosidad (vacíos de la mezcla) y la rigidez de la mezcla.

La textura es recomendable que sea negativa, es decir, la amplitud de onda debe darse de la superficie de rodamiento hacia abajo. Por su parte su magnitud debe ser baja (menor de 5 mm.) aunque suficiente para permitir el escape del aire.

La porosidad (vacíos de la mezcla) debe ser alta, recomendable mayor del 20%, sin embargo, no se debe perder de vista que elevados porcentaje de vacíos puede afectar la durabilidad de la mezcla, por ésta razón se recomienda la incorporación de polímeros, fibras, etc.

Para mitigar el efecto del ruido es conveniente que la rigidez de la mezcla sea baja, sin embargo, su logro es muy difícil de alcanzar sin que se comprometa el comportamiento general de la mezcla.

2.7.2. Evaluación Estructural

Es la cuantificación de la capacidad estructural remanente presente en las distintas capas que componen la estructura del pavimento. Para evaluar la capacidad estructural del pavimento existen diversos procedimientos los cuales se estudiaron, clasificaron y analizaron.

Existe una gran diferencia entre el proceso de diseño de un pavimento nuevo y el proceso de diseño de la rehabilitación de un pavimento existente. En lo que se refiere a éste último, se dispone de un conjunto de materiales que ya están colocados y que han sufrido un deterioro por efecto del tránsito, de los agentes climáticos y el tiempo.

Dichos materiales presentan un cierto valor estructural remanente, el cual es necesario considerar como aporte a los fines del diseño de la rehabilitación del pavimento, por lo tanto se impone como tarea previa en estos casos, a diferencia del diseño de un pavimento nuevo, la valoración o evaluación del pavimento en cuestión, la cual sólo es posible a través de procedimientos específicos.

La evaluación estructural de un pavimento existente, abarca necesariamente los siguientes trabajos:

- ✓ Evaluación superficial de la condición del pavimento.
- ✓ Evaluación del sistema de drenaje.
- ✓ Determinación de espesores y tipos de materiales constituyentes de la estructura de pavimento.
- ✓ Medición de deflexiones superficiales del pavimento.

En lo que se refiere a la evaluación superficial, la misma debe considerar las fallas presentes en el pavimento de tal manera de valorarlas, tanto en magnitud como en severidad, para así tener un indicativo referencial de su condición. Para ello se dispone de la evaluación funcional del pavimento mediante la determinación del índice de condición del pavimento (PCI). Esta información se debe complementar, en especial con la medición de deflexiones, con la finalidad de establecer posibles correlaciones entre la condición superficial del pavimento y su deflexión superficial.

La evaluación estructural se realiza mediante ensayos no destructivos, en los que se miden las deflexiones con equipos como: viga Benkelman, dynaflect, deflectómetro, falling weight deflectometer y se realiza una evaluación empírica para la vida remanente; y ensayos destructivos, en los que se realizan calicatas, extracción de testigos, placa de carga, penetrómetro dinámico de cono.



FIGURA 18: Viga Benkelman
FUENTE: VIGEEKLA, 2018, 2018

2.8. MARCO CONCEPTUAL

- A.S.T.M.:** Asociación Americana para el Ensayo de Materiales (American Society for Testing Materials).

- AASHTO:** Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte (American Association of State Highway and Transportation Officials).

- CAMIONES PESADOS:** Vehículos del Reglamento Nacional de Vehículos, con configuraciones de ejes mayores a las de vehículos tipo C2.

- CAMIONES:** Vehículos tipo C2 del Reglamento Nacional de Vehículos, con configuraciones iguales a 2 ejes y 6 llantas. Incluyen ómnibuses y camiones de 4 llantas de base ancha. No incluyen automóviles camionetas, Pick-Ups, ni paneles.

•**CAPA ASFÁLTICA DE SUPERFICIE:** Es la capa superior de un pavimento asfáltico, llamada también Capa de Desgaste o Capa de Rodadura.

•**CAPACIDAD DE LA VÍA:** Es el máximo número de vehículos de todos los tipos para los que la vía deberá ser diseñada geométricamente.

•**EJE ESTÁNDAR:** Eje simple con ruedas duales con una carga de 80 kN (8,2 t ó 18 kips).

•**EMULSIFICANTE:** Sustancia que modifica la tensión superficial de gotas microscópicas (coloidales).

•**EMULSIÓN ASFÁLTICA:** Una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de agente emulsivo.

•**IRI:** Sigla correspondiente al Índice de Regularidad Internacional (International Slurry Surfacing Association).

•**LECHADA ASFÁLTICA:** Es una mezcla compuesta por una emulsión asfáltica de quiebre lento, árido bien graduado, filler, agua y eventualmente aditivos. Es una mezcla de consistencia fluida, capaz de penetrar y sellar grietas y defectos menores.

•**NIVELES DE SERVICIO:** Indicadores que identifican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y de seguridad. Los indicadores son propios de cada vía y varían de acuerdo a los factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.

La carretera Emp. PE-3S (DV.Atuncolla)-ATUNCOLLA(Ciudad), se ubica políticamente en el distrito de Atuncolla, provincia de Puno, departamento Puno, geográficamente, el tramo a evaluar está ubicado al sur este del Perú, en la Meseta del Collao, con una altitud promedio de 3820 msnm.

El tramo en estudio se inicia desde el desvío a Atuncolla de la carretera panamericana Sur Emp. PE-3S (DV.Atuncolla) y culmina en la ciudad de ATUNCOLLA con una longitud de 9 km.



FIGURA 19: Mapa vial de sillustani
FUENTE: Mapa vial de Puno 2017

3.1.1. ALTITUD

La carretera, Emp. PE-3S (DV.Atuncolla)-ATUNCOLLA(Ciudad), se desarrolla a una altitud por encima de 3820 m.s.n.m.

3.1.2. ACCESIBILIDAD

La accesibilidad a la zona de la evaluación es vía terrestre, desde las ciudades de Puno (10 km) y Juliaca (40km), las cuales se encuentran pavimentadas.

3.1.3. TOPOGRAFÍA

La zona a evaluar presenta una topografía regular, llana y poco ondulada.



FIGURA 20: Mapa Satelital de la Vía en estudio.

FUENTE: www.depuno.com/mapas/mapas-puno

3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO

El periodo de ejecución es parte del mes de Marzo y Noviembre del 2017.

3.3. PROCEDENCIA DEL MATERIAL UTILIZADO

El material procedente para la investigación son métodos americanos y el manual de carreteras o mantenimientos de vías 2014 del ministerio de transportes y comunicaciones del Peru(MTC).

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

- ✓ La población se considera las vías arteriales del distrito de Atuncolla
- ✓ MUESTRA: La muestra de estudio está constituido por la vía Emp. PE-3S (DV. Atuncolla)-ATUNCOLLA, que consta de 9 Km de longitud.

3.5. METÓDO DEL PAVEMENT CONDITION INDEX (PCI).

El método PCI (Pavement Condition Index) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues se mide la condición del pavimento de manera indirecta. (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2018)

Fue desarrollado entre los años 1974 y 1976 a cargo del Centro de Ingeniería de la Fuerza Aérea de los E.E.U.U. con el objetivo de obtener un sistema de administración del mantenimiento de pavimentos rígidos y flexibles.

Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo: el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el APWA (American Public Work Association) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación (Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-18). (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2018).

3.5.1. Objetivos.

Los objetivos que se esperan con la aplicación del Método PCI son los siguientes:

Determinar el estado en que se encuentra el pavimento en términos de su integridad estructural y del nivel de servicio que ofrece al usuario. El método permite la cuantificación de la integridad estructural de manera indirecta, a través del índice de condición del pavimento (*ya que no se realizan mediciones que permiten calcular directamente esta integridad*).

Obtener un indicador que permita comparar, con un criterio uniforme, la condición y comportamiento del pavimento y de esta manera justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación, seleccionando la técnica de reparación más adecuada al estado del pavimento en estudio.

Índice de condición del pavimento (PCI). Es un grado numérico de la condición del pavimento. Varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. Cada rango del PCI tiene su correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Grado de condición del pavimento. Es una descripción cualitativa de la condición del pavimento, como una función del valor de PCI que varía desde “fallado” hasta “excelente”. Según la figura N° 21

	Standard PCI™ Rating Scale	Suggested Colors
100	Good	Dark Green
85	Satisfactory	Light Green
70	Fair	Yellow
55	Poor	Light Red
40	Very Poor	Medium Red
25	Serious	Dark Red
10	Failed	Dark Grey
0		

FIGURA 21: Escala de puntaje

FUENTE: American Society for Testing and Materials, 2018

3.5.2. Materiales e instrumentos.

Hoja de datos de campo.-Documento donde se registrará toda la información obtenida durante la inspección visual: fecha, ubicación, tramo, sección, tamaño de la unidad de muestra, tipos de fallas, niveles de severidad, cantidades, y nombres del personal encargado de la inspección.

Odómetro Manual. Instrumento utilizado para medir distancias en calles, carreteras, caminos,



FIGURA 22: *Odómetro electrónico*
FUENTE: SIGNOVIAL, 2018

Regla o Cordel. Para medir la deformación longitudinal y transversal del pavimento en estudio.



FIGURA 23: *Regla rígida de Aluminio*
FUENTE: SIGNOVIAL, 2018

Conos para seguridad vial. Para aislar el área de calle en estudio, ya que el tráfico representa un peligro para los inspectores que tienen que caminar sobre el pavimento.



FIGURA 24: Conos de Seguridad en la Vía.
FUENTE: SIGNOVIAL, 2018

Plano de Distribución. Plano donde se esquematiza la red de pavimento que será evaluada.

3.5.3. Muestreo y unidades de muestra.

El muestreo se llevará a cabo siguiendo el procedimiento detallado a continuación:

Identificar tramos o áreas en el pavimento con diferentes usos en el plano de distribución de la red, tales como caminos y estacionamientos.

1. Dividir cada tramo en secciones basándose en criterios como diseño del pavimento, historia de construcción, tráfico y condición del mismo.
2. Dividir las secciones establecidas del pavimento en unidades de muestra.
3. Identificar las unidades de muestras individuales a ser inspeccionadas de tal manera que permita a los inspectores, localizarlas fácilmente sobre la superficie del pavimento. Es necesario que las unidades de muestra sean fácilmente reubicables, a fin de que sea posible la verificación de la información de fallas existentes, la examinación de variaciones de la unidad de muestra con el tiempo y las inspecciones futuras de la misma unidad de muestra si fuera necesario.
4. Seleccionar las unidades de muestra a ser inspeccionadas. El número de unidades de muestra a inspeccionar puede variar de la siguiente manera:

considerando todas las unidades de muestra de la sección, considerando un número de unidades de muestras que nos garantice un nivel de confiabilidad del 95% o considerando un número menor de unidades de muestra.

5. Todas las unidades de muestra de la sección pueden ser inspeccionadas para determinar el valor de PCI promedio en la sección. Este tipo de análisis es ideal para una mejor estimación del mantenimiento y reparaciones necesarias.
6. El número mínimo de unidades de muestra “n” a ser inspeccionadas en una sección dada, para obtener un valor estadísticamente adecuado (95% de confiabilidad), es calculado empleando la Ec. 1 y redondeando el valor obtenido de “n” al próximo número entero mayor.

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\left(\frac{e^2}{4}\right) \times (N - 1) + \sigma^2} \dots \dots Ec 1$$

Donde:

e=error admisible en el cálculo del PCI de la sección, e =+/-5 puntos del PCI.

σ = Desviación estándar del PCI de una muestra a otra en la misma sección.

N = número total de unidades de muestra en la sección.

n = Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

Al realizar la inspección se asume que la desviación estándar es 10. Esta suposición debe ser comprobada de la forma como se describe a continuación después de haber determinado los valores del PCI. Para subsiguientes inspecciones, la desviación estándar de la inspección precedente debe ser utilizada para determinar el valor de “n”.

7. Cuando el número mínimo de unidades a ser evaluadas es menor que cinco ($n < 5$), se recomienda evaluar todas las unidades.
8. Si obtener el 95% de confiabilidad es crítico, la conveniencia del número de unidades inspeccionadas debe ser verificada. El número de unidades de muestra fue estimado en base a un valor de desviación estándar asumido. Calcular el valor actual de la desviación (es) estándar de la siguiente manera (ver Ec.2):

$$S = \left(\sum_{i=1}^n \frac{(PCI_i - PCI_s)^2}{n-1} \right)^{1/2} \dots \dots \dots Ec. 2$$

Dónde:

PCI_i = valor PCI de las unidades de muestra inspeccionadas i.

PCI_s = valor PCI de la sección.

n = número total de unidades de muestra inspeccionadas.

9. Calcular el número mínimo de unidades de muestra (Ec.1) a ser inspeccionadas utilizando la desviación estándar calculada (Ec.2). Si el número de unidades de muestra revisado a ser inspeccionadas es mayor que el número de muestras ya inspeccionadas, seleccionar e inspeccionar unidades de muestra adicionales al azar. Estas unidades de muestra deben ser espaciadas uniformemente a través de la sección. Repetir este proceso de chequeo del número de unidades de muestra revisado, e inspeccionar las unidades de muestra adicionales al azar hasta que el número total de unidades de muestra inspeccionadas sea igual o mayor al número mínimo requerido de unidades de muestra “n” obtenido de la Ec.1, usando la desviación estándar total de muestras real.
10. Una vez que el número de unidades de muestra a ser inspeccionadas esté definido, calcular el intervalo de espaciamiento de las unidades utilizando el muestreo sistemático al azar. Las muestras deben ser igualmente espaciadas a través de toda la sección seleccionando la primera muestra al azar. El intervalo del espaciamiento “i” de las unidades a ser muestreadas debe ser calculado mediante la siguiente fórmula (Ec. 3) redondeando el resultado al próximo número entero menor:

$$i = N/n \dots \dots Ec. 3$$

N = número total de unidades de muestra en la sección.

n = número de unidades de muestra a ser inspeccionadas.

11. La primera unidad de muestra a ser inspeccionada es seleccionada al azar entre las unidades de muestra 1 hasta “i” Las unidades de muestra en la sección que son incrementos sucesivos del intervalo “i” después de la primera unidad seleccionada al azar también son inspeccionadas.

12. Las unidades de muestra adicionales deben ser inspeccionadas sólo cuando se observan fallas no representativas. Estas unidades de muestra son escogidas por el usuario.

3.5.4. Procedimiento de inspección.

1. Inspeccionar individualmente cada unidad de muestra seleccionada.
2. Registrar el tramo y número de sección así como el número y tipo de unidad de muestra (al azar o adicional).
3. Registrar el tamaño de unidad de muestra medido con el odómetro manual.
4. Realizar la inspección de las fallas, cuantificando cada nivel de severidad y registrando la información obtenida. Los tipos de fallas y el grado de severidad se encuentran descritos en el punto.
5. El método de medición se encuentra incluido en la descripción de cada falla.
6. Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

3.5.5. Calculo del pci.

1. Sumar la cantidad total de cada tipo de falla para cada nivel de severidad, y registrar esta información en la columna “Total de Severidades”. Por ejemplo, en la Tabla 3 se muestra que la falla piel de cocodrilo tiene 13pie² de pavimento de severidad baja y 14 pie² de severidad alta. Las unidades para las cantidades deben ser en metro cuadrado, metro lineal, o número de ocurrencia, dependiendo del tipo de falla, solo para el ejemplo la ASTM usa el pie²
2. Dividir la cantidad total de cada tipo de falla en cada nivel de severidad (columna total de severidades) entre el área total de la unidad de muestra y multiplicar el resultado por 100 para obtener la densidad porcentual, en nuestro ejemplo se tiene 0.52 para severidad baja y 0.56 para la severidad alta, como se puede ver en la tabla N° 3
3. Determinar el valor deducido (C) para cada combinación de tipo de falla y nivel de severidad utilizando las curvas de valor deducido de cada fallas que se encuentran en el anexo, para nuestro ejemplo de tiene 7.9 para severidad baja y 23.4 para severidad alta.

TABLA N° 3: Modelo de tabla de ASTM

ASPHALT SURFACED ROADS AND PARKING LOTS CONDITION SURVEY DATA SHEET FOR SAMPLE UNIT								SKETCH:		
BRANCH <u>SPRINGFIELD</u> SECTION <u>001</u> SAMPLE UNIT <u>1</u>										
SURVEYED BY <u>KAK</u> DATE <u>10 JUL 93</u> SAMPLE AREA <u>2500 sf</u>										
1. Alligator Cracking		6. Depression		11. Patching & Util Cut Patching		16. Shoving				
2. Bleeding		7. Edge Cracking		12. Polished Aggregate		17. Slippage Cracking				
3. Block Cracking		8. Jt. Reflection Cracking		13. Potholes		18. Swell				
4. Bumps and Sags		9. Lane/Shoulder Drop Off		14. Railroad Crossing		19. Weathering/Raveling				
5. Corrugation		10. Long & Trans Cracking		15. Rutting						
DISTRESS SEVERITY	QUANTITY							TOTAL	DENSITY %	DEDUCT VALUE
1 L	1x5	1x4	1x4					13	0.52	7.9
1 H	1x8	1x6						14	0.56	23.4
7 L	32	15	18	24	41			130	5.20	7.5
8 M	20	15	35	27	23	10	13	143	5.72	25.1
11 H	3x4	2x5						22	0.88	17.9
13 L	1							1	0.04	11.2
15 L	4	9	8					21	0.84	6.9
19 L	250							250	10.0	5.3

FUENTE: American Society for Testing and Materials, 2018.

4. Determinar el máximo valor deducido corregido (CDV), mediante los siguientes pasos:
 - 4.1. Si ninguno o solamente un valor deducido individual es mayor que dos. El valor total es usado en lugar del máximo CDV para determinar el PCI; de otro modo, el máximo CDV debe ser determinado usando el procedimiento descrito en 4.2.–4.5.
 - 4.2. Crear una lista de valores deducidos individuales en orden descendente. Por ejemplo, en la Tabla N° 4 esta lista será, 24.1, 23.4, 17.9, 11.2, 7.9, 7.5, 6.9, 4.8

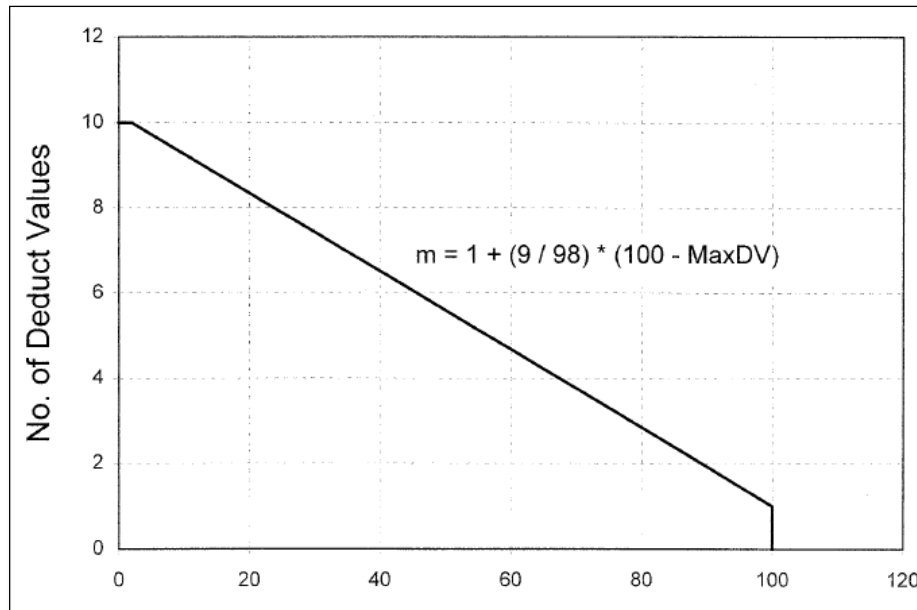


FIGURA 25: Numero de valores permisibles

FUENTE: American Society for Testing and Materials, 2018.

- 4.3. Determinar el número de deducciones permisibles, “m”, del Fig. 26, o empleando la siguiente fórmula (ver Ec. 4):

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) \times 100 - HDV \leq 10 \quad \dots \dots Ec. 4$$

Donde:

m = número máximo admisible de valores deducidos incluyendo fracciones (debe ser menor o igual a diez).

HDV = el mayor valor deducido individual para la unidad de muestra.

(Por ejemplo en la Fig. 25 , $m = 1 + (9/98) (100-25.1) = 7.9 < 8$).

- 4.4. El número de valores deducidos individuales es reducido al máximo admisible de valores deducidos “m”, incluyendo su parte fraccionaria. Por ejemplo en la Tabla 4 , los valores son 24.1, 23.4, 17.9, 11.2, 7.9, 7.5, 6.9 y 4.8 (el valor 4.8 es obtenido multiplicando $(7.9-7) \times 5.3 = 4.77 = 4.8$). Si contamos con un número de valores deducidos menor a “m”, todos los valores deducidos deben ser usados.

TABLA N° 4: *Calculo de valores máximos deducidos*

$$m = 1 + (9/98)(100 - 25.1) = 7.9 < 8$$

Use highest 7 deducts and 0.9 of eighth deduct.

$$0.9 \times 5.3 = 4.8$$

#	Deduct Values								Total	q	CDV
1	25.1	23.4	17.9	11.2	7.9	7.5	6.9	4.8	104.7	8	51.0
2	25.1	23.4	17.9	11.2	7.9	7.5	6.9	2	101.9	7	50.0
3	25.1	23.4	17.9	11.2	7.9	7.5	2	2	96.0	6	46.0
4	25.1	23.4	17.9	11.2	7.9	2	2	2	90.5	5	47.0
5	25.1	23.4	17.9	11.2	2	2	2	2	84.6	4	48.0
6	25.1	23.4	17.9	2	2	2	2	2	75.4	3	48.0
7	25.1	23.4	2	2	2	2	2	2	59.5	2	44.0
8	25.1	2	2	2	2	2	2	2	38.1	1	38.0

FUENTE: *American Society For Testing and Materials, 2018*

- 4.5. Determinar el máximo valor deducido corregido (CDV) en forma iterativa como se muestra en la Tabla 4.
 - 4.5.1. Determinar el valor deducido total (CDT) mediante la suma de los valores deducidos individuales. El valor deducido total que se obtiene de la suma en 4.4 es 104.7.
 - 4.5.2. Determinar q como el número de valores deducidos mayores a 2. Por ejemplo en la Tabla 4, q = 8.
 - 4.5.3. Determinar el valor de CDV a partir del valor deducido total (CDT) y del valor de “q” utilizando las curvas apropiadas de corrección para pavimentos flexibles de la figura 3.3.

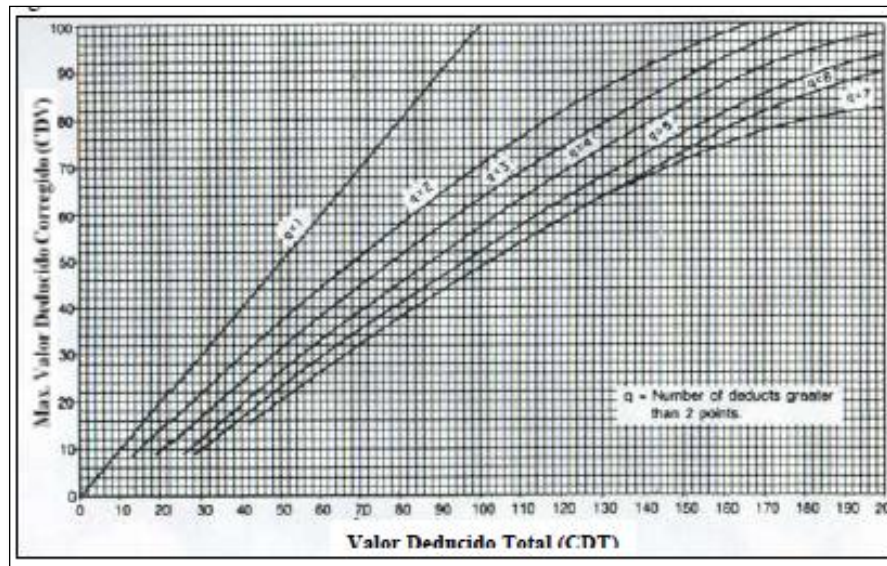


FIGURA 26: Curvas de valores deducidos corrección
FUENTE: American Society For Testing And Materials, 2018

- 4.5.4. Reducir a 2 el menor valor deducido individual mayor que 2 y repetir el procedimiento de 4.5.1 – 4.5.3 hasta que “q” sea igual a 1.
- 4.5.5. El máximo CDV es el mayor de todos los CDVs.
- 4.6. 4.6 Calcular el PCI restándole a 100 el máximo CDV.
- 4.7. 4.7 Determinación del PCI de la sección

Si todas las unidades de muestra inspeccionadas son escogidas en forma aleatoria, entonces el PCI de la sección (PCIs) es calculado como el PCI ponderado del área en que se encuentran las unidades de muestra inspeccionadas en forma aleatoria (PCIr) usando la Ec. 5:

$$• PCI_s = PCIr = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_{ri} \times A_{ri})}{\sum_{i=1}^n A_{ri}} \dots (Ec. 5)$$

Donde:

PCIr = PCI ponderado del área de las unidades de muestra inspeccionadas en forma aleatoria.

