



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



**PROPUESTA DEL SISTEMA DE GESTIÓN SOSTENIBLE DE  
CONSERVACIÓN PARA OPTIMIZAR EL CICLO DE VIDA Y  
SERVICIABILIDAD DE LOS PAVIMENTOS URBANOS, CENTRO  
HISTÓRICO DE PUNO, 2019**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. BLANCA MILAGROS COAQUIRA VELASQUEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

La presente tesis, se la dedico a Dios por mostrarme sus bendiciones en cada momento de mi vida, y por regalar un mundo tan maravilloso para disfrutarlo. A mis padres Graciela y Roger, quienes me han apoyado incondicionalmente con entusiasmo y amor, otorgándome la confianza y fortaleza para lograr mis sueños y metas de vida. A mi hermana Margaret quien me inspira todos los días a crecer, aprender y mejorar en todos los aspectos de mi vida.



## AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano, y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por brindarme una formación académica holística y competitiva.

Al Ingeniero Mariano Roberto García Loayza, asesor de la investigación, quien fue mi guía, apoyo y orientador durante el desarrollo de esta investigación.

A mis grandes amigos Leydi, Mewis, Fernando, Oliver, Wilson, Liliana, Mirella, Samantha, Ciro, y Gerson con quienes he compartido amistad, risas, sueños, anhelos y momentos inolvidables durante la universidad.



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 16**

**ABSTRACT..... 17**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

1.1.	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	19
1.2.1.	Problema general. ....	19
1.2.2.	Problemas específicos.....	19
1.3.	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
1.3.1.	Hipótesis general.....	20
1.3.2.	Hipótesis específicas.....	20
1.4.	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
1.5.	OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN .....	21
1.5.1.	Objetivo general.....	21
1.5.2.	Objetivos específicos.....	21
1.6.	VARIABLES .....	21
1.6.1.	Variable independiente. ....	21
1.6.2.	Variable dependiente. ....	21
1.7.	MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	22

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	23
2.2.	MARCO TEÓRICO.....	27
2.2.1.	Pavimentos.....	27
2.2.2.	Normativa para pavimentos urbanos .....	29
2.2.3.	Sistema de gestión de conservación de los pavimentos.....	29



2.2.4. Niveles de gestión de pavimentos.....	32
2.2.5. Estructura de un SGPU a Nivel de Red .....	33
2.2.6. Inventario de fallas.....	34
2.2.7. Evaluación de pavimento.....	34
2.2.8. Cálculo del porcentaje de Pavimentos por cada rango de Condición.....	45
2.2.9. Cálculo del PCI representativo. ....	46
2.2.10. Conservación de pavimentos. ....	48
2.2.11. Estimación de Costos.....	50
2.2.12. Presupuesto disponible para la conservación de pavimentos. ....	52
2.2.13. Modelamiento de deterioro de los pavimentos. ....	52
2.2.14. Optimización matemática. ....	58
2.2.15. Ciclo de vida de un pavimento. ....	63
2.2.16. Serviciabilidad. ....	65

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO .....	67
3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO.....	68
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO .....	68
3.3.1. Población objetivo. ....	68
3.3.2. Muestra. ....	68
3.4. PROCEDIMIENTO .....	70
3.4.1. Instrumentos de Investigación .....	70
3.4.2. Metodología de recolección de datos.....	72
3.4.3. Plan de Análisis y Aplicación del SGCOPI .....	72
3.4.4. Base de datos para el desarrollo de la Investigación .....	75
3.4.5. Procedimiento de Inspección y Recolección de Información: PCI .....	78
3.4.6. Presupuesto disponible para la conservación de vías .....	84
3.5. DESARROLLO DEL SGCOPI .....	85
3.5.1. Sub sistema de Inventario de fallas.....	85
3.5.2. Sub sistema de evaluación de pavimento .....	87
3.5.3. Sub sistema de Estimación de costos de Conservación.....	91
3.5.4. Sub sistema de Modelamiento Predictivo de Deterioro.....	108
3.5.5. Sub sistema de Optimización.....	161
3.5.6. Evaluación de la Serviciabilidad (PSI) .....	184



3.5.7. Respecto a la evaluación Estructural ..... 184

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. RESULTADOS ..... 187

4.1.1. Pavimentos Mixtos ..... 187

4.1.2. Pavimento Rígido ..... 191

4.1.3. Pavimentos Articulado..... 195

4.2. DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN ..... 198

**V. CONCLUSIONES..... 200**

**VI. RECOMENDACIONES ..... 201**

**VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 202**

**TEMA:** Sistema de Gestión de Conservación en Pavimentos Urbanos

**ÁREA:** Gestión Vial

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Transportes y Gestión Vial

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 23 de Diciembre del 2020



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura del Pavimento flexible .....	28
<b>Figura 2.</b> Estructura del Pavimento rígido .....	28
<b>Figura 3.</b> Estructura del Pavimento mixto .....	29
<b>Figura 4.</b> Estructura del Pavimento articulado .....	29
<b>Figura 5.</b> Modelo general de Sistemas.....	30
<b>Figura 6.</b> Curva de Valor de Deducción Corregido (VDC).....	41
<b>Figura 7.</b> Comportamiento del pavimento con mantenimiento preventivo .....	49
<b>Figura 8.</b> Captura de la ventana de Solver de Ms Excel .....	63
<b>Figura 9.</b> Ciclo de vida del pavimento sin mantenimiento .....	64
<b>Figura 10.</b> Ciclo de vida del pavimento con y sin mantenimiento .....	65
<b>Figura 11.</b> Ubicación geopolítica del área de estudio.....	67
<b>Figura 12.</b> Plano de la muestra de los pavimentos a evaluar e investigar. ....	69
<b>Figura 13.</b> Formato de registro para la inspección de pavimentos. ....	71
<b>Figura 14.</b> Mapa de vías para la recolección de datos .....	76
<b>Figura 15.</b> Segmentación de unidades de inspección (franjas).....	79
<b>Figura 16.</b> Segmentación de unidades de inspección (losa) .....	79
<b>Figura 17.</b> Segmentación de unidades de inspección (losa) .....	79
<b>Figura 18.</b> Ubicación y medición de las fallas presentes en el pavimento .....	80
<b>Figura 19.</b> Ubicación y medición de la falla “Grieta de Reflexión de junta” de severidad Leve.....	80
<b>Figura 20.</b> Falla en pavimento Rígido, “Grieta de esquina” de severidad Alta.....	81
<b>Figura 21.</b> Falla en pavimento Rígido, “Parcheo Grande” de severidad Alta. ....	82
<b>Figura 22.</b> Falla en pavimento Rígido, “Mapa de Grietas” de severidad Alta. “Parcheo grande” de severidad alta, “Grietas lineales” de severidad Alta.....	82



<b>Figura 23.</b> Falla en pavimento Mixto, “Grieta de reflexión de junta” de severidad Alta, y “Parches” de severidad Alta.....	83
<b>Figura 24.</b> Falla en pavimento Mixto, “Grieta de borde” de severidad Alta. ....	83
<b>Figura 25.</b> Curva de deterioro de los Pavimentos Mixtos, Sin Mantenimiento.....	118
<b>Figura 26.</b> Curva de deterioro de los Pavimentos Mixtos, Con Mantenimiento .....	124
<b>Figura 27.</b> Curva de deterioro de los Pavimentos Rígidos Sin Mantenimiento.....	137
<b>Figura 28.</b> Curva de deterioro de los Pavimentos Rígidos, Con Mantenimiento .....	144
<b>Figura 29.</b> Curva de deterioro de los Pavimentos Articulado, Sin Mantenimiento. ..	154
<b>Figura 30.</b> Curva de deterioro de los Pavimentos Articulado, Con Mantenimiento ..	159
<b>Figura 31.</b> Comparación de la curva de ciclo de vida de los pavimentos mixtos en los 3 escenarios.....	188
<b>Figura 32.</b> Comparación de la curva de ciclo de vida de los pavimentos rígidos en los 3 escenarios.....	192
<b>Figura 33.</b> Comparación de la curva de ciclo de vida de los pavimentos articulados en los 3 escenarios. ....	196





## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Matriz de consistencia del trabajo de investigación. ....	22
<b>Tabla 2.</b> Rangos de la Clasificación del PCI.....	35
<b>Tabla 3.</b> Rangos de la Clasificación del PCI, Pavimento articulado. ....	36
<b>Tabla 4.</b> Fallas del Pavimento Flexible, mixto y Rígido (PCI).....	37
<b>Tabla 5.</b> Curva de Valor de Deducción Corregido (VDC) .....	38
<b>Tabla 6.</b> Factores de penalización para el Índice de Condición Estructural, ICE.....	43
<b>Tabla 7.</b> Factores de penalización para el Índice de Condición Funcional, ICF .....	43
<b>Tabla 8.</b> Matriz para el cálculo del ICP .....	44
<b>Tabla 9.</b> Valores promedio PCI .....	46
<b>Tabla 10.</b> Valores promedio ICP .....	46
<b>Tabla 11.</b> Matriz de Probabilidades de Transición general.....	56
<b>Tabla 12.</b> Matriz de distribución de % de Pavimentos en el año (t+1).....	58
<b>Tabla 13.</b> Rangos y niveles de condición PSI.....	65
<b>Tabla 14.</b> Vías de la muestra a inspeccionar con Pavimento Mixto .....	77
<b>Tabla 15.</b> Vías de la muestra a inspeccionar con Pavimento Rígido .....	77
<b>Tabla 16.</b> Vías de la muestra a inspeccionar con Pavimento Articulado.....	78
<b>Tabla 17.</b> Resumen de Vías del Centro de Puno por Tipo de pavimento .....	78
<b>Tabla 18.</b> Extracto del Inventario de fallas para pavimento Mixto, Rígido y Articulado del Anexo B. ....	86
<b>Tabla 19.</b> Resumen de PCI por cada unidad de inspección, Pavimento Mixto. ....	87
<b>Tabla 20.</b> Resumen del % de Pavimentos Mixtos por cada rango.....	88
<b>Tabla 21.</b> Resumen de PCI por cada unidad de inspección, Pavimento Rígido. ....	89
<b>Tabla 22.</b> Resumen del % de Pavimentos Rígidos por cada rango.....	90
<b>Tabla 23.</b> Resumen de PCI por cada unidad de inspección, Pavimento Articulado....	90



<b>Tabla 24.</b> Resumen del % de Pavimentos Articulado por cada rango. ....	91
<b>Tabla 25.</b> Estrategias de mantenimiento para Pavimentos Mixtos. ....	92
<b>Tabla 26.</b> Cálculo del PCI por Condición, Pavimento mixto .....	94
<b>Tabla 27.</b> Estrategias de mantenimiento para Pavimentos mixtos.....	95
<b>Tabla 28.</b> Estimación de costo de mantenimiento por m2, Pavimento Mixto .....	96
<b>Tabla 29.</b> Presupuesto disponible para Pavimentos Mixtos.....	97
<b>Tabla 30.</b> Estrategias de mantenimiento para Pavimentos Rígidos .....	98
<b>Tabla 31.</b> Cálculo del PCI por Condición, Pavimento rígido .....	99
<b>Tabla 32.</b> Costo de conservación, Pavimento Rígido .....	100
<b>Tabla 33.</b> Estimación de costo de mantenimiento por m2, Pavimento rígido .....	101
<b>Tabla 34.</b> Presupuesto disponible para Pavimentos Rígidos .....	102
<b>Tabla 35.</b> Estrategias de mantenimiento para Pavimentos Articulado.....	103
<b>Tabla 36.</b> Cálculo del PCI por Condición, Pavimento Articulado.....	105
<b>Tabla 37.</b> Costo de aplicación de estrategias para toda el área de unidad de inspección, Pavimento Articulado. ....	106
<b>Tabla 38.</b> Estimación de costo de mantenimiento por m2, Pavimento articulado.....	107
<b>Tabla 39.</b> Presupuesto disponible para Pavimentos Articulado.....	107
<b>Tabla 40.</b> Matriz de Probabilidad de Transición, Escenario 01: Sin Mantenimiento, Pavimento mixto.....	109
<b>Tabla 41.</b> Cadenas de Matrices de deterioro para un pavimento mixto nuevo, Sin Mantenimiento .....	110
<b>Tabla 42.</b> Resumen del PCI anual del Pavimento Mixto nuevo, sin mantenimiento...	114
<b>Tabla 43.</b> Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Mixtos, con el Escenario 01: Sin Mantenimiento.....	115