PCIr_i = PCI de la unidad de muestra aleatoria “i”.

A_{ri} = área de la unidad de muestra aleatoria “i”.

n = número de unidades de muestra aleatoria inspeccionadas.

Si hay unidades de muestra adicionales que han sido inspeccionadas, el PCI ponderado de área de las unidades adicionales inspeccionadas (PCI_a) es calculado empleando la Ec. 6. El PCI de la sección de pavimento es calculado empleando la Ec. 7.

$$PCI_a = \frac{\sum_{i=1}^m (PCI_{ai} \times A_{ai})}{\sum_{i=1}^m A_{ai}} \dots (Ec. 6)$$

$$PCI_s = \frac{PCI_r(A - \sum_{i=1}^m A_{ai}) + PCI_a(\sum_{i=1}^m A_{ai})}{A} \dots (Ec. 7)$$

Donde:

PCI_a = PCI ponderado del área de las unidades de muestra adicionales.

PCI_{ai} = PCI de la unidad de muestra adicional “i”.

A_{ai} = área de la unidad de muestra adicional “i”.

A = área de la sección.

m = número de unidades de muestra adicionales inspeccionadas.

PCI_s = PCI ponderado del área de la sección de pavimento.

Determinar el grado de condición de la sección en conjunto utilizando el PCI de la sección y la escala del grado de condición.

3.5.6. Criterios de inspección

A continuación se detallan algunos criterios importantes a tomar en cuenta durante la inspección visual que permitirán minimizar errores y aclarar interrogantes acerca de la identificación y medición de algunos tipos de fallas.

1. Si el agrietamiento tipo piel de cocodrilo y ahuellamiento ocurren en la misma área, cada falla es registrada por separado en su correspondiente nivel de severidad.
2. Si la exudación es considerada, entonces el agregado pulido no será tomado en cuenta en la misma área.
3. El agregado pulido debe ser encontrado en cantidades considerables para que la falla sea registrada.
4. Si una fisura no tiene un mismo nivel de severidad en toda su longitud, cada porción de la fisura con diferente nivel de severidad debe ser registrada en forma separada. Sin embargo, si los diferentes niveles de

- severidad en una porción de fisura no pueden ser fácilmente separados, dicha porción debe ser registrada con el mayor nivel de severidad presente.
5. Si alguna falla, incluyendo fisuras o baches, es encontrada en un área parchada, ésta no debe ser registrada; sin embargo, su efecto en el parchado debe ser considerado en determinar el nivel de severidad de dicho parche.
 6. Se dice que una falla está desintegrada si el área que la rodea se encuentra fragmentada (algunas veces hasta el punto de desprendimiento de fragmentos).

3.5.7. Fallas, niveles de severidad y unidad de medida

A continuación se describen los tres niveles de severidad: Low (L), Medium (M) y High (H); correspondiente a cada tipo de falla y que representan los efectos que éstas tienen sobre la calidad del tránsito.

Además, se indica la unidad de medida con la que las fallas deben ser evaluadas durante la inspección visual.

1. Piel de cocodrilo

L – Finas fisuras longitudinales del espesor de un cabello, con recorrido paralelo entre ellas y con algunas o ninguna fisura de interconexión. Las fisuras no están desintegradas. Fig. 27.



FIGURA 27: Nivel de severidad de Piel de Cocodrilo (L)

FUENTE: American Society for Testing And Materials, 2018

M – Continuación del desarrollo de las fisuras de piel de cocodrilo, finas, en un patrón o red de fisuras que podrían estar ligeramente desintegradas. Fig. 28



FIGURA 28: *Severidad Media de Piel de Cocodrilo (M)*
FUENTE: *American Society for Testing and Materials, 2018*

H – El patrón o red de fisuras muestra un progreso tal que las piezas que conforman la piel de cocodrilo están bien definidas y descascaradas en los bordes. Algunas de las piezas podrían oscilar o moverse bajo tráfico. Fig. 29



FIGURA 29: *Severidad Alta de Piel de Cocodrilo (H)*
FUENTE: *American Society for Testing and Materials, 2018*

Unidad de medida – La piel de cocodrilo es medida en metros cuadrados. Si hay presencia de dos o tres niveles de severidad en una misma área de falla éstas porciones deben ser medidas y registradas por separado; sin embargo, si los diferentes niveles de severidad no pueden ser divididos fácilmente, la totalidad del área debe ser calificada con el mayor nivel de severidad presente.

2. Exudación.

L – La exudación sólo ha ocurrido a un nivel muy ligero y es percibida sólo durante algunos días al año. El asfalto no se pega a los zapatos o llantas de los vehículos. Fig. 30



FIGURA 30: *Bajo nivel de Severidad de Exudación (L)*
FUENTE: *American Society for Testing and Materials, 2018*

M – La exudación ha ocurrido llegando al punto en que el asfalto se pega a los zapatos o a las llantas de los vehículos sólo durante algunas semanas en el año, Fig 31.



FIGURA 31: *Severidad Medio de Exudación (M)*
FUENTE: *American Society for Testing and Materials, 2018*

H – La exudación ha ocurrido en forma extensiva y una cantidad considerable de asfalto se pega a los zapatos y llantas de los vehículos al menos durante varias semanas al año. Fig. 32



FIGURA 32: Severidad Alta (H) de Exudación.

FUENTE: American Society for Testing and Materials, 2018

Unidad de medida – La exudación es medida en metros cuadrados.

3. Fisuras en bloque.

L – Los bloques están definidos por fisuras de baja severidad.Fig.33



FIGURA 33: Severidad Baja de Fisuras por Bloques(L)

FUENTE: American society for testing and materials, 2018

M – Los bloques están definidos por fisuras de mediana severidad.Fig.34



FIGURA 34: Severidad Media de Fisuras en Bloque (M)

FUENTE: American society for testing and materials, 2018

H – Los bloques están definidos por fisuras de alta severidad.



FIGURA 35: Severidad Alta de Fisuras en Bloque(H)

FUENTE: American society for testing and materials, 2018

Unidad de medida – Las fisuras en bloque son medidas en metros cuadrados. Esta falla generalmente ocurre en un sólo nivel de severidad por sección de pavimento; sin embargo, si áreas con distintos niveles de severidad pueden ser distinguidas fácilmente, entonces dichas áreas deben ser medidas y registradas en forma separada.

4. Abultamientos y hundimientos

L – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de baja severidad, es decir, que se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo al pasar sobre el área fallada, pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o

comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote ligeramente, pero causa poca incomodidad.



FIGURA 36: Severidad Bajo (L) en Abultamientos y Hundimientos
FUENTE: American society for testing and materials, 2018

M – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, que se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo al pasar sobre la zona afectada y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad. Los abultamientos hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote significativamente, creando algo de incomodidad.



FIGURA 37: Severidad Medio(M) en Abultamientos y Hundimientos
FUENTE: American society for testing and materials, 2018

H – Los abultamientos o hundimientos producen una calidad de tránsito de alta severidad.

Las vibraciones del vehículo son tan excesivas que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad. Los abultamientos o hundimientos individualmente, o ambos, hacen que el vehículo rebote excesivamente, creando mucha incomodidad, peligrando la seguridad o un alto potencial de daño severo en el vehículo.

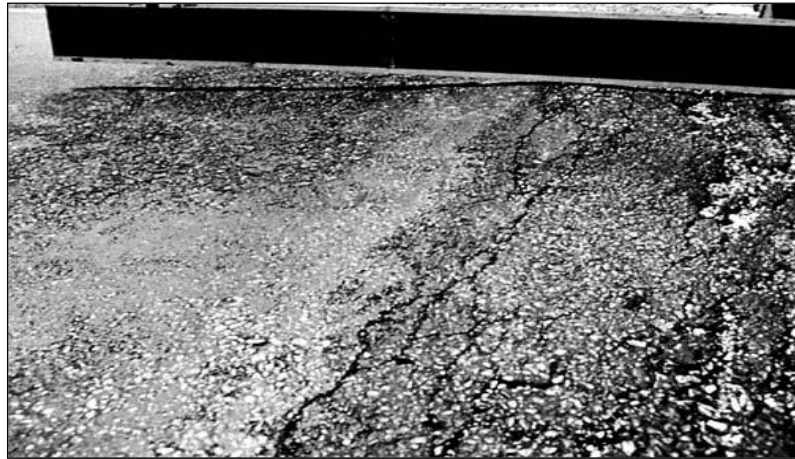


FIGURA 38: Severidad Alto (H) en Abultamientos y Hundimientos
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Unidad de medida – Los abultamientos y hundimientos son medidos en metros lineales.

Si un abultamiento ocurre en combinación con una fisura, la fisura también es registrada.

5. Corrugación

L – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de baja severidad, como ya se vio en la falla anterior, se perciben ciertas vibraciones dentro del vehículo de inspección, pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad.



FIGURA 39: Severidad Bajo (L) Corrugación.

FUENTE: American society for testing and materials, 2018

M – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de mediana severidad, es decir, se perciben vibraciones significativas dentro del vehículo y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad.



FIGURA 40: Severidad Media (M) Corrugación.

FUENTE: American society for testing and materials, 2018)

H – Las corrugaciones producen una calidad de tránsito de alta severidad. Se perciben vibraciones excesivas dentro del vehículo, por lo que es necesario reducir la velocidad considerablemente por seguridad y comodidad.



FIGURA 41: Severidad Alto (H) Corrugación.

FUENTE: American society for testing and materials, 2018)

Unidad de medida – La corrugación es medida en metros cuadrados.

6. Depresión

L – La depresión tiene una altura que varía de 13 a 25 mm.



FIGURA 42: Severidad Bajo (L) de Depresión.

FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

M – La altura deprimida tiene un rango de 25 a 50 mm.



FIGURA 43: Severidad Medio (M) de Depresión.

FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

H – La depresión tiene más de 50 mm.

Unidad de medida – Las depresiones son medidas en metros cuadrados.



FIGURA 44: Severidad Alto (H) de Depresiones.

FUENTE: American society for testing and materials, 2018

7. Fisura de borde

L – Se da un bajo o mediano fisuramiento sin fragmentación o desprendimiento.



FIGURA 45: Severidad Bajo (L) de Fisura de Borde
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

M – Se aprecia un mediano fisuramiento con alguna fragmentación o desprendimiento.



FIGURA 46: Severidad Medio (M) de Fisura de Borde.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

H – Existe una desintegración considerable a lo largo del borde.



FIGURA 47: Severidad Alto (H) de Fisura de Borde.

FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Unidad de medida – Las fisuras de borde son medidas en metros lineales.

8. Fisura de reflexión de junta (de losas de concreto longitudinales o transversales)

L – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno se encuentra en buenas condiciones).



FIGURA 48: Severidad Bajo (L) de Fisuras de Reflexión de Junta.

FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm

rodeada de fisuras de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad.



FIGURA 49: Severidad Media (M) de fisuras de reflexión de junta.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno rodeada de fisuras de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está desprendido o fracturado.

Unidad de medida – Las fisuras de reflexión de junta son medidas en metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura debe ser identificada y registrada por separado.

Si se presenta un abultamiento en la fisura de reflexión, éste también debe ser registrado.



FIGURA 50: Severidad Alto (H) de Fisuras de Reflexión de Junta
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Unidad de medida – Las fisuras de reflexión de junta son medidas en metros lineales. La longitud y nivel de severidad de cada fisura debe ser identificada y registrada por separado.

Si se presenta un abultamiento en la fisura de reflexión, éste también debe ser registrado.

9. Desnivel carril - berma

L – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 25mm y menor a 50 mm.



FIGURA 51: Severidad Bajo (L) Desnivel Carril-Berma.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

M – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 50mm y menor a 100 mm.



FIGURA 52: Severidad Medio (M) Desnivel Carril-Berma.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

H – La diferencia entre las elevaciones del pavimento y la berma es mayor a 100 mm.

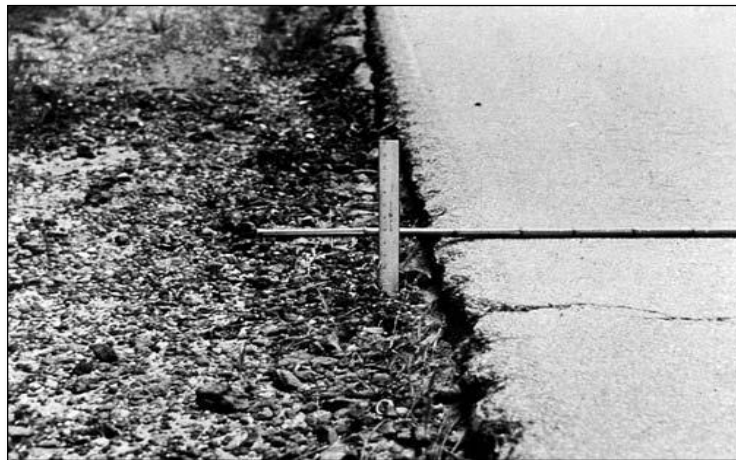


FIGURA 53: Severidad Alto (H) Desnivel Carril-Berma.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Unidad de medida – El desnivel carril-berma es medido en metros lineales.

10. Fisuras longitudinales y transversales

L – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho menor a 10 mm; b) fisura con relleno de cualquier ancho (el material de relleno está en buenas condiciones).

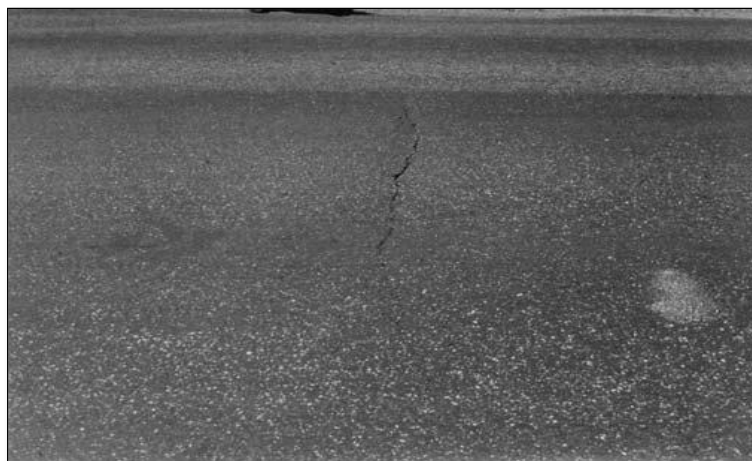


FIGURA 54: Severidad Bajo (L) Fisuras Longitudinales y Transversales
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura sin relleno de ancho mayor o igual a 10 mm y menor a 75 mm; b) fisura sin relleno menor o igual a 75 mm rodeada de fisuras en forma aleatoria, de baja severidad; c) fisura con relleno de cualquier ancho rodeada de fisuras de baja severidad y en forma aleatoria.



FIGURA 55: Severidad Medio (M) Fisuras Longitudinales y Transversales
FUENTE: American society for testing and materials, 2018)

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) fisura con o sin relleno, rodeada de fisuras en forma aleatoria, de mediana o alta severidad; b) fisura sin relleno de ancho mayor a 75 mm; c) fisura de cualquier ancho donde aproximadamente 100 mm del pavimento que la rodea está severamente fracturado.



FIGURA 56: Severidad Alto (H) Fisuras Longitudinales y Transversales
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Unidad de medida – Las fisuras longitudinales y transversales con medidas en metros lineales. Si la fisura no tiene el mismo nivel de severidad en toda su longitud, cada porción de la fisura con distinto nivel de severidad debe ser registrada por separado.

11. Parches y parches de cortes utilitarios.

L – El parche se encuentra en buenas condiciones y la calidad de tránsito es de baja severidad.



FIGURA 57: Severidad Bajo (L) de Parches y Cortes Utilitarios.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

M – El parche está deteriorado en forma moderada, la calidad de tránsito es calificada como de mediana severidad.



FIGURA 58: Severidad Medio (M) de Parches y Cortes Utilitarios.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

H – El parche se encuentra muy deteriorado y la calidad de tránsito es de alta severidad.



FIGURA 59: Severidad Alto (H) de Parches y Cortes Utilitarios.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Unidad de medida – Los parches son medidos en metros cuadrados. Si un mismo parche tiene áreas con diferentes niveles de severidad, éstas áreas deben ser medidas y registradas por separado.

Cualquier tipo de falla encontrada en el parche no debe ser registrada; sin embargo, su efecto en el parche será considerado para determinar su nivel de severidad.

12. Agregado pulido.

No hay niveles de severidad definidos para este tipo de falla. El agregado pulido debe ser claramente notable en la unidad de muestra, y la superficie de agregado debe ser suave al tacto.



FIGURA 60: Agregado Pulido.

FUENTE: american society for testing and materials, 2018.

Unidad de medida – El agregado pulido es medido en metros cuadrados. Si se registra exudación, entonces el agregado pulido ya no debe ser registrado.

13. Baches.

Los niveles de severidad para baches menores a 750 mm de diámetro están determinados de acuerdo a la tabla N° 5 y en la figura N°:61 se puede apreciar un bache de severidad baja (L).

PROFUNDIDAD MAXIMA DE BACHES	DIAMETRO PROMEDIO(mm)		
	100 a 200mm (4-8in)	200a 450mm (8-18in)	450 a 750mm (18-30in)
13 a ≤25mm (1/2 a 1in)	L	L	M
13 a ≤25mm (1/2 a 1in)	L	M	H
>25mm (2 in)	M	M	H

TABLA N° 5 : Nivel de Severidad para baches menor a 750mm

FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Si el bache tiene un diámetro mayor a 750 mm, el área debe ser determinada en metros cuadrados y dividida entre 0.5 m² para hallar el número equivalente de baches. Si la profundidad es menor o igual a 25 mm los baches son considerados de mediana severidad (Figura 62) ,en cambio, si la profundidad es mayor a 25 mm, los baches son de alta severidad(Figura 63).



FIGURA 61: Severidad Bajo (L) de Parches
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.



FIGURA 62: Severidad Medio (M) de Parches
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.



FIGURA 63: Severidad Alto (H) de Parches.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

14. Ahuellamiento

L – La depresión superficial, causada por las ruedas de los vehículos, varía entre 6 y 13 mm, (Figura 64).

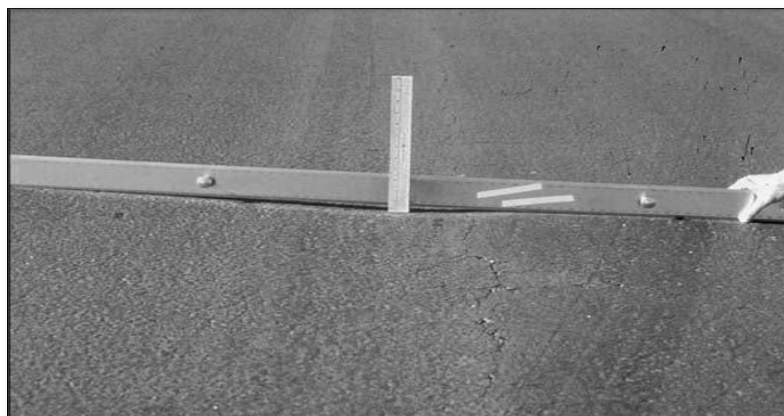


FIGURA 64: Severidad Bajo (L) de Ahuellamiento.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

M – La depresión va entre 13 y 25 mm (Figura 65).



FIGURA 65: Severidad Medio (M) de Ahuellamiento.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

H – La depresión es mayor a 25 mm. Ver figura 66.



FIGURA 66: Severidad Alto (H) de Ahuellamiento.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Unidad de medida – El ahuellamiento es medido en metros cuadrados.

15. Desplazamiento

L –El desplazamiento genera una calidad de tránsito de baja severidad (Fig. 67).



FIGURA 67: Severidad Baja(L) de Desplazamiento.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

M – El desplazamiento genera una calidad de tránsito de mediana severidad (Fig. 68).



FIGURA 68: Severidad Media (M) de Desplazamiento.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

H – El desplazamiento genera una calidad de tránsito de alta severidad (Fig. 69)



FIGURA 69: Severidad Alta (H) de Desplazamiento.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Unidad de medida – Los desplazamientos son medidos en metros cuadrados. Los desplazamientos que ocurren en parches son considerados para calificar los mismos y no se toman en cuenta como fallas por separado.

16. Fisura parabólica o por deslizamiento.

L – El ancho promedio de la fisura es menor a 10 mm (Fig.70).



FIGURA 70: Sev. Baja (L) de Fisuras Parabólicas por Deslizamiento
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

M – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es ≥ 10 y < 40 mm; b) el área que rodea la fisura está descascarada en forma moderada, o rodeada de otras fisuras(Fig. 71)



FIGURA 71: Sev. Medio (M) de Fisuras Parabólicas por Deslizamiento
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

H – Se cumple una de las siguientes condiciones: a) el ancho promedio de la fisura es > 40 mm; b) el área que rodea la fisura está fracturada en pequeñas piezas removidas(Fig.72).

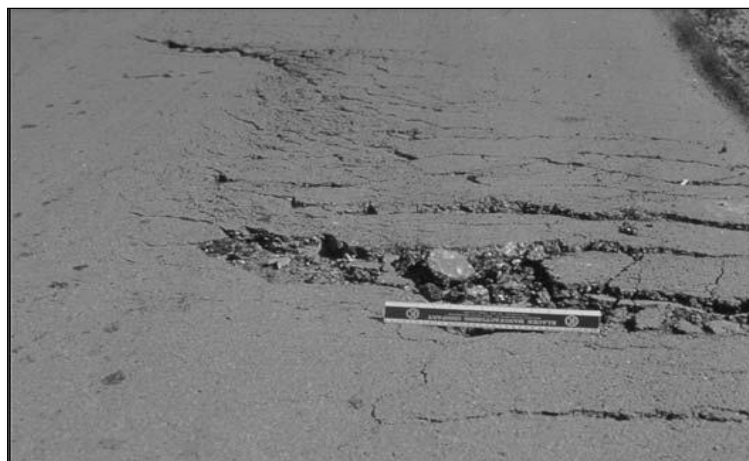


FIGURA 72: Severidad Alta(H) de Fisuras Parabólicas
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Unidad de medida – Las fisuras parabólicas o por deslizamiento son medidas en metros cuadrados y calificadas de acuerdo al mayor nivel de severidad presente en el área.

17. Hinchamiento

L – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad baja.

M – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad mediana.

H – Cuando el hinchamiento causa una calidad de tránsito de severidad alta.

Fig. 73



FIGURA 73: Hinchamiento.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Unidad de medida –El área de hinchamiento es medido en metros cuadrados.

18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados.

L – El agregado o el ligante ha comenzado a desprenderse. En algunas áreas de la pista se aprecian huecos. En el caso de derrames, las manchas de aceite son visibles, pero la superficie está dura y no puede ser penetrada con una moneda(Fig.74).

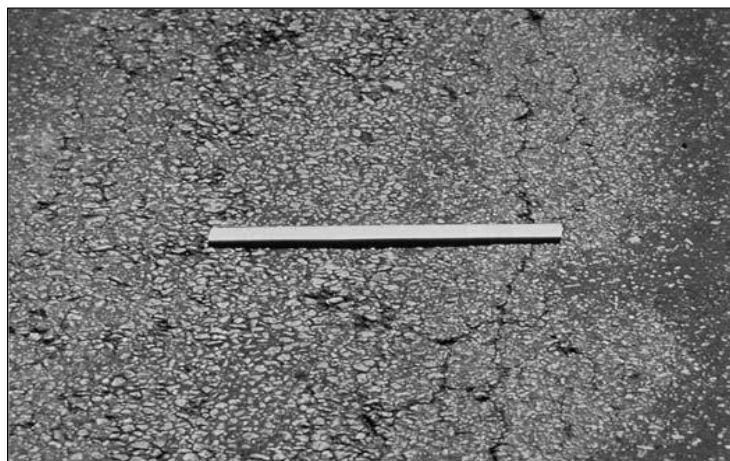


FIGURA 74: Severidad Bajo(L) de Peladura por Intemperismo.

FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

M – Se han desprendido los agregados o el ligante. La textura en la superficie es moderadamente rugosa y presenta pequeños huecos. En el caso de derrames de aceite, la superficie es suave y puede ser penetrada con una moneda(Fig.