<b>Tabla 44.</b> Resumen del PCI anual y del modelamiento de deterioro de los Pavimentos Mixtos, Sin Mantenimiento. ....	117
<b>Tabla 45.</b> Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Mixtos Sin Mantenimiento (2019 – 2029) .....	119
<b>Tabla 46.</b> Matriz de Probabilidad de Transición, Escenario 02: Con Mantenimiento, Pavimento mixto. ....	120
<b>Tabla 47.</b> Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Mixtos, con el Escenario 02: Con Mantenimiento .....	121
<b>Tabla 48.</b> Resumen del PCI anual y del modelamiento de deterioro de los Pavimentos Mixtos, Con Mantenimiento. ....	123
<b>Tabla 49.</b> Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Mixtos Con Mantenimiento (2019 – 2029) .....	125
<b>Tabla 50.</b> Matriz de Probabilidad de Transición, Escenario 01: Sin Mantenimiento, Pavimento Rígido.....	127
<b>Tabla 51.</b> Cadenas de Matrices de deterioro para un pavimento rígido nuevo, Sin Mantenimiento .....	128
<b>Tabla 52.</b> Resumen del PCI anual del Pavimento Rígido nuevo, sin mantenimiento. ....	133
<b>Tabla 53.</b> Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Rígidos, con el Escenario 01: Sin Mantenimiento.....	134
<b>Tabla 54.</b> Resumen del PCI anual y del modelamiento de deterioro de los Pavimentos Rígidos Sin Mantenimiento. ....	136
<b>Tabla 55.</b> Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Rígidos Sin Mantenimiento (2019 – 2029) .....	139
<b>Tabla 56.</b> Matriz de Probabilidad de Transición, Escenario 02: Con Mantenimiento, Pavimento rígido. ....	140



<b>Tabla 57.</b> Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Rígidos, con el Escenario 02: Con Mantenimiento .....	141
<b>Tabla 58.</b> Resumen del PCI anual y del modelamiento de deterioro de los Pavimentos Rígidos Con Mantenimiento. ....	143
<b>Tabla 59.</b> Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Rígidos Con Mantenimiento (2019 – 2029) .....	145
<b>Tabla 60.</b> Matriz de Probabilidad de Transición, Escenario 01: Sin Mantenimiento, Pavimento Articulado. ....	147
<b>Tabla 61.</b> Cadenas de Matrices de deterioro para un pavimento articulado nuevo, Sin Mantenimiento .....	147
<b>Tabla 62.</b> Resumen del ICP anual del Pavimento Articulado nuevo, sin mantenimiento. ....	150
<b>Tabla 63.</b> Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Articulado, con el Escenario 01: Sin Mantenimiento.....	151
<b>Tabla 64.</b> Resumen del ICP anual y del modelamiento de deterioro de los Pavimentos Articulado, Sin Mantenimiento. ....	153
<b>Tabla 65.</b> Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Articulado Sin Mantenimiento (2019 – 2029) .....	155
<b>Tabla 66.</b> Matriz de Probabilidad de Transición, Escenario 02: Con Mantenimiento, Pavimento articulado.....	156
<b>Tabla 67.</b> Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Articulado, con el Escenario 02: Con Mantenimiento .....	157
<b>Tabla 68.</b> Resumen del PCI anual y del modelamiento de deterioro de los Pavimentos Articulado Con Mantenimiento.....	158



<b>Tabla 69.</b> Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Articulado Con Mantenimiento (2019 – 2029) .....	160
<b>Tabla 70.</b> Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Mixtos, con el Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.....	163
<b>Tabla 71.</b> Porcentajes de pavimentos Mixtos con mantenimiento y sin mantenimiento - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.....	166
<b>Tabla 72.</b> Resumen de Modelamiento de deterioro de pavimentos Mixtos - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.....	166
<b>Tabla 73.</b> Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Mixtos Con Mantenimiento Optimizado (2019 – 2029).....	168
<b>Tabla 74.</b> Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Rígidos, con el Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.....	170
<b>Tabla 75.</b> Porcentajes de pavimentos Rígidos con mantenimiento y sin mantenimiento - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.....	173
<b>Tabla 76.</b> Resumen de Modelamiento de deterioro de pavimentos Rígidos - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado. ....	173
<b>Tabla 77.</b> Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Rígidos Con Mantenimiento Optimizado (2019 – 2029).....	175
<b>Tabla 78.</b> Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Articulado, con el 03: Con Mantenimiento Optimizado .....	177
<b>Tabla 79.</b> Porcentajes de pavimentos Articulado con mantenimiento y sin mantenimiento - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado. ....	180
<b>Tabla 80.</b> Resumen de Modelamiento de deterioro de pavimentos Articulado - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado. ....	181



<b>Tabla 81.</b> Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Articulado Con Mantenimiento Optimizado (2019 – 2029).....	183
<b>Tabla 82.</b> Correlación PCI – IRI- PSI.....	184
<b>Tabla 83.</b> Resultados del ensayo de Viga Benkelman en la 3ra cuadra del Jr. Tacna.	185
<b>Tabla 84.</b> Comparación del PCI anual de los pavimentos mixtos en los 3 Escenarios. .....	187
<b>Tabla 85.</b> Comparación del PCI anual de los pavimentos mixtos en los 3 Escenarios. .....	190
<b>Tabla 86.</b> Comparación del PCI anual de los pavimentos rígidos en los 3 Escenarios. .....	191
<b>Tabla 87.</b> Comparación del PCI anual de los pavimentos rígidos en los 3 Escenarios. .....	194
<b>Tabla 88.</b> Comparación del ICP anual de los pavimentos articulados en los 3 Escenarios. .....	195
<b>Tabla 89.</b> Comparación del ICP anual de los pavimentos articulados en los 3 Escenarios. .....	198



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

SGPU: Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos

SGCOPU: Sistema de Gestión de Conservación de Pavimentos Urbanos

SGP: Sistema de Gestión de Pavimentos

PCI: Pavement Condition Index (Índice de Condición de Pavimentos)

PSI: Pavement Serviceability Index (Índice de Serviciabilidad de Pavimentos)

IRI: International Roughness Index (Índice Regularidad Internacional)

ICP: Índice de Condición de Pavimentos

ASTM: American Society of Testing Materials

VD: Valor Deducido

VDT: Valor deducido Total

VDC: Valor deducido corregido

MPT: Matriz de Probabilidad de Transición.

[Y]: Vector con cantidades de unidades de inspección por cada Rango de Condición.

[X]: Vector con porcentajes de pavimentos en cada Rango de Condición.

[V]: Vector con valores promedio de PCI o ICP por cada rango.

[X]: Vector con porcentajes de pavimentos en cada rango PCI o ICP

[C]: Vector con los costos unitarios de conservación por m<sup>2</sup> para cada rango de condición.

[T]: Vector con los costos totales de conservación para cada rango de condición.

[CM]: Vector con porcentajes Con Mantenimiento por cada rango

[SM]: Vector con porcentajes Sin Mantenimiento por cada rango

[P]: Matriz de probabilidades de transición.

%CM: Porcentaje de Pavimentos Con Mantenimiento

%SM: Porcentaje de Pavimentos Sin Mantenimiento



## RESUMEN

La presente tesis expone el desarrollo de un “Sistema de Gestión de Conservación de los Pavimentos Urbanos - SGCOPU”, que al aplicarlo mejoraría las condiciones funcionales a nivel de red, optimizando el ciclo de vida y la serviciabilidad de los pavimentos. Con tal objetivo, se han tomado como muestras de investigación los pavimentos de las vías urbanas del centro de la ciudad de Puno. De esta manera, se plantea orientar una mejor planificación y optimización de los recursos públicos a invertir en la conservación de los pavimentos urbanos, en un horizonte de investigación de diez años (2020 – 2029). Por ello, se plantea el “SGCOPU” desarrollado en cinco Subsistemas, y con el fin de validar la hipótesis planteada, se compara los resultados de tres escenarios: “Escenario 01: Sin Mantenimiento”, “Escenario 02: Con Mantenimiento” y “Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado”. Finalmente, al comparar los Escenarios 01 y 03 se obtuvo que al intervenir en mantenimiento oportuno y optimizado, el ciclo de vida de los pavimentos se optimiza positivamente. Además, al comparar los Escenarios 02 y 03 se obtuvo que al invertir sin planificación un presupuesto mayor al disponible, desde el año 2023 los pavimentos se encontrarán en condición “Muy bueno”, asimismo, al invertir de forma optimizada sólo el presupuesto disponible, se obtiene la misma condición de pavimentos. En este sentido, se afirma que es conveniente la implementación del “SGCOPU” en la ciudad de Puno. Puesto que, al aplicar un mantenimiento oportuno, el estado de los pavimentos mejora, ampliando su ciclo de vida y brindando un mejor servicio a la ciudadanía. Asimismo, al ser un programa basado en modelos matemáticos, sirve como apoyo en la toma de decisiones sobre mantenimiento de vías urbanas, lo que permite un mejor manejo de los recursos económicos con un ahorro significativo.

**PALABRAS CLAVE:** Sistema, Gestión, Conservación, Pavimentos Urbanos, Ciclo de vida.





## ABSTRACT

This thesis presents the development of a "Urban Pavement Conservation Management System - SGCOPU", which, when applied, would improve the functional conditions at the red level, optimizing the life cycle and serviceability of the pavements. To this end, the pavements of urban roads in the center of the city of Puno have been taken as research samples. In this way, it is proposed to direct a better planning and optimization of public resources to invest in the conservation of urban pavements, in a research horizon of ten years (2020 - 2029). Therefore, the "SGCOPU" developed in five Subsystems is proposed, and in order to validate the hypothesis, the results of three scenarios are compared: "Scenario 01: Without Maintenance", "Scenario 02: With Maintenance" and "Scenario 03: With Optimized Maintenance". Finally, when comparing Scenarios 01 and 03, it was obtained that by intervening in timely and optimized maintenance, the life cycle of pavements is positively optimized. In addition, when comparing Scenarios 02 and 03 it was obtained that by investing without planning a greater than available, from the year 2023 the pavements will be in "Very good" condition, also, by investing in an optimized way only the available budget, it is the same condition of pavements. In this sense, it is stated that the implementation of the "SGCOPU" in the city of Puno is convenient. Since, by applying timely maintenance, the condition of the pavements improves, extending their life cycle and providing a better service to the public. Likewise, as it is a program based on mathematical models, it serves as support in making decisions about maintenance of urban roads, which allows better management of economic resources with significant savings.

**KEY WORDS:** System, Management, Conservation, Urban Pavements, Life Cycle.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Es muy importante que la infraestructura vial urbana tenga una adecuada calidad de sus pavimentos, ya que esto repercute en el desarrollo urbano de la sociedad. Al dar soporte a cientos de desplazamientos al día que involucran el tránsito de peatones, bicicletas, motocicletas, vehículos privados y vehículos de transporte público; constituyéndose en un elemento vertebrador esencial de la vida diaria de la sociedad.

Teniendo presente que aquello que no se mantiene hoy, mañana se deteriora. Se conoce que es más económico mantener una vía en buen estado, que una sumamente deteriorada, por lo tanto el costo de conservación será menor si el pavimento se repara oportunamente. Además, se conoce que, si los pavimentos se encuentran muy deteriorados, la labor será mucho más compleja tanto desde el punto de vista técnico, como desde el económico; sin embargo, es una labor imprescindible e inaplazable.

Por lo tanto, se requiere que los pavimentos conserven su mayor calidad posible, por esta razón, existe la necesidad de una adecuada planificación, priorización y optimización de recursos públicos. Además, las actividades de conservación preventiva en los pavimentos, permiten alargar su vida, de manera considerable.