FIGURA 75: Severidad Medio (M) de Peladura por Intemperismo

FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

H – El desprendimiento del ligante y el agregado es considerable. La textura de la superficie es muy rugosa y está severamente ahuecada. Las áreas ahuecadas son menores a 10 mm en diámetro y menores a 13mm en profundidad; las áreas ahuecadas mayores que éstas son consideradas como fallas tipo baches. Para el caso de los

derrames de aceite, el ligante asfáltico ha perdido su efecto de liga y el agregado ha comenzado a perderse. Fig.76



FIGURA 76: Severidad Alta (H) de Peladura por Intemperismo
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Unidad de medida –Las peladuras y desprendimientos son medidos en metros cuadrados.

19. Cruce de Vía Férrea.

Descripción: Los defectos asociados al cruce de vía férrea son depresiones o abultamientos alrededor o entre los rieles.

Niveles de severidad.

L: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de baja severidad. Fig. 77



FIGURA 77: Severidad Baja (L) Cruce de Vía Férrea
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

M: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad media.



FIGURA 78: Severidad Media(M) Cruce de Vía Férrea
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

H: El cruce de vía férrea produce calidad de tránsito de severidad alta.



FIGURA 79: Severidad Alta (H) Cruce de Vía Férrea.
FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Medida.

El área del cruce se mide en metros cuadrados ó pie cuadrado de área afectada. Si el cruce no afecta la calidad de tránsito, entonces no debe registrarse. Cualquier abultamiento considerable causado por los rieles debe registrarse como parte del cruce.

Opciones de reparación.

L: No se hace nada.

M: Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.

H: Parcheo superficial o parcial de la aproximación. Reconstrucción del cruce.

3.6. MANUAL DE CARRETERAS – MANTENIMIENTO O CONSERVACIÓN VIAL, 2014

3.6.1. Niveles de servicio.

Los niveles de servicio son indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural y de seguridad. Los indicadores son propios a cada vía y varían de acuerdo a factores técnicos y económicos dentro de un esquema general de satisfacción del usuario (comodidad, oportunidad, seguridad y economía) y rentabilidad de los recursos disponibles.

En la conservación vial por niveles de servicio el trabajo se realiza para cumplir los estándares admisibles y no por el volumen de trabajo ejecutado. Es obligación del ejecutor de la conservación vial tener la carretera en perfectas condiciones los 365 días del año, en tal sentido el criterio de pago es el buen estado de las vías, de esta manera se asegura la preservación del buen estado de las vías.

Para la medición o determinación de los niveles de servicio, en los cuadros siguientes se presentan las exigencias de niveles de servicio por tipo de vía y por los siguientes componentes: (PERU, 2014)

1. Plataforma y Taludes
2. Calzada de Afirmado
3. Pavimentos Flexibles Calzada y Berma
4. Pavimentos Rígidos Calzada y Berma
5. Drenaje Superficial, Drenaje Subterráneo y Muros
6. Señalización y Dispositivos de Seguridad Vial
7. Derecho de Vía
8. Túneles y Obras Complementarias
9. Puentes

3.6.2. PARA LA CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES – CALZADA Y BERMA.

Niveles de servicio para: calzada (Tratamiento Superficial).

TABLA N° 6: Niveles de Servicios para: Calzadas (Tratamiento Superficial).

Parámetro		Nivel de Servicio					
		Tipo de Vía					
		Autopista 1ra clase	Autopista 2da clase	Carretera 1ra clase	Segunda Clase	Tercera Clase	Bajo Volumen de Tránsito Pavimentado
Medida	IMD >6000 (*)	6000<IMD<4001 (*)	4000<IMD<2001 (*)	2000<IMD<401 (*)	400<IMD< 201 (*)	IMD ≤ 200	
Piel de Cocodrilo	Porcentaje máximo de área con piel de cocodrilo	.	.	.	.	.	0%
Fisuras Longitudinales	Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3 mm de grosor	.	.	.	.	.	0%
	Porcentaje máximo de área con fisuras entre 1 y 3 mm de grosor	.	.	.	.	.	5%
Deformación por deficiencia estructural	Porcentaje máximo de área con hundimientos mayores que 25 mm.	.	.	.	.	.	0%
Ahuellamiento	Porcentaje máximo de área con ahuellamiento mayor que 12 mm.	.	.	.	.	.	5%
Reparaciones o parchados	Porcentaje máximo de parches en mal estado	.	.	.	.	.	0%
Peladura y Desprendimiento	Porcentaje máximo de áreas con peladuras	.	.	.	.	.	5%
	Porcentaje máximo de áreas con desprendimiento	.	.	.	.	.	0%
Baches (Huecos)	Porcentaje máximo de área con Baches (huecos)	.	.	.	.	.	0%
Fisuras Transversales	Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3 mm de grosor	.	.	.	.	.	0%
	Porcentaje máximo de área con fisuras entre 1 y 3 mm de grosor	.	.	.	.	.	5%
Exudación	Porcentaje máximo de área con exudación	.	.	.	.	.	5%
Desprendimiento de bordes	Porcentaje máximo de longitud con desprendimiento de bordes	.	.	.	.	.	5%
Rugosidad Obra Nueva	Rugosidad característica del tramo (TSB nuevo)	.	.	.	.	.	3.0 IRlc(1)
Rugosidad Obra con Recapa Asfáltica	Rugosidad característica del tramo (TSB con Recapa Asfáltica)	.	.	.	.	.	3.5IRlc(1)
Rugosidad Periodo de Servicio	Rugosidad característica del tramo (TSB Periodo de Servicio)	.	.	.	.	.	4.3IRlc(1)
Fricción Superficial	Coefficiente de fricción medido en pavimento mojado	.	.	.	.	.	No menor de 0.50

(*)De acuerdo al Manual de Suelos y Pavimentos del MTC las superficies de rodadura con Tratamiento Superficial se aplican en caminos con $IMD \leq 200$ no obstante en caso de presentarse Tratamientos Superficiales en Caminos con $IMD > 200$ vehículos, los niveles de servicio serán los que determine la Entidad encargada de la Conservación Vial.

(1) IRlc característico (IRlc), a la confiabilidad de 70%

$IRlc = IRlp + 0.524 \times ds$

$IRlp = IRI$ promedio

$ds =$ desviación estándar

Fuente: Elaboración Propia, en base a Contratos de Concesión Vial, Contratos por Niveles de Servicio, Tabla de parámetros globales del HDM4, Manual de Suelos y Pavimentos del MTC

FUENTE: Manual de Carreteras – Mantenimiento o Conservación Vial del MTC.

3.6.3. Estudio de tráfico

Se considera de primordial importancia al número y cargas por eje en un período de tiempo determinado. Las cargas por eje varían típicamente de ligeras [menos de 2,000 Ib (908 kg)] a pesadas (más allá de los límites legales). Las investigaciones han demostrado que es posible representar el efecto de cualquier eje cargado con cualquier masa, sobre el comportamiento de un pavimento, por medio del número de aplicaciones de carga por eje simple, equivalentes a 18,000 Ib (8165 kg), ESAL (Equivalent Single Axle Load ó Carga Por Eje Equivalente). Por ejemplo, una aplicación de un eje simple de 20,000 Ib (9072 kg) es igual a 1.5 aplicaciones de un eje simple de 18,000 Ib (8165 kg). Al contrario, se requieren casi cuatro aplicaciones de un eje de 13,000 Ib (5897 kg) para igualar una aplicación del eje simple de 18,000 Ib (8.2 tn). (ALAVE AGUILAR, 2013)

El procedimiento para el análisis del tráfico presentado incorpora el concepto de cargas por eje simple de 18,000 Ib (8.2 tn). Por consiguiente, se requiere conocer el número de vehículos, o el número y la masa de las cargas por eje, esperados en la carretera. (ALAVE AGUILAR, 2013)

La mayor parte de los estados de los Estados Unidos, en colaboración con la U.S. Federal Highway Administration (FHWA o Administración Federal de Carreteras), recolectan estos datos cada uno o dos años. Los datos de los pesos de camiones y del corneo vehicular están normalmente disponibles en los departamentos locales de carreteras. Muchos otros países también coleccionan éste tipo de información.

3.6.4. ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DE TRÁFICO

La estimación de los volúmenes de tráfico inicial y futuro para el diseño estructural de pavimentos, requiere de un estudio y análisis exhaustivos.

Se presentan los elementos necesarios para cuantificar el tránsito, así como la metodología para calcular el número de aplicaciones de una carga patrón equivalente que utilizara el pavimento durante la vida de este.

Período de Análisis

Para comparar las diferentes alternativas de diseño es preciso seleccionar un período de tiempo para el análisis de las mismas, esto se conoce como el Período de Análisis.

Clasificación y Número de Camiones

El procedimiento de análisis del tráfico usado, requiere un estimado del número de vehículos de los diferentes tipos, tales como automóviles, buses, camiones simples y camiones remolque de diferentes tipos, que se prevean en la vía propuesta. Y esa información deberá estar disponible para su empleo en el diseño estructural de pavimentos.

Se recomienda el uso de la información de tráfico local, sin embargo, el tráfico local está sujeto a variaciones y por lo tanto deben tomarse precauciones en la recolección y análisis de datos.

3.6.5. ÍNDICE MEDIO DIARIO

Es el promedio del número de vehículos que pasan por un punto durante un período de tiempo. Según el período de análisis para medir el volumen, podrá ser índice medio diario anual (IMDA), índice medio diario mensual (IMDM) o índice medio diario semanal (IMDS).

3.6.6. ESTIMACIÓN DEL ESAL

El tránsito proveniente del conteo vehicular debe ser dividido para el carril de diseño. El volumen de tránsito del carril de diseño, se convierte a un determinado número de ESAL (Equivalent Single Axle Load ó Carga Por Eje Equivalente), que es el parámetro usado en el diseño de la estructura del pavimento. El ESAL es un eje estándar compuesto por un eje sencillo con dos ruedas en los extremos.

El ESAL pesa 18,000 lb (8.2 tn), y se considera que ejerce un efecto dañino sobre el pavimento como 1. (MINAYA GONZÁLES , 2006)

3.6.7. FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA (FEC).

Con el objeto de evaluar el efecto dañino, en un pavimento flexible, de las cargas diferentes a un eje estándar, se han considerado los factores de equivalencia de carga por eje.

Estos valores se obtuvieron a partir de los resultados experimentales de la AASHTO Road Test (Prueba de Carretera).

Los resultados obtenidos han permitido determinar que la equivalencia entre cargas diferentes transmitidas al pavimento por el mismo sistema de ruedas y ejes, se expresa como:

$$FEC = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^4$$

Dónde:

P₀: Es la carga estándar.

P₁: Es la carga cuya equivalencia de daño se desea calcular.

En la tabla 5 se muestran los factores de equivalencia de carga publicada en la Guía AASHTO 1986.

TABLA N° 7: Factores de Equivalencia de Carga

Carga Bruta Por Eje		Factores de Equivalencia de Carga		
KN	lb	Ejes	Ejes	Ejes
		Simples	Tandem	Tridem
4.45	1,000	0.00002		
8.9	2,000	0.00018		
17.8	4,000	0.00209	0.0003	
26.7	6,000	0.01043	0.001	0.0003
35.6	8,000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10,000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12,000	0.189	0.014	0.003
62.3	14,000	0.36	0.027	0.006
71.2	16,000	0.623	0.047	0.011
80	18,000	1	0.077	0.017
89	20,000	1.51	0.121	0.027
97.9	22,000	2.18	0.18	0.04
106.8	24,000	3.03	0.26	0.057
115.6	26,000	4.09	0.364	0.08
124.5	28,000	5.39	0.495	0.109
133.4	30,000	6.97	0.658	0.145
142.3	32,000	8.88	0.857	0.191
151.2	34,000	11.18	1.095	0.246
160.1	36,000	13.93	1.38	0.313
169	38,000	17.2	1.7	0.393
178	40,000	21.08	2.08	0.487
187	42,000	25.64	2.51	0.597
195.7	44,000	31	3	0.723
204.5	46,000	37.24	3.55	0.868
213.5	48,000	44.5	4.17	1.033
222.4	50,000	52.88	4.86	1.22
231.3	52,000		5.63	1.43
240.2	54,000		6.47	1.66
249	56,000		7.41	1.91
258	58,000		8.45	2.2
267	60,000		9.59	2.51
275.8	62,000		10.84	2.85
284.5	64,000		12.22	3.22
293.5	66,000		13.73	3.62
302.5	68,000		15.38	4.05
311.5	70,000		17.19	4.52
320	72,000		19.16	5.03
329	74,000		21.32	5.57
338	76,000		23.66	6.15
347	78,000		26.22	6.78
356	80,000		29	7.45
364.7	82,000		32	8.2
373.6	84,000		35.3	8.9
382.5	86,000		38.8	9.8
391.4	88,000		42.6	10.6
400.3	90,000		46.8	11.6

FUENTE: Guía AASHTO, 1986

3.6.8. FACTOR CAMIÓN (FC).

Se entiende por factor camión al número de aplicaciones de ejes estándar de 80 kN (8.2 tn), Correspondiente al paso de un vehículo. El factor camión se puede obtener

por pesaje. El pesaje es un método costoso para proyectos pequeños; por lo tanto, cuando se deba efectuar el diseño para un tramo de vía en la cual no se tengan datos sobre el pesaje quedan dos alternativas:

Asumir el F.C. conocido de una vía cuyas características sean similares.

Estimar el F.C. por algún método empírico.

También se puede emplear el Reglamento Nacional con D.S. N° 058-2003-MTC; específicamente en el anexo IV, donde se desarrolla las dimensiones y pesos por eje de vehículos pesados; los autos o vehículos ligeros no se incorporan en la mencionada norma, porque el paso de un vehículo ligero ejerce un daño no significativo en el pavimento.

TABLA N° 8: Tabla de Pesos y medidas

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos	Long. Máx (m)	Eje Delant	Peso Máximo (t) Conjunto de Ejes Posteriores				Peso Bruto Max. (t)
				1º	2º	3º	4º	
C2		12,30	7	11	-	-	-	18
C3		13,20	7	18	-	-	-	25
T2S2		20,50	7	11	18	-	-	36
T3S3		20,50	7	18	25	-	-	48 ⁽¹⁾
C3R2		23,00	7	18	11	11	-	47
C3R4		23,00	7	18	18	18	-	48 ⁽¹⁾
B2		13,20	7	11	-	-	-	18
B3-1		14,00	7	16	-	-	-	23

(1) Vehículos con facilidad de distribución de peso por ejes

FUENTE: DS: 058-2003-MTC, 2003

3.7. REGULARIDAD.

La regularidad es una distorsión de la superficie del pavimento que trae como consecuencia una transitabilidad indeseable, insegura y/o antieconómica.

Se define como las irregularidades en la superficie del pavimento que afectan adversamente a la calidad de rodado, seguridad y costos de manutención y operación del vehículo. La regularidad tiene el mayor efecto en la evaluación de los usuarios que califican la calidad de rodado. (ALAVE AGUILAR, 2013)

La regularidad de un pavimento es el parámetro que relaciona la magnitud y frecuencia de sus irregularidades superficiales o altimétricas, con la comodidad o confort al transitar sobre él. Contrariamente a la percepción general, la regularidad no tiene relación con la textura, apariencia o acabado superficial de la capa de rodadura, sino más bien con las deformaciones que inciden en su perfil topográfico, como son las ondulaciones; los hundimientos, los ahuellamientos y los baches. Los fisuramientos tienen poca o ninguna incidencia en los resultados de regularidad. (ALAVE AGUILAR, 2013)

La American Society for Testing and Materials (ASTM E867) define a la regularidad como las desviaciones de una superficie de pavimento desde una superficie plana verdadera con características que afectan la dinámica del vehículo, calidad de viaje, cargas dinámicas y drenaje, por ejemplo el perfil longitudinal y perfil transversal.

3.7.1. ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

La unidad de medición de regularidad que se emplea es el IRI, acrónimo para International Roughness Index (Índice de Regularidad Internacional), parámetro desarrollado por el Banco Mundial durante el Internacional Road Roughness Experiment para definir la regularidad de un pavimento, trabajo llevado a cabo en Brasil en 1982, como respuesta a la proliferación de instrumentos de medición de la regularidad y a las dificultades cada vez crecientes por correlacionar sus resultados.

El IRI es un indicador estadístico de la irregularidad superficial del pavimento de una vía. El perfil real de una vía recién construida representa un estado definido por su IRI inicial; una vez puesta en servicio, la regularidad del pavimento se modifica lentamente en función del paso del tránsito, evolucionando hacia valores más elevados del IRI. (ALAVE AGUILAR, 2013)

Paterson W.D., define el IRI como; “El IRI resume matemáticamente el perfil longitudinal de la superficie del camino en una huella, representando las vibraciones inducidas por la regularidad de la vía; está definido por el valor de referencia de la pendiente promedio rectificadas (RARS80, Reference Average Rectified Slope, razón

entre el movimiento acumulado de la suspensión y la distancia recorrida) producto de la simulación del modelo del cuarto de carro, (RQCS, Reference Quarter Car Simulation). Es calculado a partir de la superficie medidas mediante un levantamiento topográfico o perfilometría”. (ALAVE AGUILAR, 2013)

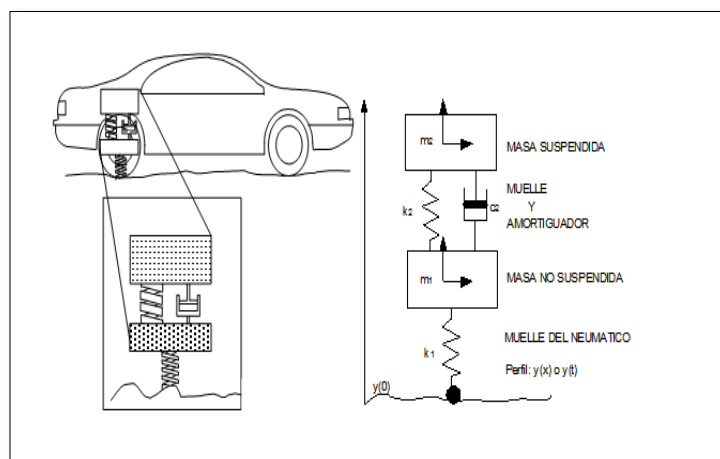


FIGURA 80: modelo de cuarto de carro
FUENTE: ALAVE AGUILAR, 2013

El índice normalizado IRI es la sumatoria en valor absoluto de los desplazamientos verticales para un intervalo de distancia dividido por la longitud del intervalo; así el valor m/km (metros verticales acumulados por la suspensión por kilómetro viajado) es la medida final de la regularidad.

Las consideraciones más importantes sobre el IRI son:

- ✓ Su principal ventaja reside en que el IRI es un modelo matemático cuyo resultado es independiente de la técnica o equipo con el que se haya obtenido el perfil.
- ✓ Para el cálculo del IRI es importante de considerar la representatividad de las ordenadas que se introducen, es decir, la confiabilidad de la técnica o equipo con el que se obtiene el perfil y la frecuencia del muestreo del mismo.
- ✓ La precisión de los equipos de medida de la irregularidad superficial es uno de los temas más delicados y complejos de decidir y valorar.

El IRI es reproducible, portátil y estable con el tiempo, por ser el primer índice de perfil ampliamente usado donde el método de análisis es requerido para trabajar en diferentes tipos de rugosímetros. Las ecuaciones de análisis fueron desarrolladas y

probadas para minimizar los efectos de algunos parámetros de medida tal como es el intervalo de muestra, el IRI es un indicador de la condición general del pavimento.

La escala IRI es linealmente proporcional a la regularidad, si a todos los valores de elevación en un perfil medido son incrementados por algún porcentaje, entonces el IRI aumenta exactamente en el mismo porcentaje. Un IRI de 0.0 significa que el perfil es absolutamente liso. No existe un límite teórico superior para la regularidad, aunque los pavimentos con valores de IRI mayores a 8 m/km son casi intransitables excepto a velocidades reducidas.

3.7.2. ESCALA DE REGULARIDAD.

El documento Técnico No 46 del Banco Mundial muestra la Escala de Regularidad para diferentes tipos de carreteras.

En la siguiente tabla se muestra los diferentes valores de IRI (m/km) utilizados por algunos países para clasificar el grado de confort de las vías pavimentadas.

TABLA N° 9: Comparación de valores IRI utilizados en Peru y otros países .

PAIS	ESTADO DEL PAVIMENTO		
	BUENO	REGULAR	MALO
EE.UU	< 2.4	2.4-4.7	>4.7
CHILE	0 -3.0	3.0-4.0	>4.0
HONDURAS	< 3.5	3.5-6.0	>6.0
URUGUAY	< 3.9	4.0-6.0	>4.6
PERÚ	< 2.5	2.5-4.5	>4.5

FUENTE: Ventura, J. Alvarenga E. Determinación del IRI.

Para el caso de nuestro país, la primera especificación técnica para el control de regularidad de pavimentos rehabilitados se estableció en junio de 1993 por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, para el proyecto de rehabilitación de la carretera Panamericana Sur, Sector desvío Moquegua-Tacna.

Las recomendaciones de regularidad actuales están dadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través de las “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras” (EG-2013), en el inciso 418.15 (c)(3) que indica “Se entenderá que la superficie del pavimento tiene una rugosidad aceptable, si el promedio

por km o fracción tienen un valor de IRI igual o inferior a 2,5 m/km, salvo que la especificación particular establezca un límite diferente”.

Asimismo el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, sección Suelos y pavimentos; en donde nos indica “Para la rugosidad inicial de un pavimento nuevo y de un pavimento existente reforzado, asimismo para la rugosidad durante el periodo de servicio, se recomienda los siguientes valores”:

TABLA N° 10: Rugosidad IRI(m/Km) Según el Tipo de Carretera

Tipo de Carretera	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Nuevo IRI (m/km)	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Reforzado IRI (m/km)	Rugosidad Característica Durante el Periodo de Servicio IRI (m/km)	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una Confiabilidad de 85%

FUENTE: Manual de suelos y geología del MTC 2013.

3.8. INVENTARIO DE CONDICIÓN.

3.8.1. PAVIMENTO FLEXIBLE – CALZADA Y BERMA CALZADA –TIPO DE DETERIOROS /FALLAS Y NIVELES DE GRAVEDAD.

a) Clasificación de los deterioros o fallas.

Los deterioros/fallas de los pavimentos flexibles pueden clasificarse en dos grandes categorías: los deterioros/fallas estructurales y los deterioros/fallas superficiales. Los deterioros de la primera categoría se asocian generalmente con obras de rehabilitación de costo alto. Los deterioros de la segunda categoría se relacionan generalmente con obras de mantenimiento periódico (por ejemplo, carpeta delgada de concreto asfáltico o tratamiento superficial). (PERU, 2014)

✓ Tipos y causas de los daños estructurales.

Los deterioros estructurales caracterizan un estado estructural del pavimento, concerniente al conjunto de las diferentes capas del mismo o bien solamente a la capa de superficie.

Las cargas circulantes resultan generalmente en:

- Deformaciones verticales elásticas del material de las capas granulares y del suelo de la subrasante.
- Deformaciones horizontales elásticas de tensión por flexión en la parte inferior de las capas asfálticas.

Si la deformación vertical de las gravas y/o suelos excede el límite admisible, se observan deformaciones permanentes del pavimento (hundimiento o ahuellamiento de gran radio).

Si la deformación horizontal de tensión por flexión en la parte inferior de las capas asfálticas excede el límite admisible, dichas capas se fisuran en su parte inferior y las fisuras luego se propagan hasta la superficie: fisuras longitudinales en las huellas del tránsito y fisuras en forma de piel de cocodrilo.

Los deterioros o fallas (deformación y/o figuración) no aparecen de inmediato (en general), sino al cabo de la repetición de cargas definida por la curva de fatiga de cada material.

✓ Tipos y causas de los daños superficiales.

Los deterioros superficiales se originan en general por un defecto de construcción, por un defecto en la calidad de un producto o por una condición local particular que el tráfico acentúa. Además, pueden resultar de la evolución de deterioros o fallas estructurales.

Se distinguen:

- Los desprendimientos
- Los baches (huecos)
- Las fisuras transversales (que no resultan de la fatiga del pavimento).
- La exudación.

El Catálogo propone los tipos de deterioros o fallas siguientes en cuanto a calzada de pavimento flexible (Tabla 11).

TABLA N° 11: Deterioros y Fallas

Clasificación de los deterioros/fallas	Código de deterioro/falla	Deterioro/ Falla	Gravedad
Deterioros o fallas Estructurales	1	Piel de cocodrilo	1: Malla grande (> 0.5 m) sin material suelto 2: Malla mediana (entre 0.3 y 0.5 m) sin o con material suelto. 3: Malla pequeña (< 0.3 m) sin o con material suelto
	2	Fisuras longitudinales	1: Fisuras finas en las huellas del tránsito (ancho ≤ 1 mm) 2: Fisuras medias corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 1 mm y ≤ 3 mm) 3: Fisuras gruesas corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 3 mm). También se denominan grietas.
	3	Deformación Por deficiencia estructural	1: Profundidad sensible al usuario < 2 cm 2: Profundidad entre 2 cm y 4 cm 3: Profundidad > 4 cm
	4	Ahuellamiento	1: Profundidad sensible al usuario pero ≤ 6 mm 2: Profundidad > 6 mm y ≤ 12 mm 3. Profundidad > 12 mm
	5	Reparaciones o parchados	1: Reparación o parchado para deterioros superficiales. 2: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado. 3: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado.
Deterioros o fallas superficiales	6	Peladura y Desprendimiento	1: Puntual sin aparición de la base granular (peladura superficial). 2: Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular. 3: Continuo con aparición de la base granular.
	7	Baches (Huecos)	1: Diámetro < 0.2 m 2: Diámetro entre 0.2 y 0.5 m 3: Diámetro > 0.5 m
	8	Fisuras transversales	1: Fisuras Finas (ancho ≤ 1 mm) 2: Fisuras medias, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 1 mm y ≤ 3 mm) 3: Fisuras gruesas, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 3 mm). También se denominan grietas.
	9	Exudación	1: Puntual. 2: Continua. 3: Continua con superficie viscosa.

FUENTE: Manual de carreteras –mantenimiento o conservación vías, 2014

3.8.2. Deterioros o fallas estructurales.

a) Deterioro / falla 1: Piel de cocodrilo

La piel de cocodrilo está constituida por fisuras que forman polígonos irregulares de ángulos agudos. Puede ser en su principio, poco grave, mostrando polígonos incompletos dibujados en la superficie por fisuras cerradas (es decir, de ancho nulo). El tamaño de la malla disminuye luego bajo el efecto de las condiciones climáticas y del tráfico. Las fisuras se abren y se observan pérdidas de material en sus bordes.

Causas

El deterioro/falla es consecuencia del fenómeno de fatiga de las capas asfálticas sometidas a una repetición de cargas superior a la permisible. Es indicativo de insuficiencia estructural del pavimento. Esta falla comienza en la parte inferior de las capas asfálticas. La fisuración se propaga a la superficie.

Niveles de Gravedad

El criterio principal es el orden de magnitud de la malla.

Gravedad 1: Malla grande (> 0.5 m) sin material suelto.

Gravedad 2: Malla mediana (entre 0.3 y 0.5 m) sin o con material suelto

Gravedad 3: Malla pequeña (< 0.3 m) sin o con material suelto.



FIGURA 81: Magnitud de Falla, Piel de Cocodrilo

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o consv. de vías MTC, 2014

El nivel 1 corresponde a la aparición de la red en la superficie. Las fisuras no tienen generalmente un ancho significativo. Se abren en los niveles 2 y 3.

Posibles Medidas correctivas

Según la gravedad de la piel de cocodrilo y su extensión, así como de otros elementos de diagnóstico (deformaciones, deflexión y rugosidad), se consideran:

- ✓ Ninguna medida
- ✓ Reparaciones por sello o carpeta asfáltica con mezcla en caliente
- ✓ Sello o carpeta asfáltica
- ✓ Rehabilitación o reconstrucción.

b) Deterioro / falla 2: FISURAS longitudinales

En este rubro se incluyen las fisuras longitudinales de fatiga. Discontinuas y únicas al inicio, evolucionan rápidamente hacia una fisuración continua y muchas veces ramificada antes de multiplicarse debido al tráfico, hasta convertirse en muy cerradas.

Causas

El deterioro / falla es consecuencia del fenómeno de fatiga de las capas asfálticas sometidas a una repetición de cargas superior a la permisible. Es indicativo de insuficiencia estructural del pavimento. Esta falla comienza en la parte inferior de las capas asfálticas. La fisuración se propaga a la superficie.

Niveles de Gravedad

El criterio principal es el orden de magnitud de la malla.

Gravedad 1: Fisuras finas en las huellas del tránsito (ancho ≤ 1 mm)

Gravedad 2: Fisuras medias, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 1 mm y ≤ 3 mm).

Gravedad 3: Fisuras gruesas, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 3 mm).



FIGURA 82: Magnitud de Falla, Fisuras Longitudinales.

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o consv. de vías MTC, 2014

Fisuras longitudinales y transversales:

El nivel 1 corresponde al concepto del AASHTO de «hairline crack» («fisura como un cabello»), se puede considerar que el ancho es generalmente inferior a un mm. En cuanto a las fisuras abiertas de gravedad 2, se considera que su ancho es generalmente superior a un mm con bordes verticales (sin desintegración de bordes) y menor o igual a 3 mm. Se vuelven gravedad 3 cuando los bordes se desintegran y tienen un ancho superior a 3mm.

Posibles Medidas correctivas.

Según la gravedad de las fisuras y su extensión, así como de otros elementos de diagnóstico (deformaciones, deflexión y rugosidad), se consideran:

- ✓ Ninguna medida
- ✓ Reparaciones por sello o carpeta asfáltica con mezcla en caliente
- ✓ Sello o carpeta asfáltica
- ✓ Rehabilitación o reconstrucción.

c) Deterioro / falla 3: Deformación por deficiencia estructural

Las deformaciones propias de los pavimentos flexibles se caracterizan, en la casi totalidad de los casos, por:

1. Las deformaciones por deficiencia estructural, depresiones continuas (deterioro 3a) o localizadas (deterioro 3b)
2. El ahuellamiento (deterioro 4) relacionado con el comportamiento inestable de la capa de rodadura.

En todos los casos, su gravedad es anotada por la profundidad medida sobre una regla rígida de 1.50 m de longitud colocada transversalmente en la calzada. El presente rubro se refiere a las deformaciones por deficiencia estructural.

La depresión continua aparece en el trazado de las ruedas, en un ancho superior a 0.8 m, sobre los laterales del pavimento de 0.5 a 0.8 m del borde, debido al asentamiento de los materiales de una o varias capas del pavimento y de la subrasante bajo un tráfico pesado y canalizado.

La depresión localizada es un hundimiento de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo. Conciernen generalmente a la totalidad del borde del pavimento. Es una consecuencia de defectos de soporte o de estabilidad debidos a una mala calidad de los materiales o a un contenido de agua excesivo.

Causas

Los deterioros o fallas 3a y 3b son consecuencias del fenómeno de fatiga de una o varias capas del pavimento y de la subrasante sometidas a una repetición de cargas superior a la permisible. Es indicativo de insuficiencia estructural del pavimento.

Deformaciones (3a depresión continua longitudinal).

Niveles de Gravedad

Gravedad 1: Profundidad sensible al usuario < 2 cm.

Gravedad 2: Profundidad entre 2 cm y 4 cm.

Gravedad 3: Profundidad \geq 4 cm.

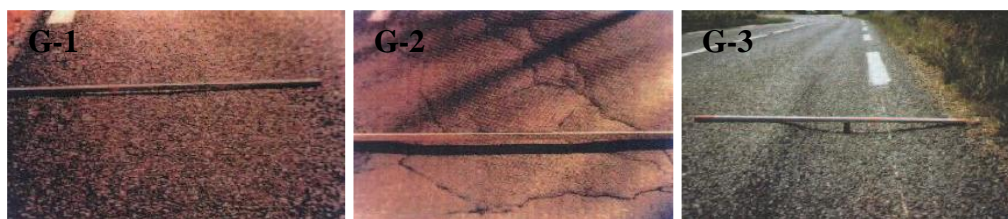


FIGURA 83: Magnitud de Falla, Depresión continua Longitudinal.

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o convs. de vías MTC, 2014

Deformaciones (3b depresiones localizadas).

Niveles de Gravedad.

2: Profundidad entre 2 cm y 4 cm.

3: Profundidad \geq 4 cm.



FIGURA 84: Magnitud de Falla, depresiones localizadas(hundimiento).

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o convs. de vías MTC, 2014

Posibles Medidas correctivas.

Según la gravedad de las deformaciones (ahuellamiento y hundimiento) y su extensión, así como otros elementos de diagnóstico (fisuraciones, deflexión y rugosidad), se consideran

- ✓ Ninguna medida.
- ✓ Reparaciones por carpeta asfáltica con mezcla en caliente.
- ✓ Carpeta asfáltica.
- ✓ Rehabilitación o reconstrucción parcial o total (incluyendo el drenaje si fuera necesario).

d) Deterioro / falla 4: Ahuellamiento

Las deformaciones propias de los pavimentos flexibles se caracterizan, en la casi totalidad de los casos, por:

1. Las deformaciones por deficiencia estructural, depresiones continuas (deterioro 3a) o localizadas (deterioro 3b)

2. El ahuellamiento (deterioro 4) relacionado con el comportamiento inestable de la capa de rodadura.

En todos los casos, su gravedad es anotada por la profundidad medida sobre una regla rígida de 1.50 m de longitud colocada transversalmente en la calzada. El presente rubro se refiere a las deformaciones por comportamiento visco-elástico de la capa de rodadura (deterioro 4). La huella aparece en el trazado de las ruedas, en un ancho inferior a 0.8 m, sobre los laterales del pavimento de 0.5 a 0.8 m del borde, debido a un comportamiento visco-elástico de las capa de rodadura bajo un tráfico pesado y canalizado.

Causas.

Esta puede provenir de las siguientes causas probables:

- ✓ Defecto de dosificación del asfalto
- ✓ Inadecuación entre el tipo de asfalto y la temperatura de la capa de rodadura
- ✓ Inadecuación entre la gradación de los agregados y la temperatura de la capa de rodadura
- ✓ Inadecuación entre la gradación de los agregados y la clase de tránsito

Niveles de Gravedad

1: Profundidad ≤ 6 mm.

2: Profundidad >6 mm y ≤ 12 mm.

Gravedad 1,2; Ahuellamiento (marcación del trazado de las ruedas)

3: Profundidad > 12 mm.

Gravedad 3 ; Ahuellamiento (Levantamiento de materiales formando cordones a lo largo del trazado de las ruedas)



FIGURA 85: Gravedad 1,2,3; Ahuellamiento

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o consv. de vías MTC, 2014

Posibles Medidas correctivas

Según la gravedad de las deformaciones y su extensión, así como otros elementos de diagnóstico (deflexión y rugosidad), se consideran.

- ✓ Ninguna medida.
- ✓ Reparaciones con mezcla en caliente.
- ✓ Carpeta asfáltica.
- ✓ Fresado y carpeta asfáltica
- ✓ Rehabilitación o reconstrucción parcial o total (incluyendo el drenaje si fuera necesario).

e) Deterioro / falla 5: Reparaciones o parchado

Las reparaciones están destinadas a mitigar los defectos del pavimento, de manera provisional o definitiva: su número, su extensión y su frecuencia son elementos del diagnóstico. Una reparación reciente enmascara un problema, reparaciones frecuentes lo subrayan. Las reparaciones deben ser calificadas en el momento del examen visual, pues algunas de ellas son tomadas en cuenta para determinar el estado estructural del pavimento. Si la reparación se aplica a deterioros / fallas superficiales y erradica el defecto, no se usara para calificar el estado estructural del pavimento. Si se aplica a la fisuración estructural, se considera como factor agravante. Dichos criterios resultan en los niveles de gravedad definidos más abajo.

Causas

Las reparaciones son indicativas de insuficiencia estructural del pavimento o de deterioros/fallas superficiales. No requieren medidas correctivas.

Niveles de Gravedad.

Gravedad 1: Reparación o parchado para deterioros/fallas superficiales.

Gravedad 2: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado.

Gravedad 3: Reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado.



FIGURA 86: Gravedad 1, 2,3; Reparación o Parchado

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o convs. de vías MTC, 2014

3.8.3. Deterioros o fallas superficiales**a) Deterioro / falla 6: Peladura y Desprendimientos**

Este deterioro incluye:

- ✓ La desintegración superficial de la carpeta asfáltica debida a la pérdida del ligante bituminoso o del agregado (peladura)
- ✓ La pérdida total o parcial de la capa de rodadura, (desprendimiento).

Causas

Esta falla indica las siguientes causas probables:

- ✓ Defecto de adherencia del asfalto o de dosificación del mismo
- ✓ Asfalto defectuoso o endurecido y perdiendo sus propiedades ligantes
- ✓ Agregados defectuosos (sucios o muy absorbentes)
- ✓ Defectos de construcción
- ✓ Efecto de agentes agresivos (solventes, agua, etc.).

Niveles de Gravedad.

Gravedad 1: Puntual sin aparición de la base granular (peladura superficial).

Gravedad 2: Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular (desprendimiento del concreto asfáltico)

Gravedad 3: Continuo con aparición de la base granular.



FIGURA 87: Gravedad 1, 2,3; Peladura Superficial.

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o consv. de vías MTC, 2014

Posibles Medidas correctivas

Según la gravedad de los desprendimientos y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, en ausencia de otros deterioros/fallas:

- ✓ Ninguna medida.
- ✓ Reparaciones con mezcla en caliente o tratamiento superficial.
- ✓ Carpeta asfáltica, tratamiento superficial.

b) Deterioro / falla 7: Baches (Huecos)

Los baches o huecos son consecuencia normalmente del desgaste o de la destrucción de la capa de rodadura. Cuando aparecen, su tamaño es pequeño. Por falta de mantenimiento ellos aumentan y se reproducen en cadena, muchas veces con una distancia igual al perímetro de una rueda de camión.

Causas

Esta falla proviene de la evolución de otros deterioros y carencia de conservación vial:

- ✓ Desprendimiento
- ✓ Fisuración de fatiga.

Niveles de Gravedad

Gravedad 1: Diámetro < 0.2 m.

Gravedad 2: Diámetro entre 0.2 y 0.5 m

Gravedad 3: Diámetro > 0.5 m.



FIGURA 88: Gravedad 1, 2,3; Baches (Huecos)

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o consv. de vías MTC, 2014

Posibles Medidas correctivas

Según la gravedad de los baches o huecos y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, en ausencia de otros deterioros o fallas.

- ✓ Ninguna medida.
- ✓ Reparaciones por carpeta asfáltica con mezcla en caliente.
- ✓ Rehabilitación o reconstrucción.

c) Deterioro / falla 8: Fisuras transversales

Las fisuras transversales son fracturas del pavimento, transversales (o casi) al eje de la vía.

Causas

Esta falla puede provenir de las causas siguientes:

- ✓ Retracción térmica de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler o envejecimiento del asfalto
- ✓ Reflexión de grietas de capas inferiores y apertura de juntas de construcción defectuosas.

Niveles de Gravedad.

Son iguales a los niveles definidos para las fisuras longitudinales:

Gravedad 1: Fisuras Finas (ancho ≤ 1 mm).

El nivel 1 corresponde al concepto del AASHTO de «hairline crack» («fisura como un cabello»), se puede considerar que el ancho es generalmente inferior a 01mm.

Gravedad 2: Fisuras medias, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 1 mm y ≤ 3 mm).

.También se considera que su ancho es generalmente superior a un mm con bordes verticales (sin desintegración de bordes) y menor o igual a 3 mm.

Gravedad 3: Fisuras gruesas, corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas (ancho > 3 mm).

Se vuelven gravedad 3 cuando los bordes se desintegran y tienen un ancho superior a 3 mm, también se denominan grietas.



FIGURA 89: Gravedad 1, 2,3; Fisuras Transversales.

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o consv. de vías MTC, 2014

Posibles Medidas correctivas

Según la gravedad de las fisuras transversales y de los otros deterioros que pueden acompañarlas y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas.

- ✓ Ninguna medida
- ✓ Reparaciones por carpeta asfáltica con mezcla en caliente
- ✓ Sello
- ✓ Rehabilitación o reconstrucción.

d) Deterioro / falla 9: Exudación

Este deterioro o falla se manifiesta por un afloramiento de material bituminoso de la mezcla a la superficie del pavimento. Forma una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa según los niveles del fenómeno.

Causas

Esta falla puede provenir de las causas siguientes:

- ✓ Excesivo contenido de asfalto en la mezcla
- ✓ Bajo contenido de vacíos (en periodos calientes, el asfalto llena los vacíos y aflora a la superficie).

NIVELES DE GRAVEDAD

El deterioro o falla aparece por manchas negras aisladas. Luego, el exceso de asfalto forma una película continua en las huellas de canalización del tránsito. El último nivel se caracteriza por la presencia de una cantidad significativa de asfalto libre: la superficie se vuelve viscosa. Los niveles de gravedad correspondientes se listan a continuación.

- 1: Puntual.
- 2: Continua.

3: Continua con superficie viscosa.



FIGURA 90: Gravedad 3 ; Continua con Superficie Viscosa

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o conv. de vías MTC, 2014

Posibles medidas correctivas

Según la gravedad de la exudación y su extensión, se consideran las siguientes medidas correctivas, en ausencia de otros danos.

- ✓ Ninguna medida
- ✓ Carpeta asfáltica
- ✓ Fresado y carpeta asfáltica.

3.8.4. Bermas.

a) Introducción

En este capítulo, se describen los deterioros o fallas de las bermas de las carreteras pavimentadas (asociadas a un pavimento flexible o rígido). Se distinguen las bermas pavimentadas y afirmadas.

b) Bermas pavimentadas

Los deterioros o fallas de las bermas pavimentadas incluyen fisuras, hundimiento, desprendimiento y baches o huecos, desnivel entre la calzada y las bermas. Las causas de dichos deterioros son las mismas que las de los deterioros correspondientes del pavimento.

Las obras de mantenimiento de las bermas de la red nacional resultan principalmente de las obras a realizar en la calzada y poco de los daños específicos de dichas bermas. Por ejemplo, si se realiza el refuerzo o recapeo del pavimento, se

requiere reconstruir las bermas por requisitos geométricos, cualquiera sea la condición de estas. Se indica si el deterioro es puntual, limitado o frecuente, según los criterios de la Tabla N° 13.

c) Bermas no pavimentadas.

Los deterioros o fallas de las bermas afirmadas incluyen principalmente el desnivel entre la calzada y las bermas y sus deformaciones. El dato más significativo es el desnivel promedio entre la calzada y las bermas. Permite evaluar con precisión el costo del rubro principal del mantenimiento periódico de las bermas, el recapeo por materiales granulares. Se indica si el desnivel existe pero poco marcado, mediano o fuerte según los criterios de la Tabla N° 13

TABLA N° 12: Niveles de Gravedad de deterioros para Bermas.

Tipo de berma	Código de deterioro/falla	Gravedad
Pavimentadas y No pavimentadas	10	1: Daños puntuales baches o huecos, erosión 2: Daños en menos del 30 % del área de bermas en la longitud evaluada de 200m 3: Deterioros en más del 30% del área de bermas en la longitud evaluada de 200m
	11	1: Desnivel leve < 15 mm 2: Desnivel moderado entre 15 y 50 mm 3: Desnivel severo > 50mm.

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o convs. de vías MTC, 2014



FIGURA 91: Gravedad 1,2,3; Daños en Bermas.

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o convs. de vías MTC, 2014.

3.8.5. Proceso de los datos básicos de deterioros/fallas

El objeto del proceso es calificar la condición superficial de un pavimento flexible (asfáltico) de la carretera por secciones de 200 m de calzada y bermas.

Para cada sección de 200 m se califica la condición de la capa de rodadura del pavimento de la calzada y de las bermas, considerando cada tipo de deterioro o falla según el nivel de gravedad de dicho tipo y su clase de extensión.

El inicio y fin del nivel de gravedad de cada tipo de deterioro o falla observado tienen que localizarse. Luego dichos datos básicos se procesan aplicando la Tabla N° 13 que define la clase de extensión para la longitud de la sección de 200m que presenta el deterioro, la Tabla N° 14 que aplica para baches o huecos, la **Tabla N° 15**, que precisa el ancho de influencia de las fisuras longitudinales y transversales según la gravedad del deterioro o falla y la Tabla N° 13 que describe el proceso de calificación de condición superficial según el tipo de deterioro o falla.

TABLA N° 13: Clase de extensión de los daños de los pavimentos.

Clase	Descripción	Criterio de extensión (porcentaje de la longitud de la sección)
1	Leve	menor que el 10 %
2	Moderado	entre 10 y 30 %
3	Severo	mayor que el 30 %

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o convs. de vías MTC, 2014

En cuanto a baches (huecos), se necesita una información adicional para calificar su “densidad” en la sección afectada, número de baches (huecos) por sección de 200 m. Se usa la escala siguiente.

TABLA N° 14: Clase de densidad de los baches (huecos) de los pavimentos flex.

Clase	Descripción	Criterio de densidad de baches (huecos) (numero/200m).
1	Leve	menor que el 4
2	Moderado	entre 4 y 10
3	Severo	mayor a 10

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o convs. de vías MTC, 2014

Para el cálculo del área de las fisuras longitudinales y transversales se tomará en cuenta la longitud de las fisuras por un ancho de influencia asignado según la gravedad del deterioro o falla.

TABLA N° 15: Ancho de Influencia de las Fisuras longitudinales y Transv.