Se ha observado que el problema de la deficiencia en el planeamiento y designación de presupuesto para el mantenimiento rutinario, recurrente, periódico y urgente de los pavimentos urbanos, trae como consecuencia el deterioro prematuro de estos. Por lo tanto, ocurre una mala calidad de servicio vial, un incremento de costo de operación vehicular para los usuarios, corto ciclo de vida y elevados costos de mantenimiento del pavimento, costos que serían menores aplicando oportunamente las estrategias de conservación.



En la actualidad, en la ciudad de Puno, la responsabilidad de la administración y mantenimiento de las vías vecinales y urbanas locales están en la jurisdicción de las Municipalidad Provincial de Puno, organismo que viene realizando proyectos a nivel de pavimentación y afirmado, e intentan solucionar problemas de mantenimiento vial a criterio social y político de manera aleatoria, basándose en solicitudes de la población. Sin embargo, se observa que el nivel de serviciabilidad de los pavimentos urbanos de la ciudad de Puno es muy bajo, consecuentemente el servicio de transporte vehicular no brinda confort ni seguridad e incrementa el tiempo de viaje de los usuarios. Esto ocurre debido a una deficiente planificación de estrategias que ayuden progresivamente al desarrollo vial urbano.

Estos argumentos hacen oportuno el planteamiento del “Sistema de Gestión de Conservación de los Pavimentos Urbanos - SGCOPU”, como herramienta de planificación y apoyo en la toma de decisiones para el mantenimiento de los pavimentos urbanos.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general.**

¿El ciclo de vida y serviciabilidad de los pavimentos en la ciudad de Puno, se optimiza sistematizando la gestión de conservación de los pavimentos urbanos?

### **1.2.2. Problemas específicos.**

- ¿Cuánto se optimiza el ciclo de vida de los pavimentos, con el sistema de gestión sostenible de conservación de pavimentos urbanos?
- ¿Cuánto se incrementa la serviciabilidad de los pavimentos, con el sistema de gestión sostenible de conservación de pavimentos?



### **1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Hipótesis general.**

La sistematización de la gestión de conservación de pavimentos urbanos, si optimiza el ciclo de vida y serviciabilidad de los pavimentos en la ciudad de Puno.

#### **1.3.2. Hipótesis específicas.**

- El sistema de gestión de conservación de los pavimentos urbanos, optimiza en un 30% el ciclo de vida de los pavimentos.
- El sistema de gestión sostenible de conservación de los pavimentos urbanos, incrementa en un 70 % el nivel de serviciabilidad de los pavimentos.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El Sistema de Gestión de Conservación vial es una herramienta fundamental para optimizar el tiempo y presupuesto, con una correcta planificación de los trabajos de conservación. Generando un orden de prioridad para las intervenciones de conservación o rehabilitación de los pavimentos urbanos de la ciudad de Puno.

El problema del deficiente planeamiento, priorización y designación de presupuesto, para la conservación de los pavimentos urbanos, trae como consecuencia el deterioro prematuro de estos. Por consiguiente, ocurre una mala calidad de servicio vial, un incremento de costo de operación vehicular para los usuarios, corto ciclo de vida, y elevados costos de mantenimiento de los pavimentos, costos que serían menores aplicando oportunamente las estrategias de conservación. Además, se observa que el nivel de serviciabilidad de los pavimentos urbanos de la ciudad de Puno es muy bajo, consecuentemente el servicio de transporte vehicular no brinda el confort, seguridad e incrementa el tiempo de viaje de los usuarios.



El “SGCOPU” propuesto busca mejorar aspectos económicos, ambientales, técnicos, sociales y de seguridad. Logrando así, una correcta distribución del presupuesto designado para el mantenimiento de las vías urbanas, esto a través de la aplicación oportuna de estrategias de conservación; obteniendo como resultado, la ampliación de la vida útil del pavimento mediante la optimización del ciclo de vida y mejoramiento de la serviciabilidad. Socialmente, esto se refleja en la reducción de tiempos de viaje, reducción de costos operativos del transporte, aumento del nivel de seguridad y confort brindado a la sociedad.

## **1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1. Objetivo general.**

Sistematizar la gestión de conservación de pavimentos urbanos para optimizar el ciclo de vida y serviciabilidad del pavimento en la ciudad de Puno.

### **1.5.2. Objetivos específicos.**

- Optimizar el ciclo de vida del pavimento urbano con el sistema de gestión de conservación.
- Incrementar el nivel de serviciabilidad de los pavimentos urbanos con el sistema de gestión de conservación.

## **1.6. VARIABLES**

### **1.6.1. Variable independiente.**

Sistema de gestión de conservación de los pavimentos.

### **1.6.2. Variable dependiente.**

- Ciclo de vida
- Serviabilidad

## 1.7. MATRIZ DE CONSISTENCIA

A continuación, se presenta la matriz de consistencia de la presente investigación.

**Tabla 1.** Matriz de consistencia del trabajo de investigación.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<b>Problema General</b> ¿El ciclo de vida y servicio de los pavimentos en la ciudad de Puno, se optimiza sistemáticamente la gestión de los pavimentos urbanos? ¿Cuánto se incrementa la sostenibilidad de los pavimentos, con el sistema de gestión sostenible de conservación de pavimentos urbanos?	<b>Objetivo General</b> Sistematizar la gestión de conservación de pavimentos urbanos para optimizar el ciclo de vida y servicio de conservación de los pavimentos urbanos en la ciudad de Puno.	<b>Hipótesis General</b> La sistematización de la gestión de conservación de pavimentos urbanos, si optimiza el ciclo de vida y servicio de conservación de los pavimentos en la ciudad de Puno.	<b>Variable independiente:</b> - Sistema de gestión de conservación de los pavimentos.	<b>NIVEL:</b> Según el nivel de profundización en el objeto de estudio se de tipo Explicativo. <b>LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:</b> Conservación de pavimentos urbanos <b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:</b> - Según el período temporal y el número de mediciones de la variable de estudio: <i>Transversal</i> - Según el número de variables analíticas: <i>Análítico</i> - Según su finalidad y el tipo de conocimientos a obtener: Aplicada - Según el tipo de inferencia de cómo funciona la realidad: Deductiva - Según el lugar donde se desarrolla la Investigación: de laboratorio.
<b>Problemas específicos</b> • ¿Cuánto se optimiza el ciclo de vida de los pavimentos, con el sistema de gestión sostenible de conservación de pavimentos urbanos? • ¿Cuánto se incrementa la sostenibilidad de los pavimentos, con el sistema de gestión sostenible de conservación de pavimentos urbanos?	<b>Objetivos específicos.</b> • Optimizar el ciclo de vida del pavimento urbano con el sistema de gestión de conservación. • Incrementar el nivel de sostenibilidad de los pavimentos urbanos con el sistema de gestión de conservación.	<b>Hipótesis específicas.</b> • El sistema de conservación de pavimentos urbanos, optimiza en un 30% el ciclo de vida de los pavimentos. • El sistema de gestión sostenible de conservación de los pavimentos urbanos, incrementa en un 70 % el nivel de servicio de conservación de los pavimentos.	<b>Variable dependiente:</b> - Ciclo de vida - Serviciabilidad	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Con respecto al Sistema de Gestión de Conservación Vial y el análisis de ciclo de vida los pavimentos, el autor concluye que:

Las estrategias de mantenimiento y rehabilitación de las estructuras del pavimento son de vital importancia a lo largo de su vida útil ya que éstas se van deteriorando con el tiempo y con el aumento gradual del tránsito. El objeto de la administración de pavimentos, es la preservación de la inversión inicial mediante la aplicación oportuna de tratamientos adecuados de mantenimiento y rehabilitación para prolongar la existencia del mismo. (Martínez, 2015, p.16)

Los Sistemas de Gestión sirven de apoyo a la toma de decisiones, con respecto a la aplicación oportuna de estrategias de conservación. De esta manera, Menéndez (2013) establece que:

La relación entre tiempo y deterioro no es lineal siendo la rapidez del deterioro cada vez mayor con el tiempo. Es por eso que se debe contar con sistemas de gestión actualizados periódicamente y que a partir de mediciones de la condición y pronóstico del deterioro ayuden a tomar la decisión de la intervención más oportuna. (Menéndez, 2013, p.25)

Respecto al método de inspección, calificación y evaluación para identificar el estado de los pavimentos, estudiantes de Unidad de Postgrado de Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno, afirman que:

La inspección visual es una metodología de bajo costo y de rápida ejecución, debido a esta situación y según nuestro criterio, es la metodología que mejor se adapta a nuestro medio. La inspección visual de manera general desarrollo un procedimiento de calificación en tres etapas, que considera la identificación, medición y calificación de la severidad de los deterioros superficiales de los pavimentos; en función de índices, codificaciones y gráficos que ayudan a evaluar e interpretar los deterioros de los pavimentos. (Fernández, Mojica, Martínez, 2007, p.42)



Con respecto a la importancia de los inventarios viales, el autor del artículo publicado por la Universidad de Madrid denominado “La Conservación Correctiva de los Firmes Urbanos. Carreteras”, sostiene que:

La constante actualización de los inventarios e inspecciones posibilita, a través de los elaborados sistemas informáticos, analizar los diferentes estados de los pavimentos con un gran número de criterios diferentes y mantener un adecuado control de calidad de las actuaciones realizadas. (Lara, 2014, p.102)

Respecto al modelo de deterioro de pavimentos probabilísticos-estocásticos, en el libro titulado “Sistematización de Información sobre diseño, Gestión, Construcción y Reparación de Pavimentos Urbanos”, el autor menciona que:

Un proceso estocástico es un concepto matemático que sirve para caracterizar una sucesión de variables aleatorias (o estocásticas) que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo. Cada una de las variables aleatorias del proceso tiene su propia función de distribución de probabilidad (normal, binominal, etc.) y, entre ellas, pueden estar correlacionadas o no. Para el SGP, la variable a evaluar contra el tiempo será la condición del pavimento medido de múltiples formas que se verán más adelante. (Sotil, 2011, p.15)

El Sistema de Gestión de los Pavimentos Urbanos, se basa en la premisa que se menciona en el artículo de “La Conservación Correctiva de los Firmes Urbanos”, en el que se menciona que:

El objetivo de la conservación en una ciudad debe ser destinar los recursos suficientes de manera periódica para garantizar un determinado nivel de servicio en sus infraestructuras y garantizar el mantenimiento del valor patrimonial de su red. Es imprescindible realizar una adecuada conservación preventiva y actuar, lo antes que sea posible, a nivel curativo, evitando costosas operaciones de rehabilitación. (Lara, 2014, p.98).

Existen importantes aspectos en el mantenimiento de la infraestructura vial, los que el autor de “El mantenimiento de pavimentos en vialidades urbanas:





El caso de la Zona Metropolitana de Querétaro”, en sus conclusiones menciona que:

Se presentan cuatro aspectos importantes en el mantenimiento de la infraestructura vial, como son: la pérdida de la capacidad de servicio de los pavimentos, los efectos económicos de diferir el mantenimiento, los costos de operación derivados del estado de los pavimentos, y la acción de los vehículos pesados. Esos factores inciden de forma determinante en el ámbito de los pavimentos urbanos y requieren de consideraciones particulares a ser tomadas en cuenta por las áreas técnicas de las administraciones locales responsables. (Betanzo, Zavala, 2008)

Para la evaluación de los pavimentos flexibles y rígidos:

Varela (2002) establece que la metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI, por su sigla en inglés) presentada en la Norma ASTM D6433-07, es la más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad. La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las que constituyen el sistema y las cuales se presentan a continuación.

La importancia e impacto social del mantenimiento oportuno de los pavimentos, se explica así:

Cuando se descuida el mantenimiento, la mayor parte del aumento de los costos totales de transporte (la suma de los costos de la infraestructura y de funcionamiento de los vehículos) recae sobre los usuarios, puesto que la participación de los organismos pertinentes en esos costos es pequeña. (Castro, 2003, p. 103)

El Sistema de Gestión de Conservación de pavimentos no es solo un software o programa, es una herramienta de apoyo en toma de decisiones para la inversión en conservación de pavimentos, esto se sostiene de la siguiente manera:

Un SGP no tan solo es el uso de un software o un programa, es una herramienta que ayuda a la toma de decisiones en base a modelos matemáticos, además de proponer distintos escenarios que brinda información fehaciente de la condición



actual y futura del pavimento, como también los costos asociados al mantenimiento y la priorización de necesidades. (Pillpe, 2018, p.188).