Gravedad	Ancho de Influencia (m)
1	0.10 m
2	0.30 m
3	0.50 m

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o convs. de vías MTC, 2014



Clasificación de los deterioros/fallas	Código de Daño	Deterios /Fallas	Gravedad(G)	numero de deterioros (Nij) Longitud del deterioro(Lij)	Ancho de la sección evaluada(m)	Longitud de la sección Evaluada(m)	Area de la seccion Evaluada As (m2)	Porcentaje de Extensión del deterioro/falla (EFij)	Extensión Promedio Ponderada	Puntaje de Condición Según Extensión de Cada tipo de Deterioro o Falla				Puntaje de Condición Resultante por cada Tipo de Deterioro/Falla	
										0: Sin deterioro o Sin fallas	1: Leve EFp=Menor a 10%	2: Moderado EFp=entre 10% y 30%	3: Severo EFp=Mayor a 30%		
CALZADA Deterioro o fallas estructurales	1	Piel de Cocodrilo	1: Malla grande (>0.5m sin material suelto)	Area(A11): Daño 1 gravedad 1, A11=Longitud xAncho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF11=(A11/As)x100							
			2: Malla mediana (entre 0.3 y 0.5m) sin o con material suelto	Area(A12): Daño 1 gravedad 2, A12=Longitud xAncho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF12=(A12/As)x100	$EFp = \frac{EF11 \times A11 + EF12 \times A12 + EF13 \times A13}{A11 + A12 + A13}$	0	> 0 y < 40	≥ 40 y < 200	200		
			3: Malla pequeña (<0.3m) sin o con material suelto	Area(A13): Daño 1 gravedad 3, A13=Longitud xAncho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF13=(A13/As)x100							
	2	Fisuras longitudinales	1: Fisuras finas en las huellas del transito(ancho<1mm)	Area(A21): Daño 2 gravedad 1, A21=Longitud x 0,10 (Ancho de influencia)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF21=(A21/As)x100							
			2: Fisuras medias corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas(ancho > 1mm y < 3mm)	Area(A22): Daño 2 gravedad 2, A22=Longitud x 0,20 (Ancho de influencia)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF22=(A22/As)x100	$EFp = \frac{EF21 \times A21 + EF22 \times A22 + EF23 \times A23}{A21 + A22 + A23}$	0	> 0 y < 20	≥ 20 y < 100	100		
			3: Fisuras gruesas corresponden a fisuras abiertas y/o ramificadas(ancho > 3mm a 7mm)	Area(A23): Daño 2 gravedad 3, A23=Longitud x 0,30 (Ancho de influencia)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF23=(A23/As)x100							
	3	Deformacion por deficiencia estructural	1: Profundidad sencilla al usuario <2cm	Area(A31): Daño 3 gravedad 1, A31=Longitud x Ancho(del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF31=(A31/As)x100							
			2: Profundidad entre 2cm y 4cm	Area(A32): Daño 3 gravedad 2 A32=Longitud x Ancho(del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF32=(A32/As)x100	$EFp = \frac{EF31 \times A31 + EF32 \times A32 + EF33 \times A33}{A31 + A32 + A33}$	0	> 0 y < 20	≥ 20 y < 100	100		
			3: Profundidad > 4cm	Area(A33): Daño 3 gravedad 3 A33=Longitud x Ancho(del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF33=(A33/As)x100							
	4	Ahuellamiento	1: Profundidad sencilla al usuario pero ≤6mm	Area(A41): Daño 4 gravedad 1 A41=LongitudxAncho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF41=(A41/As)x100							
			2: Profundidad > 6mm y ≤ 12mm	Area(A42): Daño 4 gravedad 2 A42=LongitudxAncho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF42=(A42/As)x100	$EFp = \frac{EF41 \times A41 + EF42 \times A42 + EF43 \times A43}{A41 + A42 + A43}$	0	> 0 y < 20	≥ 20 y < 100	100		
			3: Profundidad > 12mm .	Area(A43): Daño 4 gravedad 3 A43=LongitudxAncho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF43=(A43/As)x100							
	5	Reparacion o Parchado	1: Reparacion o parchado para deterioros superficiales	Area(A51): Daño 5 gravedad 1 A51=LongitudxAncho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF51=(A51/As)x100							
			2: Reparacion de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en buen estado.	Area(A52): Daño 5 gravedad 2 A52=LongitudxAncho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF52=(A52/As)x100	$EFp = \frac{EF51 \times A51 + EF52 \times A52 + EF53 \times A53}{A51 + A52 + A53}$	0	>0 y <20	≥ 20 y <100	50		
			3: Reparacion de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado.	Area(A53): Daño 5 gravedad 3 A53=LongitudxAncho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF53=(A53/As)x100							

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o conv. de vías MTC, 2014



pavimento flexible

CALZADA Deterioros o fallas superficiales	6	Peladura y desprendimiento	granular(peladura superficial).	A61=Longitud x Ancho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	x 200	EF61=(A61/As)x100								
			2: Continuo sin aparición de la base granular o puntual con aparición de la base granular	Area(A62): Daño 6 gravedad 2 A62=Longitud x Ancho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF62=(A62/As)x100	EFp=[(EF61 x A61+EF62x A62+EF63x A63)/ (A61+A62+A63)]	0	> 0 y < 10	≥ 10 y < 50	50			
			3: Continuo con aparición de la base granular	Area(A63): Daño 6 gravedad 3 A63=Longitud x Ancho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF63=(A63/As)x100								
	7	Baches (Huecos)	1: Diametro<0.2m	Numero(N71): Daño 7 Gravedad 1							0: Sin deterioro o Sin fallas	1:Leve Efp =Menor a 4 baches	2: Moderado Efp =Entre 4 y 10 baches.	3: Severo Efp =Mayor a 10 baches.		
			2: Diametroentre 0.2 y 0.5m	Numero(N72): Daño 7 Gravedad 2					EFp=N71+N72+N73	0	> 0 y < 20	≥ 20 y < 100	100			
			3: Diametro>0.5m	Numero(N73): Daño 7 Gravedad 3												
	8	Fisuras Transversales	1: Fisuras finas (anchos 1mm)	Area(A81): Daño 8 gravedad 1 A81=Longitud x 0.10m (Ancho de influencia)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF81=(A81/As)x100								
			2: Fisuras medias, corresponden a fisuras abiertas Y/o ramificadas (ancho>1mm y ≤ 3mm)	Area(A82): Daño 8 gravedad 2 A82=Longitud x 0.20m (Ancho de influencia)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF82=(A82/As)x100	EFp=[(EF81 x A81+EF82x A82+EF83x A83)/ (A81+A82+A83)]	0	> 0 y < 10	≥ 10 y < 50	50			
			3: Fisuras gruesas , corresponden a fisuras abiertas Y/o ramificadas (ancho>3mm). Tambien se denominan grietas.	Area(A83): Daño 8 gravedad 3 A83=Longitud x 0.30m (Ancho de influencia)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF83=(A83/As)x100								
	9	Exudacion	1:Puntual	Area(A91): Daño 9 gravedad 1 A91=Longitud x Ancho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF91=(A91/As)x100								
			2: Continua	Area(A92): Daño 9 gravedad 2 A92=Longitud x Ancho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF92=(A92/As)x100	EFp=[(EF91 x A91+EF92x A92+EF93x A93)/ (A91+A92+A93)]	0	> 0 y < 20	≥ 20 y < 100	100			
			3: Continua con superficie viscosa	Area(A93): Daño 9 gravedad 3 A93=Longitud x Ancho (del deterioro)	Ancho Calzada	200	Ancho Calzada x 200	EF93=(A93/As)x100								
BERMAS Pavimentadas y no Pavimentadas	10	Daños puntuales	1: Daños puntuales baches o huecos,erosion	Area(A101): Daño 10 gravedad 1 A101=Longitud x Ancho (del deterioro)	Ancho Berma	200	Ancho Calzada x 200	EF101=(A101/As)x100								
			2:Daños en menos del 30% de la longitud.	Area(A102): Daño 10 gravedad 2 A102=Longitud x Ancho (del deterioro)	Ancho Berma	200	Ancho Calzada x 200	EF102=(A102/As)x100	EFp=[(EF101 x A101+EF102x A102+EF103x A103)/ (A101+A102+A103)]	0	> 0 y < 10	≥ 10 y < 50	50			
			3:Daños en más del 30% de la longitud.	Area(A103): Daño 10 gravedad 3 A103=Longitud x Ancho (del deterioro)	Ancho Berma	200	Ancho Calzada x 200	EF103=(A103/As)x100								
	11	Denivel calzada berma	1: Desnivel leve <15mm	Longitud(L111): Daño 11 gravedad 1			200		EF111=(L111/200)x100							
			2: Desnivel moderado entre 15 y 50 mm	Longitud(L112): Daño 11 gravedad 2			200		EF112=(L112/200)x100	EFp=[(EF111xL111+EF112xL112+EF113xL113)/(L111+L112+L113)]	0	> 0 y < 20	≥ 20 y < 100	100		
			3: Desnivel Severo entre > 50 mm	Longitud(L113): Daño 11 gravedad 3			200		EF113=(L113/200)x100							

FUENTE: Manual de carreteras - mantenimiento o convs. de vías MTC, 2014

La suma total no debe ser mayor a 1000, en tal sentido la calificación de condición resulta de la diferencia de la suma total menos la suma puntaje de condición, tal como se indica a continuación:

TABLA N° 17: *Calificación de Condición.*

CALIFICACION DE CONDICIÓN = 1000 - SUMA DE PUNTAJE DE CONDICIÓN
CALIFICACION DE CONDICIÓN =

FUENTE: *Manual de carreteras-mantenimiento o convs. de vías MTC, 2014*

La calificación de condición representa la condición superficial del pavimento flexible y se sintetiza en tres tipos de condición:

- Bueno
- Regular
- Malo

Los rangos de calificación de condición para asignar la condición superficial del pavimento flexible, de la calzada incluyendo las bermas, en uno de los tipos de condición son:

TABLA N° 18: *Tipos de condición según calificación de Condición*

<i>CONDICION BUENA</i>	<i>>800</i>
<i>CONDICION REGULAR</i>	<i>> 300 y ≤ 800</i>
<i>CONDICION MALO</i>	<i>≤300</i>

FUENTE: *Manual de carreteras-mantenimiento o convs. de vías MTC, 2014*

De acuerdo a la calificación de condición superficial del pavimento flexible se podrá estimar el tipo de conservación a realizar en cada sección de 200 m de longitud:

TABLA N° 19: *Tipo de Conservación según calificación de condición*

RECONSTRUCCION-REHABILITACIÓN			CONSERVACION PERIODICA					CONSERVACION RUTINARIA	
100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000

FUENTE: *Manual de carreteras-mantenimiento o convs. de vías MTC, 2014*

3.9. PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

3.9.1. Datos generales de la zona de evaluación.

3.9.2. Ubicación.

Ubicado en el altiplano a una altura de 3822m sobre el nivel del mar, a orillas del lago Titicaca. La población actualmente es de 3984 habitantes, de los cuales 91,3% viven en el área rural y el 8,7% el área urbana.

El área total del distrito Atuncolla de 124,74 km², distribuidos entre comunidades campesinas y centros poblados menores.

3.9.3. Condiciones climáticas.

El clima es semiseco y frígido, en las estaciones de primavera y verano presentan periodos de lluvia y en las estaciones de otoño e invierno de estío. Los meses de mayor precipitación pluvial son desde diciembre hasta marzo y los meses de escasez de lluvias junio, julio, agosto y septiembre.

La precipitación pluvial promedio anual es 700mm. , según ONREN, el ámbito del distrito se considera dentro del tipo climático A o clima de la ribera del Lago Titicaca, con temperaturas promedio que va de 5.5 a 9.5 °C, con vientos fuertes del noreste.

La temperatura promedio máximo mensual registrada es de 16.1°C en el mes de noviembre y la temperatura promedio mínimo es de – 4.10 °C.

3.9.4. Características de la zona en estudio.

Se encuentra enclavadas en la meseta del Collao, encerrada por la cordillera occidental y oriental de los andes del sur del Perú; por esta razón su relieve es accentado con grandes elevaciones, micro cuencas, pampas, terrazas, cerros, etc.

3.9.5. Características del tránsito.

Según los datos generales descritos anteriormente, el tipo de vehículos que transitan por esta vía son los siguientes:

Motos lineales, motocargas, autos, camionetas, combis, buses turísticos en determinados horarios y camiones en pocas ocasiones.



FIGURA 92: Vehículos que transitan en el Tramo de Estudio
FUENTE: Elaboración Propia

Según el tráfico que circula por esta, vía es variable según el horario, los días de la semana y los meses del año.

De los vehículos de la zona, que normalmente son motos lineales ,motocargas, autos, combis ,camionetas, en los días de lunes a viernes, las horas más transitadas es desde las 7.00am hasta 8.am. y desde las 15.00pm –17.00pm los Sábados el tráfico es constante ya que la población se traslada a la ciudad de Puno donde se tiene la feria sabatina, los Domingos es similar, pero en menor intensidad.



FIGURA N° 93: Vehículos Menores
FUENTE: Elaboración Propia.

De los vehículos Turísticos que son camionetas, minibuses y buses, circulan en un horario definido de acuerdo a los paquetes turísticos establecidos, de lunes a domingo de 8.00am-10.30am y de 14.30am-17.00am.



FIGURA 94: Vehículos Turísticos
FUENTE: Elaboración Propia

3.9.6. Estudio de tráfico en la vía.

El tránsito vehicular existente en la carretera desvío a sillustani – atuncolla(ciudad), que es una vía principal de transporte hacia el distrito de Atuncolla, principalmente al complejo arqueológico de Sillustani.

Se realizó el aforo de los vehículos que pasan por dicha vía se obtuvo los datos en dos estaciones.

Estación N° 01: Desvío a sillustani de la carretera Puno- Juliaca.

Estación N° 02: Atuncolla(ciudad).

La mayor parte de los vehículos está compuesto por el paso de vehículos ligeros: Autos, camionetas, combis, minibuses y en menor parte por vehículos pesado como: B2, B3-1, B4-1 C2, C3.



FIGURA 95: Estación de Aforo N° 1 y 2
FUENTE: Elaboración Propia

3.9.6.1. Cálculo del índice medio diario.

Para calcular el índice medio diario semanal se toma los datos obtenidos del aforo, en los dos puntos y viene a ser el número total de vehículos que pasan durante un periodo de una semana, dividido entre el número de días de la semana (7).

3.9.6.2. Resultados obtenidos

A partir de los datos obtenidos en los conteos y clasificación vehicular en campo, se procedió a analizar la consistencia de la misma.

En los siguientes cuadros se resumen los recuentos de tráfico, clasificación semanal.

TIPO DE VEHICULO	VEH. LIG.	B2	B3-1	B4-1	C2	C3	TOTAL
DÍAS							
LUNES	214	18	7	0	7	0	246
MARTES	201	16	4	2	5	0	228
MIÉRCOLES	220	10	0	0	0	0	230
JUEVES	249	18	2	1	10	4	284
VIERNES	226	18	4	2	0	0	250
SABADO	266	14	2	0	4	0	286
DOMINGO	190	10	2	0	3	1	206
TOTAL	1566	104	21	5	29	5	1730
IMDS/VEH.	223.71	14.86	3.00	0.71	4.14	0.71	247.14

FIGURA 96: Cálculo de Índice Medio Semanal.
FUENTE: Elaboración Propia.

3.9.6.3. Clasificación vehicular promedio.

En función de los resultados de clasificación vehicular en campo, se procedió a determinar la composición vehicular de la muestra, la cual está conformada de la siguiente manera:

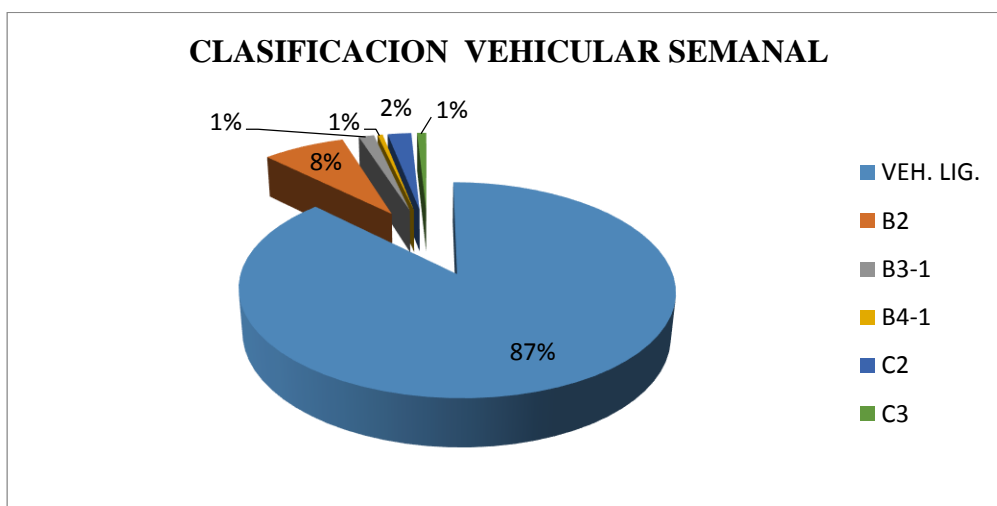


FIGURA 97: Clasificación Vehicular Semanal

FUENTE: Propia.

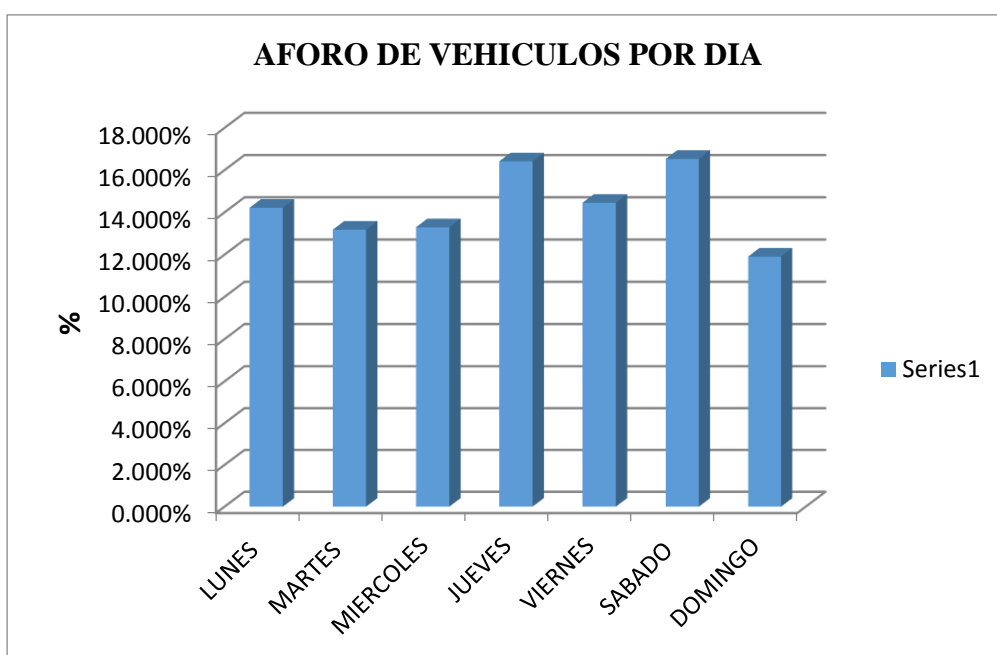


FIGURA 98: Conteo de Vehículos por Día

FUENTE: Elaboración Propia.

3.9.7. Aplicación del método del PCI.

3.9.7.1. Unidades de muestreo.

Las unidades de muestreo se realizaron en función a la norma ASTM: D6433-18, donde el área a evaluar es de 230 ± 93 metros cuadrados, para lo cual se tiene lo siguiente.

TABLA N° 20: Dimensiones de la Vía en Estudio

Longitud total de la vía.	9000 m
Ancho de calzado considerado.	5 m
Longitud de la muestra.	50 m
Área.	250 m ²

FUENTE: Elaboración propia



FIGURA 99: Dimensión de calzada y berma

FUENTE: Elaboración Propia.

Se tiene un ancho de calzada de 5m y para calcular el área recomendado se adopta una longitud de vía de $L=50\text{m}$, se calcula un área de 250m^2 que está dentro del área recomendado por la norma ASTM: D6433-07.

Para la obtención de número de total de muestras, se divide la longitud total de vía entre la longitud de la muestra, $N=9000/50$ dando como resultado de $N=180$ unidades de muestra.

Aplicando la ecuación para hallar el número mínimo de unidades de muestra “n” a ser inspeccionadas en una sección dada, con una confiabilidad de 95%, error e= 5% y una desviación estándar $\sigma = 10$, esto es debido a que es la primera evaluación que se realiza.

El valor obtenido “n” es redondeado al número entero mayor.

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\left(\frac{e^2}{4}\right) \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Teniendo como resultado $n=14.769 \approx 15$, entonces de las 180 unidades de muestra se evaluará 15 unidades de muestras en forma aleatoria, donde el intervalo de muestreo se calcula de la siguiente manera:

$$I=N/n= 180/15 = 12$$

Por lo tanto, el intervalo de muestreo será a cada 12 unidades de muestra.

TABLA N° 21: Número de muestras e intervalos de muestras

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	53	...	170	180
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	-------	----	-----	-----	-------	-----

FUENTE: Elaboración Propia.

Las secciones de color azul son las unidades de muestras evaluadas aleatoriamente para el cálculo del PCI.

3.9.7.2. Levantamiento de fallas.

Para el levantamiento de fallas se tomó todas las medidas de seguridad en la vía en estudio, considerando equipos de protección personal y colectiva respectivamente:

Equipos de Seguridad personal y colectiva.

- Conos de seguridad.
- Chalecos de seguridad.
- Casco de seguridad.
- Cortavientos.
- Lentes de seguridad.
- Zapatos de Seguridad.



FIGURA 100 : Equipos de Seguridad Personal e Instrumentos.
FUENTE: Elaboración Propia.

Materiales e instrumentos.

- Regla de sección rectangular de 1.50m.
- Flexo metálico de 8m.
- Odómetro.
- Pintura.
- Brocha o pincel.

El levantamiento de fallas está acorde a la norma ASTM: D6433-18 descrita en el marco teórico para el levantamiento de fallas y se elaboró el formato de acuerdo a las recomendaciones de la norma anteriormente descrita.

TABLA N° 22: Formato para el cálculo del PCI.

ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO (PCI)																			
CARRETERA : Desv. Atuncolla - Atuncolla	SECCION:	AREA DE LA UNIDAD (m2):	250																
FECHA : 18/11/2017	INICIAL: KM 00 + 000	UNIDAD DE MUESTRA :	01																
LEVANTADO POR: J.A.CH.P.	FINAL: KM 00 + 050																		
TIPOS DE FALLAS																			
1 Piel de cocodrilo	11 Parches y parches de cortes Utilitarios	DIAGRAMA 																	
2 Exudación	12 Agregado pulidos																		
3 Fisuras en bloque	13 Baches																		
4 Abultamiento y hundimiento	14 Ahuellamiento																		
5 Corrugaciones	15 Desplazamiento																		
6 Depresiones	16 Fisura parabolica o por deslizamiento																		
7 Fisuras de borde	17 Hinchamientos																		
8 Fisura de reflexion de junta	18 Peladura por intemperismo.																		
9 Desnivel carril - berma	19 Cruse de via ferrea																		
10 Fisuras longitudinales y transversales																			
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																			
TIPO	10			11			12												
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H	
CANTIDAD Y SEVERIDAD	5.60	8.60	2.70	7.00	15.00	17.50		50.10											
	3.00	7.00	3.00																
		6.40																	
TOTAL	L	8.60		7.00				0.00					0.00				0.00		0.00
	M	22.00		15.00				50.10					0.00				0.00		0.00
	H	5.70		17.50				0.00					0.00				0.00		0.00

FUENTE: Propia.

En la hoja de registro 01, los tipos de fallas, severidad, cálculo de cantidad total por falla, densidad y valor deducido será realizado a manera de ejemplo de la primera unidad de muestra.

3.9.7.3. Calculo del PCI de las unidades de muestra.

Se utilizara la primera unidad de muestra para explicar la forma del cálculo del PCI, con las recomendaciones y la ayuda del formato y los ábacos de la norma ASTM: D6433-18.

A continuación tenemos como ejemplo los datos de la primera unidad de muestra en la Tabla N° 22, donde se muestra los resultados de las medidas, la densidad y valores deducidos para cada tipo de falla y niveles de severidad:

Se tiene el tipo de falla de fisuras longitudinales y transversales donde la medida total es 22m, severidad M(media), densidad 8.80% y 16.5 de valor deducido usando los ábacos de ASTM:D6433-18, para cada tipo de falla, en este caso es de fisuras longitudinales y transversales donde se muestra en **fig.102**.



FIGURA 101: Falla de fisuras longitudinales y transversales
FUENTE: Propia.

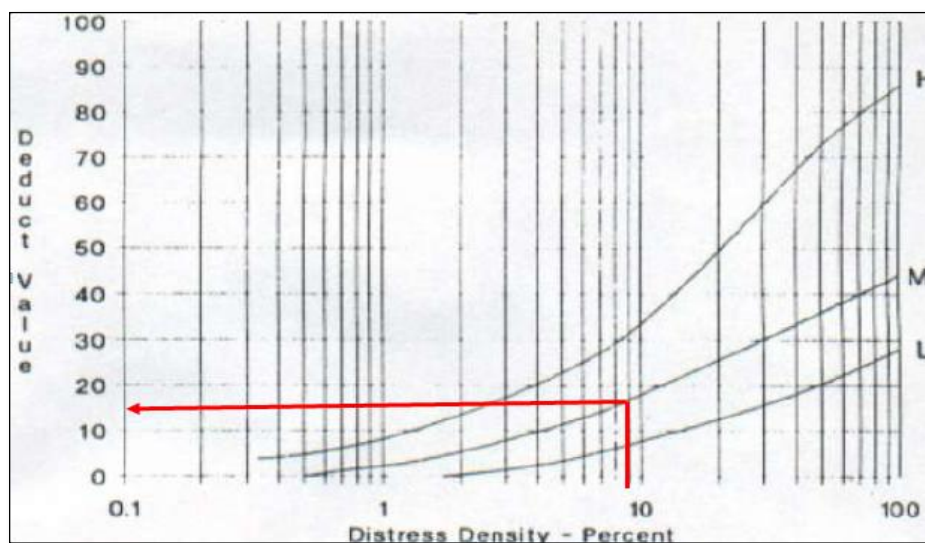


FIGURA 102 :Ábaco de fallas de fisuras longitudinales y transversales
FUENTE: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2018.

Se repite el mismo procedimiento para el resto de las fallas, y luego procedemos a calcular el número máximo de valores deducidos (m) utilizando la ecuación de fallas máximo deducidos “m” ,donde $m \leq 10$

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100.00 - HDV_i).$$

El máximo valor deducido por cada tipo de falla y severidad es $HDV = 47.5$ y reemplazando en la ecuación se tiene calculando se tiene que $m=5.8$, para calcular también se puede utilizar la fig. , pero es recomendable la ecuación por ser más exacta.

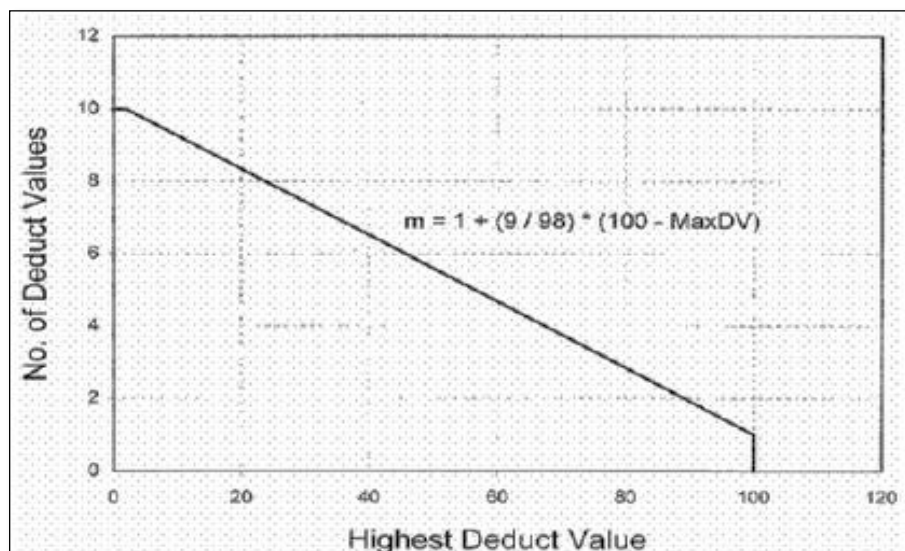


FIGURA 103: Curva para calcular el max. deducido.