Flores (2008) sostiene que, la aplicación de un mantenimiento efectivo debe garantizar:

- Adecuada conservación a costo razonable.
- Programas a largo plazo para el mantenimiento de los pavimentos.
- Optimización de costos y beneficios del sistema.
- Uso adecuado de los recursos disponibles de acuerdo a prioridades.
- Control permanente de los efectos sobre el medio ambiente ocasionados por las actividades de preservación.
- Registro y análisis de los resultados obtenidos de las obras de conservación para verificar su efectividad.

En la tesis “Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región de Puno”, el autor concluye que:

El mantenimiento permanente de las infraestructuras viales ayuda a la conservación de las vías, reflejándose en comodidad y tiempo de transporte. (Humpiri, 2015, p. 126)

Respecto al ciclo de vida de los pavimentos y la conservación oportuna de los pavimentos, el autor de Mantenimiento Rutinario de Caminos con Microempresas, describe que:

Se ha observado que, en la práctica, las entidades encargadas de la conservación vial sólo se dedican a arreglar las fallas de emergencia o las más graves o visibles en base a sus asignaciones presupuestales que siempre son insuficientes. Este sistema de trabajo conduce rápidamente a la acumulación de obras atrasadas y, a mediano plazo, a la necesidad de rehabilitar o reconstruir totalmente las vías, incurriendo en mayores costos y contribuyendo a mantener a los países en su condición de subdesarrollados. Consecuencia de ello es que en los países de Latinoamérica, así como en otros continentes, los caminos están sometidos a un ciclo que, por sus características, ha adquirido la condición de fatal. Este ciclo consta de cuatro fases, las cuales se describen a continuación: Fase A:



Construcción, Fase B: Deterioro lento y poco visible, Fase C: Deterioro acelerado, Fase D: Descomposición total. (Menéndez, 2003, p.4).

Esta tesis, también se sostiene en lo que concluye en autor la investigación denominada “Deterioros en Pavimentos Flexibles y Rígidos”:

Aún no se toma verdadera conciencia de que hacer mantención o conservación de pavimentación es mucho más barato que reparar el mismo pavimento, además de ahorrarnos millones de pesos, se puede ofrecer más serviciabilidad y confortabilidad a los conductores. (Miranda, 2010, p.75).

En la tesis llamada “Degradación en los pavimento revestidos con asfaltos en Lima y Callao, alternativas de solución para su rehabilitación y mantenimiento” sostiene que:

La evaluación del deterioro del pavimento está orientada a establecer necesidades de mantenimiento y/o rehabilitación, mientras que la serviciabilidad se relaciona con la comodidad para los usuarios y sus costos de operación. (Valeriano, 2000, p. 37).

## 2.2. MARCO TEÓRICO

Este trabajo de investigación, se desarrolló con las bases teóricas necesarias para el entendimiento de esta tesis, que se describen a continuación.

### 2.2.1. Pavimentos

El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura.

#### 2.2.1.1. Tipos de pavimentos.

##### A. Pavimento flexible.

MTC (2013) define el pavimento flexible como una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa

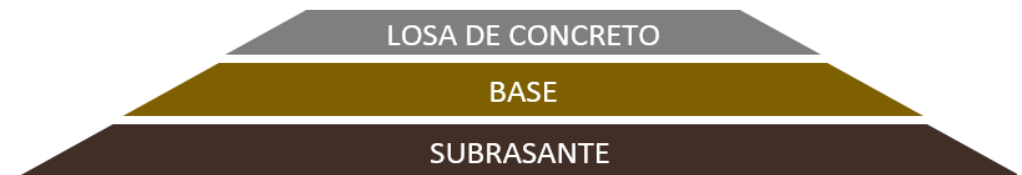
de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micropavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.



**Figura 1.** Estructura del Pavimento flexible

### ***B. Pavimento rígido.***

MTC (2013) define los pavimentos rígidos como una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de aditivos.



**Figura 2.** Estructura del Pavimento rígido

### ***C. Pavimento mixto***

Se le conoce también como pavimento híbrido, y es una combinación de flexible y rígido. (Rodríguez, 2009)

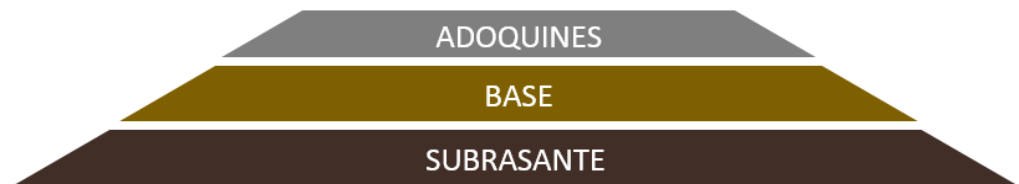
De esta manera, las ventajas de los pavimentos bituminosos (o flexibles) y de los pavimentos rígidos se unen en las características de los pavimentos mixtos de altas prestaciones, caracterizándose por poseer una resistencia elevada a las cargas estáticas muy elevadas.



**Figura 3.** Estructura del Pavimento mixto

#### ***D. Pavimento articulado.***

MTC (2013) define los pavimentos articulados como aquellos formados típicamente por una base granular, una capa o cama de arena de asiento, los adoquines intertrabados de concreto, la arena de sello, los confinamientos laterales y el drenaje, construido sobre una sub-rasante de suelo preparado para recibirlo. Los pavimentos de adoquines intertrabados se construyen de tal manera que las cargas verticales de los vehículos se transmitan a los adoquines intertrabados adyacentes por corte a través de la arena de sello de las juntas.



**Figura 4.** Estructura del Pavimento articulado

#### **2.2.2. Normativa para pavimentos urbanos**

En la actualidad la normativa peruana que regula acciones sobre los pavimentos urbanos es la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos y en el capítulo N°6 Mantenimiento de Pavimentos describe de forma somera en tan solo una página las responsabilidades para la gestión de mantenimiento, actividades de mantenimiento y las tareas de mantenimiento.