FUENTE: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2018.

Se tiene que m es menor que el número de valores deducidos mayores a 2 puntos (q), en nuestro caso $m < q$, por lo tanto se toma los 5.8 y el sexto valor deducido se colocara el 80% ($1.84 = 2.3 * (5.8 - 5)$).

Se ordena los valores deducidos individuales de mayor a menor y se tiene $q=5$, se suman los valores deducidos para luego obtener el valor deducido corregido con la ayuda de ábaco en la Fig. 104 , se repite lo mismo para cada uno ,reemplazando por 2 el ultimo valor de cada caso y disminuyendo “q” en una unidad, hasta que “q” sea igual a 1, para luego hallar los valores deducidos para cada valor de “q”, tal como se muestra en la Tabla N°:24

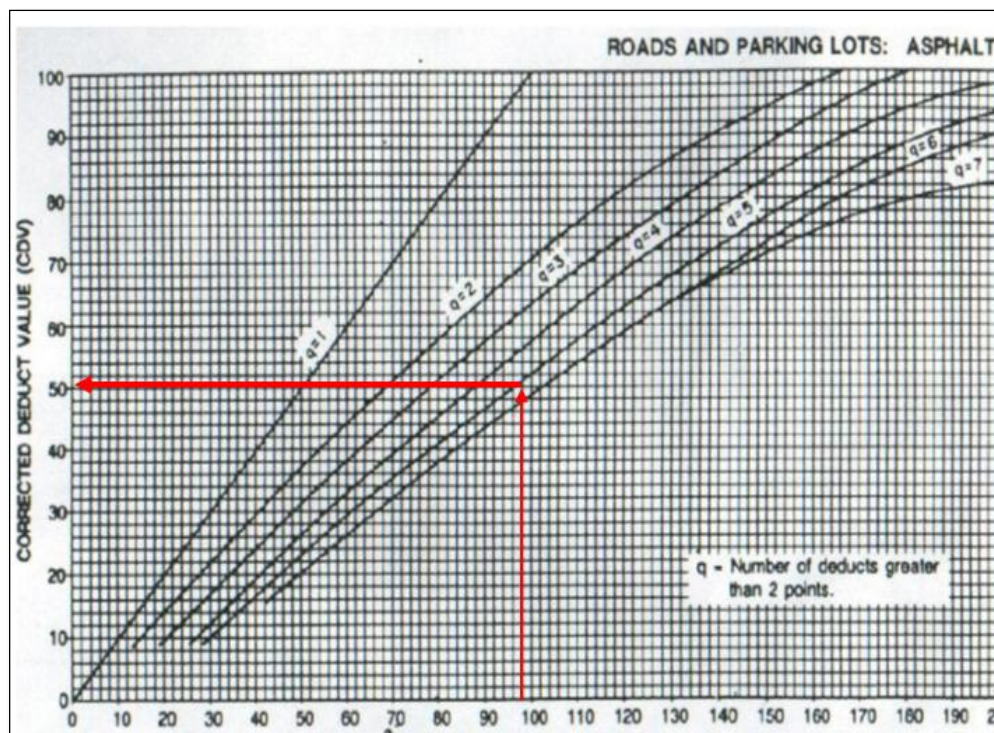


FIGURA 104: Abaco para el cálculo de valores deducidos corregidos
FUENTE: American Society For Testing And Materials, 2018.

TABLA N° 23: Calculo de valores deducidos.

#	VALORES DEDUCIDOS						m= 5.8	TOTAL	q	CDV	CONDICION DEL PAVIMENTO
1	47.50	20.50	16.50	7.50	4.50	184	98.34	5	51		
2	47.50	20.50	16.50	7.50	2.00	184	95.84	4	56		
3	47.50	20.50	16.50	2.00	2.00	184	90.34	3	58		
4	47.50	20.50	2.00	2.00	2.00	184	75.84	2	55		
5	47.50	2.00	2.00	2.00	2.00	184	57.34	1	57		
VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN CORREGIDO (VDC):									58		REGULAR

FUENTE: American society for testing and materials, 2018.

Después de calcular todo los valores corregidos se escoge el mayor valor para el cálculo de del PCI de la unidad de muestra, aplicando la ecuación descrita en el marco teórico, para nuestro caso se tiene que $PCI=100-\text{MaxCDV}$, $PCI=100-58=42$, entonces la clasificación de nivel de PCI obtenido es **REGULAR**.

TABLA N° 24: Cálculo de la condición de PCI.

CÁLCULO DEL PCI										
TIPO DE FALLA	SEVERIDAD AD	CANTIDAD TOTAL POR FALLA				DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO	VALOR DEDUCIDO MAXIMO (MaxVD)		
10	M	22.00				8.80%	16.5	= 47.50		
10	H	5.70				2.28%	2.3			
11	L	7.00				2.80%	4.5	PCI= 100 - MaxVDC 42.00		
11	M	15.00				6.00%	20.5			
11	H	17.50				7.00%	47.5			
12	S/S	50.10				20.04%	7.5			
								CONDICION DEL PAVIMENTO REGULAR		
#	VALORES DEDUCIDOS						m= 5.8	TOTAL	q	CDV
1	47.50	20.50	6.50	7.50	4.50	184	98.34	5	51	
2	47.50	20.50	6.50	7.50	2.00	184	95.84	4	56	
3	47.50	20.50	6.50	2.00	2.00	184	90.34	3	58	
4	47.50	20.50	2.00	2.00	2.00	184	75.84	2	55	
5	47.50	2.00	2.00	2.00	2.00	184	57.34	1	57	
VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN CORREGIDO (VDC):										58

FUENTE: American Society For Testing And Materials, 2018.

3.9.8. Aplicación del manual de carreteras mantenimiento o conservación vial del MTC.

3.9.8.1. Unidades de muestreo.

Las unidades de muestreo se realizaron en función a la norma “Manual de Carreteras-Mantenimiento o Conservación Vial del MTC (Niveles de servicio-inventario de condición-pavimento flexible-calzada berma)”, donde se tiene los siguientes datos:

Longitud total de la vía.	9000 m
Ancho de la Sección Evaluada(m)	5 m
Longitud de la sección Evaluada(m)	200 m
Área de la Sección Evaluada(m ²)	1000 m ²

Después de inspeccionar la vía , se mide en tramos de 200m, los 9000m se divide en 45 unidades de muestra con áreas de 1000m².

A diferencia del método PCI, el “Manual de Carreteras-Mantenimiento o Conservación Vial del MTC”, no es aleatoria, la evaluación es de toda la vía en secciones de 200m.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	25	35	45
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	-------	----	------	----	-------	----

3.9.8.2. Levantamiento de fallas:

Para el levantamiento de fallas se tomó todas las medidas de seguridad en la vía de estudio, considerando equipos de protección personal y colectiva respectivamente:

Equipos de Seguridad personal y colectiva.

- Conos de seguridad.
- Chalecos de seguridad.
- Casco de seguridad.
- Cortavientos.
- Lentes de seguridad.
- Zapatos de Seguridad.

Materiales e instrumentos.

- Regla de sección rectangular de 1.50m.
- Flexo metálico de 8m.
- Odómetro.
- Pintura.
- Brocha o pincel.

El levantamiento de fallas está según el “**Manual de Carreteras-Mantenimiento o Conservación Vial del MTC**”, descrita en el marco teórico para el levantamiento de fallas y se elaboró el formato de acuerdo a las recomendaciones del manual del MTC.

Para la recolección de datos y cálculo de calificación de condición del pavimento se toma una unidad de muestra como ejemplo.

En la Tabla N° 106, se muestra el tipo de deterioro o falla que son en total 11 deterioros, también la cantidad y severidad por cada tipo de fallas existentes en la muestra.

FIGURA 105: Formato para el método del MTC

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO		CALIFICACION DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (CCP)															UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO						
CARRETERA : Desv. Atuncolla - Atuncolla			SECCION:			AREA DE LA UNIDAD (m2,L):			1000														
FECHA : 18/11/2017			INICIAL: KM 02 + 800			UNIDAD DE MUESTRA :			01														
LEVANTADO POR: J.A.CH.P.			FINAL : KM 03 + 00																				
TIPO DE DETERIORO/FALLA																							
1 Piel de cocodrilo 2 Fisuras Longitudinales 3 Deformacion por deficiencia Estructural 4 Ahuellamiento 5 Reparacion o parchado 6 Peladura y desprendimiento											7 Baches (Huecos) 8 Fisuras transversales 9 Exudación. 10 Daños puntuales. 11 Desnivel Calzada - Berma.											DIA GRAMA 	
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES																							
TIPO		1			2			3			4			7			11						
CANTIDAD Y SEVERIDAD	G-1	G-2	G-3	G-1	G-2	G-3	G-1	G-2	G-3	G-1	G-2	G-3	G-1	G-2	G-3	G-1	G-2	G-3	G-1	G-2	G-3		
		11.00			15.00			12.00		9.00	13.50				2.00			140.00	60.00	1.00			
		5.85			16.00																		
		7.50			17.30																		
TOTAL	G-1	0.00			0.00			0.00			9.00			0.00			0.00			1.00			
G-2	24.35			48.30			12.00			13.50			2.00			140.00			0.00				
G-3	0.00			0.00			0.00			0.00			0.00			60.00			0.00				

FUENTE: Elaboración Propia.

En la unidad de muestra se recolecto el tipo de falla piel de cocodrilo con sus respectivas medidas y gravedad según descrito en la Fig. 106, Que es de 24.35m2 de gravedad 2 (G-2) y aplicando la ecuación de porcentaje de extensión del deterioro /falla:

$$EF_{11} = \frac{A_{12}}{A_s} \times 100$$

Dónde:

EF_{11} : % de extensión de deterioro.

A_{12} : Área del deterioro (daño 1, gravedad 2).

A_s : Área de la sección evaluada.

Con el área del daño de la sección evaluada se calcula la extensión promedio ponderada

$$EF_p = \frac{EF_{11} \times A_{11} + EF_{12} \times A_{12} + EF_{13} \times A_{13}}{A_{11} + A_{12} + A_{13}}$$

Simplificando la ecuación se tiene:

$$EF_p = \frac{100}{A_s} \left(\frac{A_{11}^2 + A_{12}^2 + A_{13}^2}{A_{11} + A_{12} + A_{13}} \right)$$

3.9.8.3. Cálculo de calificación de condición:

Para el cálculo de calificación de condición de pavimento se utiliza la ecuación simplificada ponderada, para luego dar el puntaje de condición, según el porcentaje de extensión calculada de acuerdo al tipo de daño y sus intervalos de puntaje.

En nuestro caso se tiene código de daño 1, deterioro o falla: piel de cocodrilo, con una extensión promedio ponderado de 2.44%, como el promedio ponderado es menor a 10%, entonces el puntaje debe estar en el intervalo de mayor a cero y menor a 40 puntos para este tipo de falla, para nuestro caso sería 9.76 como se puede ver en la Fig. 107 para los intervalos de puntaje por tipo de falla ver la Tabla N°:16-A y 16-B.

CALCULO DE CONDICION												
CODICION DE DAÑO	EXT. PROM. PONDERADO	PUNTAJE DE CONDICION SEGUN EXTENSION DE CADA TIPO DE DETERIORO O FALLA				PUNTAJE DE CONDICION						
		0: SIN DETERIORO O SIN FALLA	1: LEVE EFP=MENOR A 10%	2: MODERADO EFP=ENTRE 10% Y 30%	3: SEVERO EFP=MAYOR A 30%							
1	2.44		9.76			9.76						
2	4.83		9.66			9.66						
3	1.20		2.40			2.40						
4	1.17		2.34			2.34						
7	2.00		9.00			9.00						
11	58.00				100.00	100.00						
	0.10					-						
						-						
						-						
SUMA DE PUNTAJE DE CONDICION (PC):						133.16						
CALIFICACION DE CONDICION:												
$CC=1000-PC =$ <input type="text" value="866.84"/>				Tipo de conservacion según calificación de condición. <table border="1"> <tr> <td>RECONSTRUCCION-REHABILITACION</td> <td>CONSERVACION PERIODICA</td> <td>CONSERVACION RUTINARIA</td> </tr> <tr> <td>100 200 300</td> <td>400 500 600 700 800</td> <td>900 1000</td> </tr> </table>			RECONSTRUCCION-REHABILITACION	CONSERVACION PERIODICA	CONSERVACION RUTINARIA	100 200 300	400 500 600 700 800	900 1000
RECONSTRUCCION-REHABILITACION	CONSERVACION PERIODICA	CONSERVACION RUTINARIA										
100 200 300	400 500 600 700 800	900 1000										
CONDICION DEL PAVIMENTO:				TIPO DE INTERVENCION SEGUN C. CONDICION:								
<input type="text" value="CONDICION BUENO"/>				<input type="text" value="CONSERVACION RUTINARIA"/>								

FIGURA 106: Cálculo de puntaje de condición
FUENTE: Elaboración Propia

Para los otros casos, el cálculo es similar, con ligeras variaciones en los intervalos de puntaje por cada tipo de deterioro.

Se suma el total de puntaje de condición por cada tipo de deterioro o falla, para luego calcular la calificación de condición con la ecuación.

$$CC = 1000 - PC = 866.84$$

Entonces de acuerdo a la **Fig. 107**, se tiene un pavimento flexible de **CONDICION BUENO** y en función a esta calificación de condición se estima el tipo de conservación a realizar en la sección de 200m de longitud que sería de tipo **CONSERVACION PERIODICA**.

3.9.9. Índice de rugosidad internacional del pavimento flexible empleando el rugosímetro merlín.

3.9.9.1. Procedimiento para ensayo.

Para el procedimiento de ejecución del ensayo se requiere de 03 personas que trabajen conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas, un auxiliar que las anota y otro que está a cargo de la seguridad vial, que viene colocando señales de preventivas. Asimismo, debe seleccionarse una longitud de 400m sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del **MERLIN**, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas.



FIGURA 107: Levantamiento datos con MERLIN
FUENTE: Elaboración Propia.

Toda las observaciones se deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo Fig. 108. La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

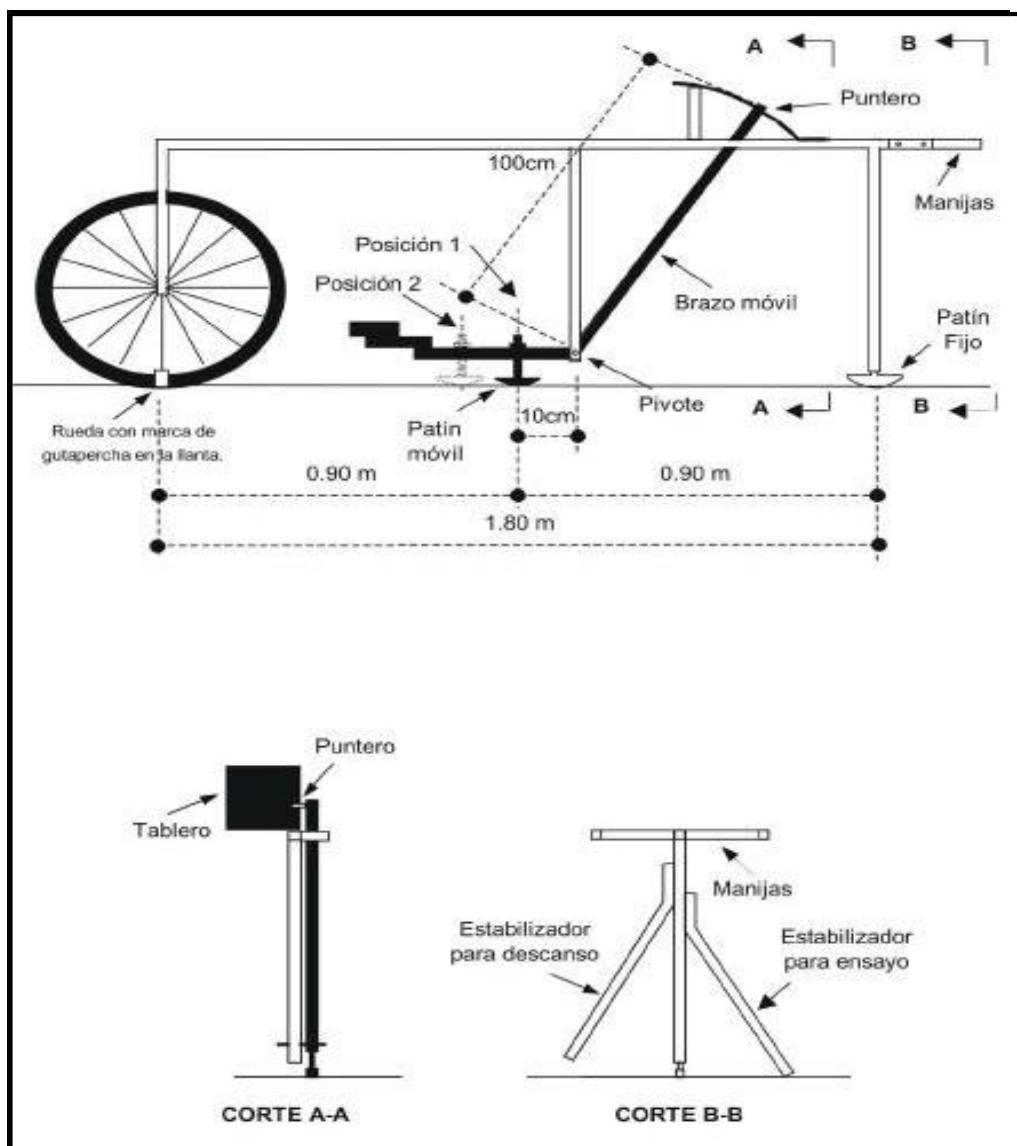


FIGURA 108: Partes del Equipo MERLIN
FUENTE: DEL AGUILA , 2010.

La medición es continua y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h y el ensayo empieza estacionando el equipo al inicio del tramo de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar. Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas.



FIGURA 109: Levantamiento de datos en campo.
FUENTE: Elaboración Propia.

Las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con pintura y una cinta de color rojo o similar), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta (2m) haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.

3.9.9.2. Cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI).

Para el cálculo del IRI, se toma como ejemplo uno de los ensayos realizados con los siguientes datos:

SECTOR : DESV. SILLUSTANI-ATUNCOLLA (CIUDAD)
TRAMO : Km 00 + 400 – Km 00 + 800
ENSAYO : 2
CARRIL : DERECHO

A) Datos obtenidos del campo, con el rugosímetro merlin según formato.

FIGURA 110: Formato para llenado de datos en campo

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	28	29	27	27	27	25	22	25	29	23	TIPO PAVIMENTO: TRAT. BI CAPA: <input checked="" type="checkbox"/> BASE GRAN. <input type="checkbox"/> BASE AFIRM. <input type="checkbox"/> CARPETA EN FRIO <input type="checkbox"/> CARP. EN CAL. <input type="checkbox"/> OTROS : <input type="checkbox"/>
2	27	21	36	24	26	25	28	29	30	35	
3	27	35	35	30	35	21	29	20	28	35	
4	27	39	30	28	34	29	26	28	30	26	
5	28	27	31	30	26	27	25	35	38	37	
6	27	27	26	28	27	38	25	26	27	26	
7	28	32	33	25	26	30	25	25	26	26	
8	30	35	25	27	28	35	26	26	27	28	
9	28	36	26	36	26	27	27	26	29	22	
10	30	38	26	35	27	28	28	27	31	24	
11	34	41	29	33	25	29	26	28	20	24	
12	32	26	25	27	25	31	26	28	25	28	
13	28	26	24	28	24	29	27	27	25	31	
14	28	27	30	29	23	36	26	25	26	32	
15	22	27	26	31	26	32	28	27	25	33	
16	20	26	27	35	26	32	28	25	26	36	
17	32	24	29	34	25	23	25	25	26	34	
18	26	25	27	28	20	27	26	23	26	28	
19	32	25	26	30	29	28	26	25	27	29	
20	26	24	25	26	21	26	25	26	27	30	

FUENTE: Elaboración Propia.

B) Histograma de frecuencias

FIGURA 111: Histograma de Frecuencia.

INT. DE FREC.	FREC.	INT. DE FREC.	FREC.	INT. DE FREC.	FREC.	INT. DE FREC.	FREC.	INT. DE FREC.	FREC.
1	0	11	0	21	3	31	5	41	1
2	0	12	0	22	3	32	7	42	0
3	0	13	0	23	4	33	3	43	0
4	0	14	0	24	7	34	4	44	0
5	0	15	0	25	25	35	10	45	0
6	0	16	0	26	37	36	5	46	0
7	0	17	0	27	29	37	1	47	0
8	0	18	0	28	24	38	3	48	0
9	0	19	0	29	13	39	1	49	0
10	0	20	4	30	11	40	0	50	0

FUENTE: Elaboración Propia.

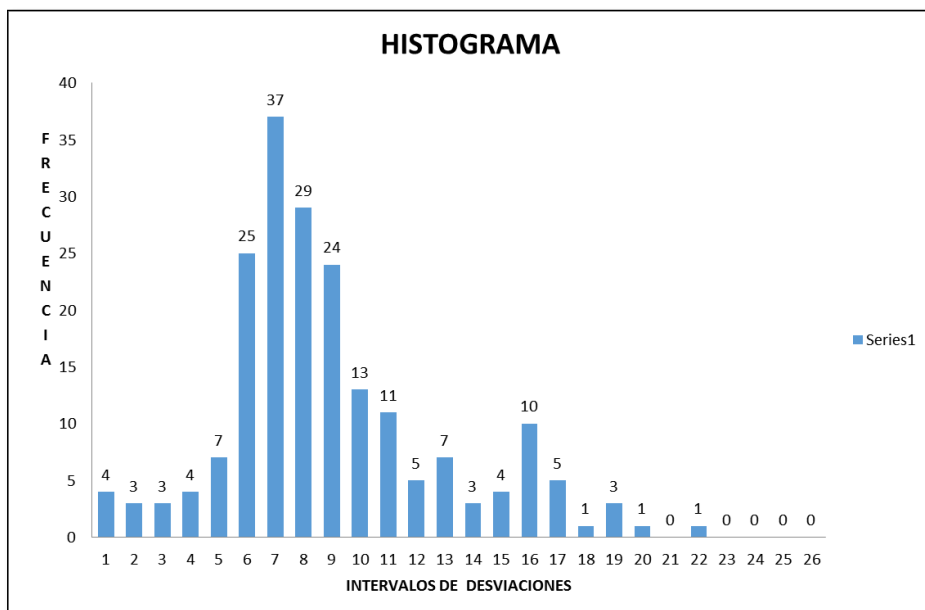


FIGURA 112: Histograma para el descarte de datos.
FUENTE: Elaboración Propia.

C) Descartando datos.

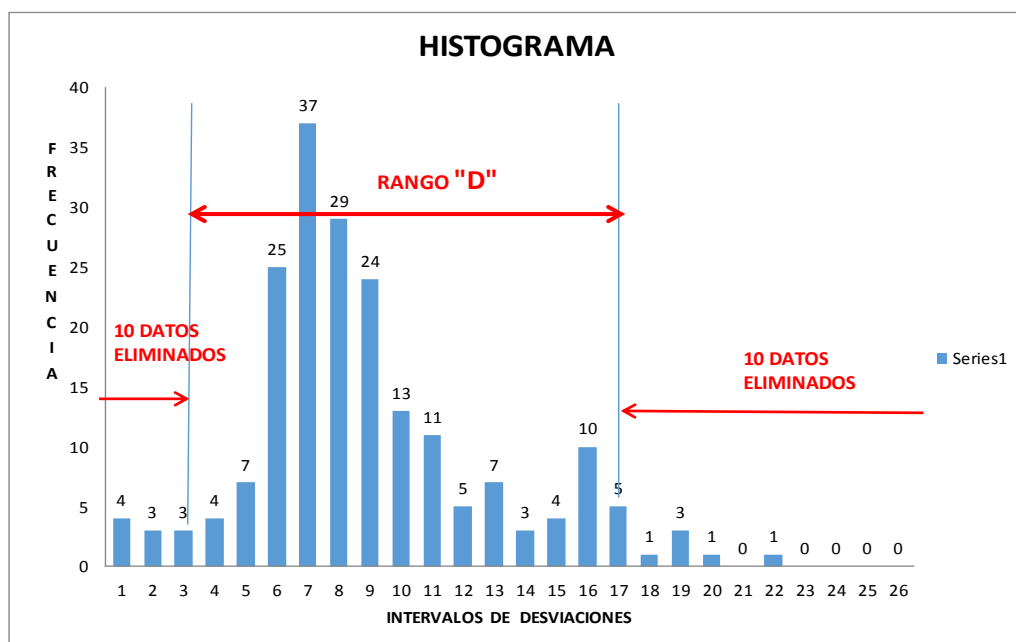


FIGURA 113: Descarte de datos y cálculo del "D"
FUENTE: Elaboración Propia.

Según el método de cálculo se descarta el 5% de los datos obtenidos, por lo que se tendría 20 datos a descartar, el descarte se realiza 10 datos poco representativos en cada extremo del histograma.

En nuestro ejemplo se tiene que desde intervalo 22 hasta el intervalo 18 se tiene 06 datos descartados y para llegar a 10 datos, se tomara 04 datos del intervalo 17, es decir se tomara 04 datos de 05 datos (4/5), del otro extremo del histograma de igual forma se descarta 10 datos, desde el intervalo 1 hasta el intervalo 3, se tiene 10 datos.

Para hallar el rango "D" se cuenta el número de intervalos, desde el intervalo 4 hasta el intervalo 16 más 1/5 del intervalo 17, es decir $D = 13 + 1/5$, el valor que tiene cada unidad o intervalo es 5mm, por lo que $D = (13 + 1/5) * 5 = 66$, $D = 66$.

Para relacionar la rugosidad determinado con el MERLIN y el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), se utilizan las siguientes expresiones.

Para $2.4 < IRI < 15.9$ o $42 < D < 312$.

$IRI = 0.593 + 0.0471D$ (1)

Para $IRI < 2.4$ o $D < 42$

$IRI = 0.0485D$.

D) Factor de corrección.

Debido a que el patín móvil del instrumento experimenta un desgaste, este debe ser corregido mediante un factor de corrección para lo cual se emplea un disco circular de aproximadamente 5cm de diámetro y 6mm de espesor, y el procedimiento es de la siguiente manera.

- 1) Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando para ello un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm. El espesor se calcula como el valor promedio considerando 4 medidas diametralmente opuestas.
- 2) Se coloca el rugosímetro sobre una superficie plana y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el patín móvil se encuentra sobre el piso. Se levanta el patín se coloca la pastilla de calibración sobre él, apoyándola sobre el piso.

Esta acción hará que el puntero sobre el tablero se desplace una distancia igual al espesor de la pastilla. Si no sucede esto, se deberá encontrar un factor de corrección (FC) usando la siguiente expresión.

$$F. C. = \frac{(EP \times 10)}{[(LI - LF) \times 5]}$$

Donde:

EP: Espesor de la pastilla.

LI: Posición inicial del puntero.

LF: Posición final del puntero.

Para el ejemplo se tiene:

EP= 6mm ,Li= 27 , LF= 14

FC= 0.923

El valor “D” deberá modificarse considerando el factor de corrección y la relación de brazos empleado en los ensayos.

El valor “D” corregido será utilizado para el cálculo de rugosidad.

Para el ejemplo , D=66 , FC= 0.923 donde “D” corregido es:

$D_c = FC \times D = 0.923 \times 66 = 60.918$

Aplicando la expresión para el cálculo de IRI se obtiene:

$IRI = 0.593 + 0.0471 \times (60.918)$.

IRI= 3.46.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO EXISTENTE

El tránsito vehicular calculado en las estaciones N° 01 y N° 02 en la carretera Desvio a Sillustani – Atuncolla esta está compuesto en su mayoría por el paso de vehículos ligeros: Autos, camionetas, combis, microbuses y por vehículos pesado como: B2, B3-1 y en pocas ocasiones de camiones de vehículos de C2, C3 y B4-1.

4.1.1. Cálculo del índice medio diario

Para el cálculo de índice medio diario Mensual, está dado por el número total de vehículos que pasan durante un periodo de 1 mes, dividido entre el número de días (30).

Para el cálculo de índice medio diario Anual, está dado por el número total de vehículos que pasan durante un periodo de 1 año, dividido entre el número de días (365).

Para nuestro caso será el índice medio semanal, que es el número total de vehículos que pasan durante un periodo de 1 semana, dividido entre el número de días (7).

4.1.2. Resultados obtenidos

En función a los datos obtenidos en los conteos y clasificación vehicular en campo, se procedió a analizar la consistencia de la misma.

Se presenta el siguiente cuadro donde se resume los recuentos de tráfico, clasificación semanal.

FIGURA 114: Numero de vehículos que pasa por la vía en una semana.

TIPO DE VEHICULO	VEH. LIG.	B2	B3-1	B4-1	C2	C3	TOTAL
DÍAS							
LUNES	214	18	7	0	7	0	246
MARTES	201	16	4	2	5	0	228
MIERCOLES	220	10	0	0	0	0	230
JUEVES	249	18	2	1	10	4	284
VIERNES	226	18	4	2	0	0	250
SABADO	266	14	2	0	4	0	286
DOMINGO	190	10	2	0	3	1	206
TOTAL	1566	104	21	5	29	5	1730
IMDS/VEH.	223.71	14.86	3.00	0.71	4.14	0.71	247.14

FUENTE: Elaboración Propia.

4.1.3. Clasificación vehicular promedio.

A partir de los resultados de clasificación vehicular de campo, se procedió a determinar la composición vehicular de la muestra, la cual está conformada de conteo por semana.

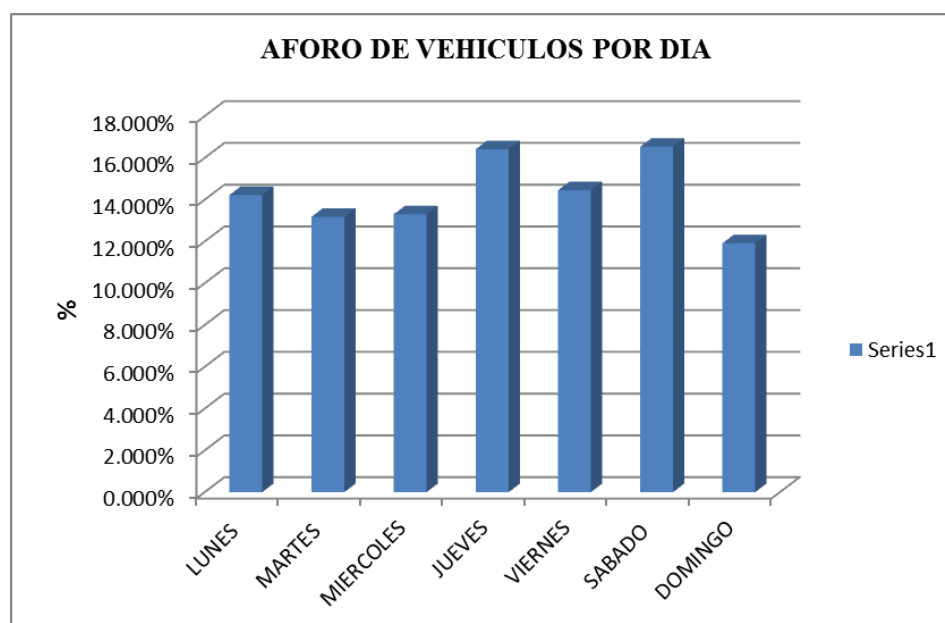


FIGURA 115: Histograma de vehículos por día.

FUENTE: Elaboración Propia.

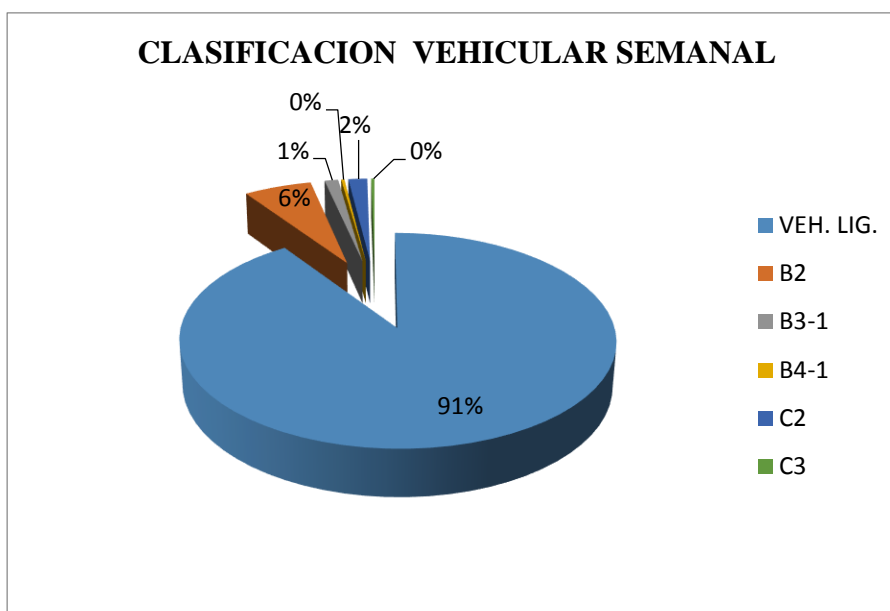


FIGURA 116: Porcentaje por tipo de Vehículos.
FUENTE: Elaboración Propia.

De acuerdo a los cuadros estadísticos obtenidos, se tiene que la mayor cantidad de vehículos que pasan por esta vía son autos, camionetas, combis y micros, donde las combis son utilizadas como transporte público desde el distrito de Atuncolla (ciudad) hasta la ciudad de Puno, los autos también son de transporte público, solo desde el Desvío Sillustani hasta Atuncolla en su mayor parte, como hasta el complejo arqueológico de Sillustani.

Los buses son de uso exclusivo para turistas nacionales e internacionales que van desde la ciudad de Puno al complejo Arqueológico de Sillustani en horarios definidos.

4.2. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

La regularidad de un pavimento es el parámetro que relaciona la magnitud y frecuencia de las irregularidades superficiales o altimétricas, con la comodidad o confort al transitar sobre él. La unidad de medición de rugosidad que se emplea en el Perú es el IRI (International Roughness Index- Índice de Rugosidad Internacional), parámetro desarrollado por el Banco Mundial para uniformizar los diversos criterios que existen para medir y calibrar la rugosidad de los pavimentos.

4.2.1. Resumen de los resultados de regularidad

En el siguiente cuadro se presentan la síntesis de los ensayos de regularidad con el rugosímetro Merlin.

FIGURA 117: Resumen de resultados del IRI

SECCION	PROGRESIVA		LONGITUD DE INTERVALO (m)	IRI(m/KM)			
	INICIO	FINAL		2018 (TSB ENVEJECIDO)			
				CARRIL DERECHO		CARRIL IZQUIERDO	
				HUELLA DER.	HUELLA IZQ.	HUELLA DER.	HUELLA IZQ.
TRAMO Km 00+00 al Km 02+800	00+00	00+400	400	3.85			3.81
	00+400	00+800	400	3.46			3.79
	00+800	01+200	400	3.49			3.57
	01+200	01+600	400	3.66			3.78
	01+600	02+200	400	3.06			3.65
	02+200	02+400	400	3.19			3.63
	02+400	02+800	400	4.13			3.55
PROMEDIO				3.55			3.68

FUENTE: Elaboración Propia.

El manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, en la Sección: Suelos y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones indica la escala mínima del IRI para cada tipo de carretera.

Para nuestro resultado obtenido, para el carril derecho, huella derecha se tiene un IRI=3.55m/Km y para el carril izquierdo huella izquierda se tiene un IRI=3.68m/Km, esto quiere decir, según la escala de IRI estamos con un pavimentos antiguos con tendencia a pavimentos dañados.

Para la calificación del estado de un pavimento a través del PSI o el Índice de Serviciabilidad donde indica que la satisfacción de los usuarios se manifiesta, fundamentalmente, por la calidad en que se encuentra la superficie de rodadura y los elementos que constituyen la seguridad vial.

El Present Serviciability Index o la serviciabilidad fue definida como la capacidad de un pavimento para servir al tránsito para el cual fue diseñado. Los pavimentos fueron calificados con notas cuyos valores extremos variaban desde 0, para un camino intransitable, hasta 5 para una superficie en perfectas condiciones (situación ideal), el cálculo de PSI está relacionado con el IRI.

Para nuestro caso el PSI = 2.5, y según la escala de PSI estamos en una calidad de servicio **REGULAR.**

4.3. EVALUACIÓN DE LA VÍA CON EL MÉTODO PCI.

Al finalizar los cálculos del índice de Condición del Pavimento (PCI) y registrado todas las fallas e información de la vía, se procedió a determinar el valor del PCI promedio. Esto para tener una idea global de cuál es el estado del pavimento de la vía **EMP. PE-3S (DV. ATUNCOLLA)-ATUNCOLLA**, se ha elaborado una tabla donde se muestra a manera de resumen, los resultados de cada unidad de muestra, el valor de PCI de cada unidad de muestra, el valor promedio de PCI promedio de toda la muestra y las clasificación correspondiente a los valores de PCI.

4.3.1. Tipos de daños con mayor frecuencia.

En el tramo evaluado de 8,500 km se registraron 14 unidades de muestra, las cuales presentan daños representativos, según el método PCI.

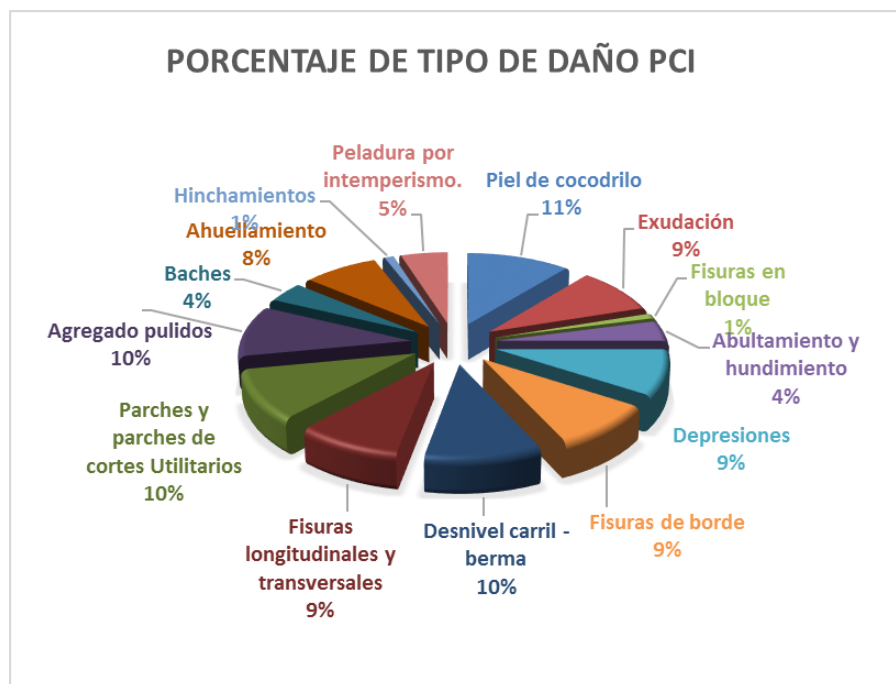


FIGURA: 126 Tipos de daños del PCI
FUENTE: Elaboración Propia.

La imagen muestra los tipos de daños representativos en el tramo de ensayo, los daños con mayor porcentaje son:

Piel de cocodrilo(11%) donde el origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito pesado de turismo que transitan por esta vía, desnivel carril berma (9%) esto ocurre por deterioro o erosión de la berma y la carpeta queda encima de la berma, agregado pulido(10%) se da por la repetición de cargas de tránsito, debido a que en la zona transitan gran

variedad de vehículos pesados de turismo, Parches(10%) esto se debe a que en esta zona se ha reemplazado un área de pavimento con falla de piel de cocodrilo daño severo, reemplazando con material nuevo , fisuras de borde (9%),comprende el deterioro de los bordes de la capeta asfáltica, esto por tener la falla desnivel carril berma de nivel muy severo.

También se presentan otras fallas pero con menor porcentaje como fisuras en bloque (1%), peladuras por intemperismo(5%), baches (4%),etc.

Después de aplicar la metodología del PCI y obtener la clasificación de los daños encontrados en nuestra vía de estudio se realiza un cuadro de evaluación del pavimento para las 14 unidades de muestreo indicando el estado de la vía.

A continuación, se muestra el valor PCI y la clasificación para cada unidad de muestreo.

TABLA N° 25: Resumen de resultados del método del PCI

N°	PROGRESIVA		PCI	CLASIFICACIÓN
	INICIO	FINAL		
1	Km 00+000	Km 00+050	42.00	REGULAR
2	Km 00+650	Km 00+700	25.00	MALO
3	Km 01+300	Km 01+350	11.00	MUY MALO
4	Km 01+950	Km 02+000	25.00	MALO
5	Km 02+600	Km 02+650	49.00	REGULAR
6	Km 03+250	Km 03+300	46.00	REGULAR
7	Km 03+900	Km 03+950	50.00	REGULAR
8	Km 04+550	Km 04+600	30.00	MALO
9	Km 05+200	Km 05+250	24.00	MUY MALO
10	Km 05+850	Km 05+900	33.00	MALO
11	Km 06+500	Km 06+550	11.00	MUY MALO
12	Km 07+150	Km 07+200	17.00	MUY MALO
13	Km 07+800	Km 07+850	22.00	MUY MALO
14	Km 08+450	Km 08+500	26.00	MALO

FUENTE: Elaboración Propia.

En base a los resultados obtenidos, se realiza un resumen del estado de las unidades de muestreo, obteniendo como resultado, lo siguiente:

TABLA N° 26: Resumen del estado de la vía (PCI)

ESTADO	UNIDADES DE MUESTREO(50M)	%
BUENO	0	0%
REGULAR	4	29%
MALO	5	36%
MUY MALO	5	36%

FUENTE: Elaboración Propia

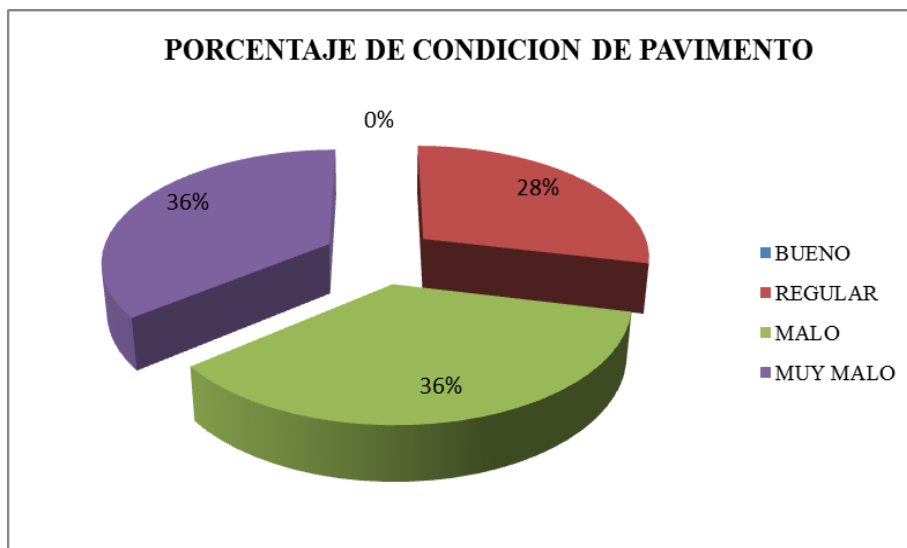


FIGURA 118: Porcentaje de Condición del pavimento (PCI)

FUENTE: Elaboración Propia.

Se determinó que la vía evaluada presenta una condición de pavimento **MALO**, con lo cual el pavimento brinda inadecuadas condiciones de servicio a los usuarios. Sin embargo requiere ser intervenido inmediatamente, ya que está a punto de entrar a la condición de **MUY MALO** ha FALLADO. Los valores numéricos del PCI de la secciones son muy cercanos al límite inferior del rango de la condición de **MUY MALO**.

La Fig. 126 muestra que el índice de condición **MALO** y **MUY MALO** es predominante en la vía evaluada.

Hallando un valor promedio para determinar la condición del pavimento (PCI) para las 14 unidades de muestreo, se tiene como resultado un valor numérico de “29”, lo que equivale a un estado de clasificación de **MALO** para nuestra vía **EMP. PE-3S (DV. ATUNCOLLA)-ATUNCOLLA (CIUDAD)**, como se muestra en la Fig. 127.

FIGURA 119: Resumen del resultado de la condición del PCI

METODOLOGIA	CLASIFICACION PROMEDIO	ESTADO
PCI	29	MALO

FUENTE: Elaboración Propia.

4.4. EVALUACIÓN DE LA VÍA CON EL MANUAL DE CARRETERAS O CONSERVACIÓN VIAL DEL MTC.

De acuerdo a los cálculos realizados de todas las unidades de muestra en función al manual de carreteras-conservación vial o mantenimiento del MTC, se obtuvo el siguiente cuadro de resumen de los resultados de tipo de daños más frecuentes.

4.4.1. Tipos de daños más frecuentes en la muestra.

En el tramo evaluado de 8,500 m se registraron 44 unidades de muestra, las cuales presentan daños representativos según el manual del MTC.

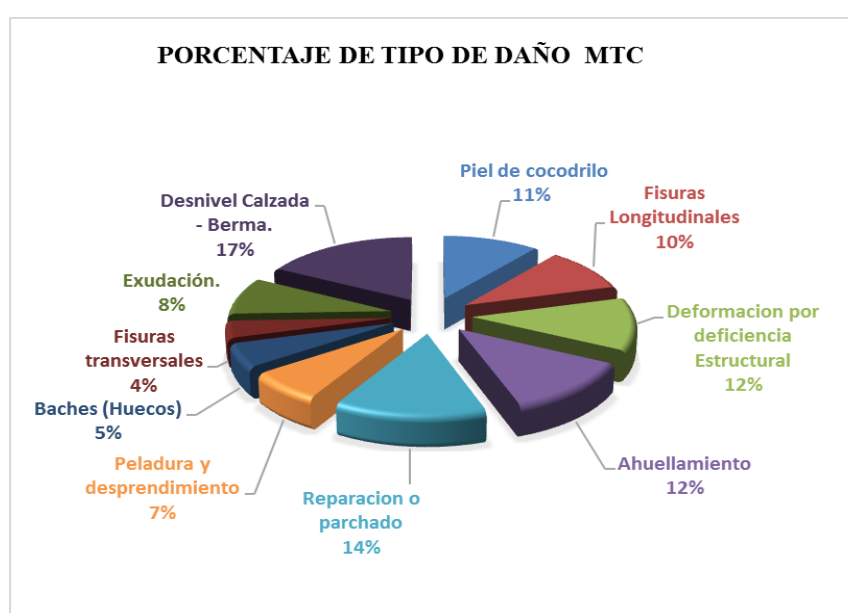


FIGURA 120: Clasificación de tipo de daño (MTC)

FUENTE: Elaboración Propia.

La imagen muestra los tipos de daños representativos en el tramo de ensayo, los daños con mayor porcentaje son:

Desnivel calzada berma(17%) el origen se da por deterioro de la berma y esto ocasiona fisuras de borde, reparación o parchado(14%) esto se debe a que en esta zona se ha reemplazado un área de pavimento con falla de piel de cocodrilo de daño severo, reemplazando con material nuevo, ahuellamiento(12%) el origen se da por mala dosificación del asfalta en la vía, Piel de cocodrilo(11%) donde el origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito pesado de turismo que transitan por esta vía, fisuras longitudinales(10%) y

otros de menor intensidad como: exudación(8%), baches(huecos)(5%) , peladura y desprendimiento (7%) ,etc.

Después de aplicar la metodología del MTC y obtener la clasificación de los daños encontrados en la vía de estudio se realiza un cuadro de evaluación del pavimento para las 44 unidades de muestreo, indicando el estado de la vía.

En la Tabla N° 127 se muestra el valor del MTC y la clasificación para cada unidad de muestreo.

TABLA N° 27: Resumen de resultados del manual del MTC.

N°	PROGRESIVA		MTC	CLASIFICACIÓN	TIPO DE INTERVENCION SEGÚN CALIF. DE COND.
	INICIO	FINAL			
1	Km 00+00	Km 00+200	784.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
2	Km 00+200	Km 00+400	788.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
3	Km 00+400	Km 00+600	799.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
4	Km 00+600	Km 00+800	847.00	BUENO	CONSERVACION RUTINARIA
5	Km 00+800	Km 01+000	757.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
6	Km 01+000	Km 01+200	761.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
7	Km 01+200	Km 01+400	798.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
8	Km 01+400	Km 01+600	780.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
9	Km 01+600	Km 01+800	846.00	BUENO	CONSERVACION RUTINARIA
10	Km 01+800	Km 02+000	768.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
11	Km 02+000	Km 02+200	798.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
12	Km 02+200	Km 02+400	860.00	BUENO	CONSERVACION RUTINARIA
13	Km 02+400	Km 02+600	795.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
14	Km 02+600	Km 02+800	824.00	BUENO	CONSERVACION RUTINARIA
15	Km 02+800	Km 03+000	774.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
16	Km 03+000	Km 03+200	758.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
17	Km 03+200	Km 03+400	761.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
18	Km 03+400	Km 03+600	799.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
19	Km 03+600	Km 03+800	885.00	BUENO	CONSERVACION RUTINARIA
20	Km 03+800	Km 04+000	861.00	BUENO	CONSERVACION RUTINARIA
21	Km 04+000	Km 04+200	768.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
22	Km 04+200	Km 04+400	721.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
23	Km 04+400	Km 04+600	761.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
24	Km 04+600	Km 04+800	852.00	BUENO	CONSERVACION RUTINARIA
25	Km 04+800	Km 05+000	755.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
26	Km 05+000	Km 05+200	811.00	BUENO	CONSERVACION RUTINARIA
27	Km 05+200	Km 05+400	799.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
28	Km 05+400	Km 05+600	867.00	BUENO	CONSERVACION RUTINARIA
29	Km 05+600	Km 05+800	846.00	BUENO	CONSERVACION RUTINARIA
30	Km 05+800	Km 06+000	797.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
31	Km 06+000	Km 06+200	741.00	REGULAR	CONSERVACION RUTINARIA
32	Km 06+200	Km 06+400	880.00	BUENO	CONSERVACION RUTINARIA
33	Km 06+400	Km 06+600	740.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
34	Km 06+600	Km 06+800	787.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
35	Km 06+800	Km 07+000	798.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
36	Km 07+000	Km 07+200	804.00	BUENO	CONSERVACION RUTINARIA
37	Km 07+200	Km 07+400	798.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
38	Km 07+400	Km 07+600	761.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
39	Km 07+600	Km 07+800	732.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
40	Km 07+800	Km 08+000	803.00	BUENO	CONSERVACION RUTINARIA
41	Km 08+000	Km 08+200	772.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
42	Km 08+200	Km 08+400	719.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
43	Km 08+400	Km 08+600	749.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
44	Km 08+600	Km 08+800	670.00	REGULAR	CONSERVACION PERIODICA
45	Km 08+800	Km 09+000			

FUENTE: Elaboración Propia.

En base a los resultados obtenidos, se realiza un resumen del estado de las unidades de muestreo, dando como resultado lo siguiente, Tabla. 28.

TABLA N° 28: Resumen del estado de las unidades de muestreo

ESTADO	UNIDADES DE MUESTREO(200)	%
BUENO	13	30
REGULAR	31	70
MALO	0	0

FUENTE: Elaboración Propia.

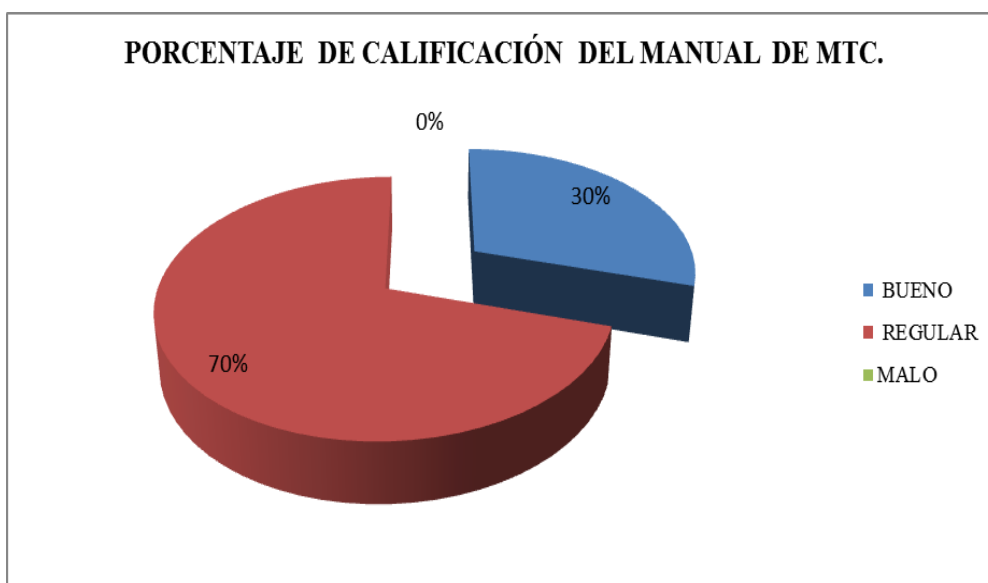


FIGURA 121: Porcentaje del estado de las unidades de muestreo

FUENTE: Elaboración Propia.

En la imagen también se puede observar el porcentaje de calificación por niveles de gravedad, donde la condición de calificación **REGULAR**, es predominante seguido de la condición de **BUENO**.

Se determinó que la vía evaluada presenta una condición de pavimento **REGULAR**, con lo cual según el manual del MTC, el pavimento brinda condiciones regulares de servicio a los usuarios. Sin embargo requiere ser intervenido inmediatamente, según la calificación de condición correspondería una intervención de “**Mantenimiento Periódico**” ya que puede deteriorarse más y entrar a la condición de **MALO**, la cual correspondería a una intervención de “**Rehabilitación**”, donde el costo sería muy elevado.

Hallando un valor promedio para determinar la condición del pavimento (MTC) para las 44 unidades de muestreo, se tiene como resultado un valor numérico de “789”, lo que equivale a un estado de clasificación de **REGULAR**, para la vía **EMP. PE-3S (DV. ATUNCOLLA)-ATUNCOLLA (CIUDAD)**.

METODOLOGIA	CLASIFICACION PROMEDIO	ESTADO
MANUAL DEL MTC	789	REGULAR

4.5. COMPARACIÓN DEL MÉTODO PCI Y EL MANUAL DE CARRETERAS-CONSERVACIÓN VIAL O MANTENIMIENTO DEL MTC.

4.5.1. Prueba T student para las muestras PCI y MTC

Para la aplicación de la prueba t student se ha estandarizado los parámetros de clasificación, adoptando el valor del MTC a PCI de acuerdo a la tabla N° 29

TABLA N° 29: estandarización de parámetros calificación

PCI		MTC		CARACTERÍSTICAS
CONDICIÓN	CLASIF.	CONDICIÓN	CLASIFICACIÓN	
EXCELENTE	>700	BUENO	>700	El pavimento no requiere acción especial sólo mantenimiento menor
MUY BUENO				
BUENO	400-700	REGULAR	>400 y <700	Condicion intermedia. Acciones Recomendables /diferibles
REGULAR				
MALO	<400	MALO	<400	El pavimento requiere mejoras
MUY MALO				
FALLADO				

FUENTE: Elaboración Propia.

De acuerdo a la tabla N° 29 se tiene el siguiente resumen de las dos muestras con las calificaciones estandarizadas.

TABLA N° 30: Resumen de muestras de PCI Y MTC

PROGRESIVA	PCI	MTC
Km 00+000-00+600	420.00	790.00
Km 00+600-01+200	250.00	788.00
Km 01+200-01+800	110.00	800.00
Km 01+800-02+600	250.00	805.00
Km 02+600-03+200	490.00	785.00
Km 03+200-03+800	460.00	815.00
Km 03+800-04+400	500.00	783.00
Km 04+400-05+200	300.00	794.00
Km 05+200-05+800	240.00	837.00
Km 05+800-06+400	330.00	806.00
Km 06+400-07+000	110.00	775.00
Km 07+000-07+800	170.00	773.00
Km 07+800-08+400	220.00	764.00
Km 08+400-08+800	260.00	709.00

FUENTE: Elaboración Propia

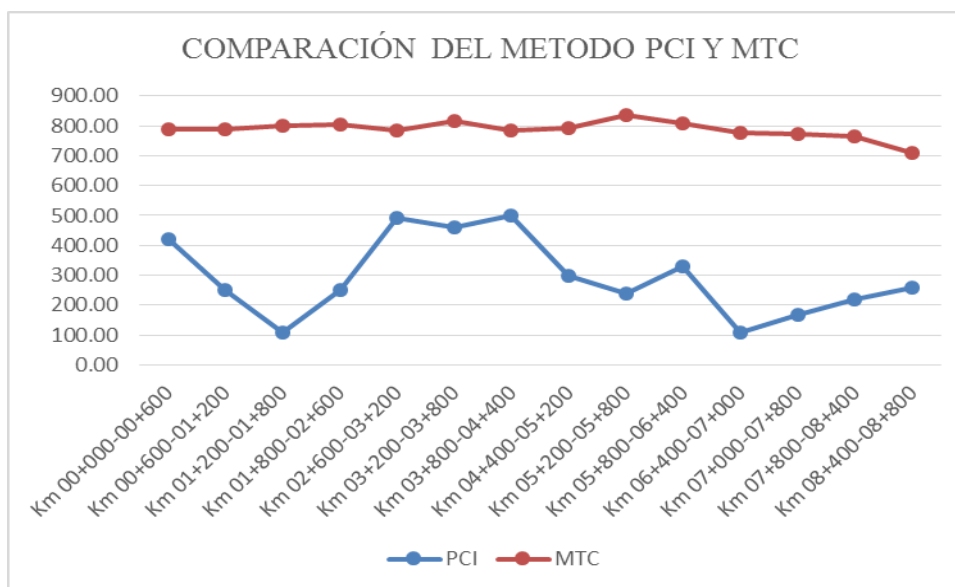


FIGURA: N° 30: Perfil comparativo metodologías MTC Y PCI

FUENTE: Elaboración Propia

Como se puede verificar en la figura N° 30, se nota que hay diferencias entre las curvas de PCI y MTC, pero para ver si existen diferencias entre las dos variables analizadas, no solamente tienen que ser aparentes, sino, tiene que ser estadísticamente significativas, para este fin, se aplica la prueba estadística T-Student, que viene a ser la comparación entre dos promedios de muestras, sirve para hacer contraste de hipótesis nula(Ho) y la hipótesis alternativa(Ha).

Entonces se plantea lo siguiente:

Ho: M(PCI)=M(MTC),no hay diferencia entre medias, P<=0.05(5%)

Ha: M(PCI) ≠ M(MTC),si hay diferencia entre medias.

,Para tal caso se necesita la Media y varianza, entonces de la tabla N° 30 se tiene:

PCI

Media Simple: $x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$; $x=293.57$

Varianza : $s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i-x)^2}{n-1}$, $S^2=17086$.

Desviación estándar: $S = \sqrt{S^2}$;29.31.

MTC

Media Simple: $x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$; $X=787.43$.

VARIANZA: $s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i-x)^2}{n-1}$; $S^2=17086.26$

DESVIACION: $S = \sqrt{S^2}$; $S=130.71$

Según los datos se tiene el siguiente resultado de T-student.

TABLA N° 31: Prueba T para dos muestras.

DESCRIPCIÓN	PCI	MTC
Media	293.571	787.4285714
Varianza	17086.263	859.032967
Grados de libertad	26	
Estadístico t	-13.793	
P(T<=t) dos colas	1.801E-13	
Valor crítico de t (dos colas)	2.055529439	

FUENTE: *Elaboración Propia.*

Como se puede ver los resultados en la tabla N° 30, el P(T<=) es menor que 0.05(5%),entonces se puede decir que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto se llega a la conclusión de que hay diferencia y estadísticamente es significativa.

TABLA N° 32: Comparación de fallas del PCI Y MTC

MTC		PCI	
Nº	TIPOS DE FALLAS	Nº	TIPOS DE FALLAS
1	Piel de cocodrilo	1	Piel de cocodrilo
2	Fisuras Longitudinales	2	Fisuras longitudinales y transversales (2,8)
3	Deformacion por deficiencia Estructural	3	Depresiones
4	Ahuellamiento	4	Ahuellamiento
5	Reparacion o parchado	5	Parches y parches de cortes Utilitarios
6	Peladura y desprendimiento	6	Peladura por intemperismo.
7	Baches (Huecos)	7	Baches
8	Fisuras transversales	8	Fisuras longitudinales y transversales
9	Exudación.	9	Exudación
10	Daños puntuales.	10	Fisuras de borde
11	Desnivel Calzada - Berma.	11	Fisuras en bloque
		12	Abultamiento y hundimiento
		13	Corrugaciones
		14	Fisurade reflexion de junta
		15	Agregado pulidos
		16	Desplazamiento
		17	Fisura parabolica o por deslizamiento
		18	Hinchamientos
		19	Cruse de via ferrea

FUENTE: *Elaboración Propia.*

En la tabla N° 32 se muestra la diferencia de tipos de falla que existe, el método del PCI tiene 19 tipos de fallas para calzadas y bermas, en cambio el manual del MTC solo tiene 11 tipos de fallas, 9 fallas para la calzada y 2 para bermas, por lo que el método del PCI tiene mayor alcance para evaluar la condición de una vía.

TABLA N° 33: Comparación del PCI y el Manual de Mantenimiento del MTC

N°	PROGRESIVA		PCI	CLASIFICACIÓN	PROGRESIVA		MTC	CLASIFICACIÓN
	INICIO	FINAL			INICIO	FINAL		
1					Km 00+00	Km 00+200	784	REGULAR
2	Km 00+000	Km 00+050	42.00	REGULAR	Km 00+200	Km 00+400	788	REGULAR
3					Km 00+400	Km 00+600	799	REGULAR
4					Km 00+600	Km 00+800	847	BUENO
5	Km 00+650	Km 00+700	25.00	MALO	Km 00+800	Km 01+000	757	REGULAR
6					Km 01+000	Km 01+200	761	REGULAR
7					Km 01+200	Km 01+400	798	REGULAR
8	Km 01+300	Km 01+350	11.00	MUY MALO	Km 01+400	Km 01+600	758	REGULAR
9					Km 01+600	Km 01+800	846	BUENO
10					Km 01+800	Km 02+000	768	REGULAR
11	Km 01+950	Km 02+000	25.00	MALO	Km 02+000	Km 02+200	798	REGULAR
12					Km 02+200	Km 02+400	860	BUENO
13					Km 02+400	Km 02+600	795	REGULAR
14					Km 02+600	Km 02+800	824	BUENO
15	Km 02+600	Km 02+650	49.00	REGULAR	Km 02+800	Km 03+000	774	REGULAR
16					Km 03+000	Km 03+200	758	REGULAR
17					Km 03+200	Km 03+400	761	REGULAR
18	Km 03+250	Km 03+300	46.00	REGULAR	Km 03+400	Km 03+600	799	REGULAR
19					Km 03+600	Km 03+800	885	BUENO
20					Km 03+800	Km 04+000	861	BUENO
21	Km 03+900	Km 03+950	50.00	REGULAR	Km 04+000	Km 04+200	768	REGULAR
22					Km 04+200	Km 04+400	721	REGULAR
23					Km 04+400	Km 04+600	761	REGULAR
24	Km 04+550	Km 04+600	30	MALO	Km 04+600	Km 04+800	852	BUENO
25					Km 04+800	Km 05+000	755	REGULAR
26					Km 05+000	Km 05+200	811	BUENO
27					Km 05+200	Km 05+400	799	REGULAR
28	Km 05+200	Km 05+250	24	MUY MALO	Km 05+400	Km 05+600	867	BUENO
29					Km 05+600	Km 05+800	846	BUENO
30					Km 05+800	Km 06+000	797	REGULAR
31	Km 05+850	Km 05+900	33	MALO	Km 06+000	Km 06+200	741	REGULAR
32					Km 06+200	Km 06+400	880	BUENO
33					Km 06+400	Km 06+600	740	REGULAR
34	Km 06+500	Km 06+550	11	MUY MALO	Km 06+600	Km 06+800	787	REGULAR
35					Km 06+800	Km 07+000	798	REGULAR
36					Km 07+000	Km 07+200	804	BUENO
37	Km 07+150	Km 07+200	17	MUY MALO	Km 07+200	Km 07+400	798	REGULAR
38					Km 07+400	Km 07+600	761	REGULAR
39					Km 07+600	Km 07+800	732	REGULAR
40					Km 07+800	Km 08+000	803	BUENO
41	Km 07+800	Km 07+850	22	MUY MALO	Km 08+000	Km 08+200	772	REGULAR
42					Km 08+200	Km 08+400	719	REGULAR
43					Km 08+400	Km 08+600	749	REGULAR
44	Km 08+450	Km 08+500	26	MALO	Km 08+600	Km 08+800	670	REGULAR
45					Km 08+800	Km 09+000		

FUENTE: Elaboración Propia.

De acuerdo a los valores en la **Tabla N° 33** se tiene la clasificación y el estado de PCI y el Manual de MTC.

TABLA N° 34: Promedio de clasificación y estado de los métodos PCI y MTC

METODOLOGIA	CLASIFICACIÓN	ESTADO
	PROMEDIO	
PCI	29	MALO
MTC	789	REGULAR

FUENTE: Elaboración Propia.

Haciendo la comparación de los dos métodos vemos que se obtiene un promedio similar en el estado de las unidades de muestreo, en el método PCI

obtenemos como resultado promedio una clasificación de **MALO**, y con el Manual de Carreteras-Mantenimiento o Conservación Vial del MTC una clasificación de **REGULAR**, estas dos metodologías no tienen los mismos parámetros de clasificación, El método PCI ofrece un rango más completo de calificación ya que posee 7 rangos para calificar desde 0 que es una superficie fallada hasta 100 que es una superficie en excelentes condiciones, en comparación con el Manual del MTC que solo tiene 3 rangos para calificar, que van de 0-300 para superficie MALO, 300-800 para superficies REGULAR y 800 -1000 para superficies BUENA.

Para tener una comparación real de las escalas usadas por el métodos PCI con el manual del MTC, se unificaron criterios transformando la escala del PCI de 7 a 3 categorías, reagrupando las calificaciones Excelente y Muy Bueno como calificación **ALTA**; Bueno, Regular y Malo como calificación **MEDIA**; Muy Malo y Fallado como calificación **BAJA**.

La diferencia ocurre por la calificación del método PCI es muy severo y considera más tipos de daños y en un área menor, en cambio el Manual del MTC considera menos tipos de daños y el área de muestra es mayor, la calificación de los daños lo castiga con menor severidad que el PCI.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

- 1) En la vía evaluado **EMP. PE-3S (DV. ATUNCOLLA)-ATUNCOLLA** de acuerdo con los cálculos realizados, los datos obtenidos y la evaluación de las condiciones del pavimento para las metodologías PCI, se obtuvo como resultado las calificaciones de **MALO** con tendencia a **MUY MALO**.
- 2) **Manual de Carreteras-Mantenimiento o Conservación Vial del MTC** se obtuvo un valor total deducido de 29, de deterioro superficial **REGULAR** y con tendencia a **BUENO** que dio como resultado un valor numérico de condición del pavimento de 789 muy cerca al intervalo 800-100 que es la escala de un pavimento bueno.

En la evaluación de la condición superficial de la vía con el Manual de carreteras del MTC, clasifica en dos grandes categorías; los deterioros de fallas estructurales, fallas superficiales y bermas, con 11 tipos de fallas y tres niveles de gravedad, es un método sencillo, de fácil entendimiento tanto en el cálculo como en su aplicación.

- 3) Teniendo estos resultados la desventaja que tiene el Manual del MTC es en los niveles de gravedad, donde el castigo es muy flexible y no tiene un nivel de puntaje para cada nivel de gravedad(Gravedad 1,Gravedad 2,Gravedad 3),ya que al calcular con Gravedad 1,gravedad 2 y con gravedad 3 ,el resultado de la extensión promedio ponderado es el mismo, otra desventaja es que evalúa la vía cada 200m sin especificar el área máximo, ya que la calzada puede tener un ancho 5,6,7m, que para el evaluador es muy extenso, complicado y el resultado no es fiable ,y otro punto que se observó es que la evaluación es de toda la vía que implica más costo y tiempo, en cambio el método PCI evalúa la mayoría de los daños que se pueda presentar en el pavimento flexible, envuelve 19 tipos de daños y posee siete escalas para evaluar la condición del pavimento y sus cálculos para determinar la clasificación de los daños son más completos y detallados por niveles de severidad de daño, lo que hace que tome más tiempo en su análisis y evaluación en la muestra, además es un método de evaluación de condición superficial de pavimentos más difundido en el Perú y otros países.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

Para el mantenimiento de pavimentos flexibles, se recomienda el uso del método del PCI, por ser uno de los métodos más completo y eficiente y optimiza tiempo y costos, ya que puede evaluar carreteras de mayor longitud en menor tiempo ya que la evaluación es aleatoria, en comparación con el manual del MTC que lo hace toda la carretera en forma continua y que requiere más costo y tiempo.

Para el uso del manual de carreteras-mantenimiento o conservación vial del MTC, se debe tener en cuenta algunos detalles para obtener un buen resultado, como son; la muestra de 200m de longitud se debe fraccionar en tramos de 50m y con un área máxima de 250 m², para mejor evaluación y detallada de los tipos de daños que presente el pavimento.

Las carreteras son un bien público y son elementos esenciales de integración territorial, de comunicación e inclusión social, por lo que se recomienda ampliar los trabajos de investigación, referente a la aplicación de otros métodos de evaluación de la condición superficial de pavimentos flexibles en carreteras de bajo volumen de tránsito, donde se usan otros tipos de tratamientos superficiales, con la finalidad de contar en nuestro medio con alternativas para la evaluación de los pavimentos básicos, para así dar un servicio de calidad al usuario.

CAPÍTULO VII

7. BIBLIOGRAFIA

- AASHTO. (1986). Guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos. U.S.
- ALAVE AGUILAR, J. C. (2013). *Evaluación del Micro Pavimento Slurry Seal Tipo II, Mediante Deflectometría y Rugosidad; En la carretera IIRSA Sur-Tramo V; Torata-Humajalso, Km 59+000 AL Km 61+000, Después de 2 Años de Aplicación*. Puno-Peru: Universidad Nacional del Altiplano.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2018). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*. U.S.
- DEL AGUILA, R. P. (2010). *Manual del Usuario "Merlin", Merlin equipo para Rugosidad*.
- MEDINA DE LA CRUZ, A., & DE LA CRUZ PUMA, M. (06 de JUNIO de 2017). *Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/581505>
- MEDINA PALACIOS, A., & DE LA CRUZ PUMA, M. (2015). *Evaluación superficial del pavimento flexible del jr José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI*. LIMA: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- MINAYA GONZÁLES, S. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos (Segunda Edición)*. LIMA: I.C.G.
- MTC. (2003). Reglamento Nacional de vehículos, D.S. N° 058-2003. Lima, Lima, Peru: M.T.C.
- PERU, M. D. (2014). <http://www.mtc.gob.pe/>. Obtenido de Manual de Carreteras-Mantenimiento o Conservación Vial.
- PERU., M. D. (2013). *Manual de Carreteras " Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos" Sección: Suelos y Pavimentos*. LIMA: Ministerio de Transportes y Comunicaciones .
- RODRIGUEZ VELASQUEZ, E. D. (05 de Octubre de 2009). *Cálculo del Índice de Condición del Pavimento Flexible en la Av. Luis Montero, Distrito de Castilla*. Piura, Piura, Peru.

- SACVISA. (20 de agosto de 2018). *www.sacvisa.com*. Obtenido de <http://www.sacvisa.com.mx/sellado-de-grieta-en-asfalto/>
- SIGNOVIAL. (2018). *www.signovial.pe*. Obtenido de <http://signovial.pe/blog/visibilidad-zonas-trabajo/>
- VIAL, R. (20 de Agosto de 2018). *Revistavial.com*. Obtenido de <http://revistavial.com/comparacion-de-los-costos-del-ciclo-de-vida-de-tres-alternativas-de-mantenimiento-y-rehabilitacion-de-pavimentos/>
- VIGEEKLA. (15 de Octubre de 2018). *www.vigeeclub.com*. Obtenido de http://www.vigeeclub.com/portfolio_category/viga-benkelman-de-doble-brazo/

ANEXOS

ANEXO N° 01: HOJAS DE AFORO DE VEHÍCULOS

ANEXO N° 02: HOJAS DE CÁLCULO DE IRI

ANEXO N° 03: HOJAS DE CÁLCULO DEL MÉTODO PCI

ANEXO N° 04: HOJAS DE CÁLCULO DEL MANUAL DEL MTC.

ANEXO N° 05: PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO N° 06: ÁBACOS DE ASTM D643-18 PARA EL METODO PCI