#### **2.2.3. Sistema de gestión de conservación de los pavimentos**

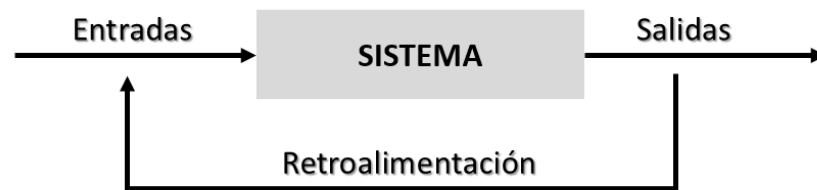
El patrimonio vial del país se ha enriquecido considerablemente y sigue creciendo en una progresión importante, con ello se pone de manifiesto la necesidad de disponer de una completa información del estado de vías y estructuras, así como de un plan de acción de conservación que permita la prevención y corrección de deterioros oportunamente.

Con este objetivo se utilizan los sistemas de gestión, que sirven de herramienta para ayudar a la decisión, seleccionando las acciones más adecuadas, determinando su costo y fijando sus prioridades, dentro de las disponibilidades económicas de la entidad administradora, sea esta pública o privada. (Solminihac, 1998).

### 2.2.3.1. *Concepto de Sistema.*

En general, Montoya (2007) define un sistema es un modelo y herramienta de ordenamiento que se aplica en una determinada organización que opera en un entorno cambiante, comúnmente está basada en un software y comprende un grupo de elementos interrelacionados, los cuales operan en conjunto.

La efectividad de cada uno de dichos elementos depende de cómo actúa cada uno en el conjunto. Al aplicar la teoría de sistemas se logra simplificar una situación para poder analizar y comprender sus implicancias en el entorno. A fin de explicar un poco más la idea, se muestra la Figura 5.



**Figura 5.** Modelo general de Sistemas

Fuente: Implementación del sistema de gestión de pavimentos con Herramienta HDM4 para la Red Vial Nro. 5 Tramo Ancón – Huacho – Pativilca, Montoya. J.E., 2007



#### **2.2.3.2. *Gestión de pavimento.***

El concepto de “gestión de pavimentos” va evolucionando a través de los años, añadiendo y combinando actividades que permitan desarrollar una metodología que se adapte a la realidad de la ciudad y que permita planificar, programar, priorizar y presupuestar mejor el mantenimiento de sus vías, optimizando sus recursos económicos. (Fernández C, Mojica J, Martínez J., 2007)

#### **2.2.3.3. *Importancia de gestión de pavimentos.***

La importancia que tiene la gestión de pavimentos radica en mantener en buen estado la infraestructura vial ya que es importante para evitar sobrecostos de operación en el transporte de personas y bienes. Además, la funcionalidad que debe ofrecer la red de vías de una ciudad es crucial para la seguridad y comodidad de los usuarios. (Macea, 2015, p. 224)

Si bien es cierto, se sabe de la importancia del mantenimiento de la red de carreteras, también es indispensable resaltar la importancia del mantenimiento de las vías urbanas, ya que cumple una función importante a diario en el desarrollo de la vida de las personas.

#### **2.2.3.4. *Sistema de gestión de pavimentos urbanos (SGPU).***

Montoya (2007) definió un SGPU como un conjunto de operaciones que tienen como objetivo conservar por un período de tiempo las condiciones de seguridad y comodidad adecuadas para la circulación, soportando las condiciones climáticas y de entorno de la zona en que se ubica la vía en cuestión, todo lo anterior minimizando los costos monetario, social y ecológico.

Además es un conjunto de elementos interrelacionados para el soporte en la toma de decisiones económicamente efectivas concernientes a la administración de pavimentos, presentando información e interpretaciones de estrategia a seguir para evaluar y seleccionar entre varias alternativas visualizándose entre varios escenarios.



#### **2.2.3.5. Características principales de un sistema de gestión.**

Leiva (2005), identificó los componentes fundamentales con los que debe contar un SGP son:

- Inventario.
- Evaluación de condición actual.
- Análisis de necesidades.
- Priorización.
- Impacto de las decisiones de financiamiento.
- Retroalimentación.

#### **2.2.3.6. Objetivos del sistema de gestión para la conservación e un pavimento.**

El objetivo principal de un SGPU es mejorar la planificación, programación y priorización del mantenimiento de las vías, optimizando los recursos económicos.

Según (Solminihac, 2001), el objetivo de un SGP es utilizar información segura y consistente para desarrollar criterios de decisión, posibilitar alternativas realistas de inversión y contribuir a la eficiencia en la toma de las decisiones.

### **2.2.4. Niveles de gestión de pavimentos**

Según Flores (2008), la gestión de pavimentos se realiza en dos niveles principales, los cuales son interactivos entre sí y están definidos según el área que debe ser analizada, y el tipo de datos que son necesarios para generar los modelos de predicción del deterioro de las estructuras a lo largo del tiempo. Estos niveles de la gestión de pavimentos son la Gestión a Nivel de Proyecto y la Gestión a Nivel de Red.

#### **2.2.4.1. Gestión de pavimentos a nivel de proyecto.**

Flores (2008), menciona que en este nivel la gestión lo que pretende es analizar el pavimento de una vía en particular, de manera que se pueda determinar la alternativa óptima para la construcción de una nueva estructura, o bien el tipo de acciones de mantenimiento necesarias. Para realizar una gestión a nivel de proyecto se necesitan datos específicos de secciones del pavimento, como por ejemplo: Cargas que recibe (o recibirá)





el pavimento, factores ambientales que lo afectan (o lo afectarán), características de los materiales que lo constituyen (o constituirán), propiedades de su base, sub-base y subrasante, variables de construcción y mantenimiento y costos.

El análisis a nivel de proyecto debe generar una serie de alternativas de construcción y/o mantenimiento, las cuales han de evaluarse técnica y económicamente, de forma que al final se pueda seleccionar aquella que minimice los costos totales del ciclo de vida del pavimento, tomando en cuenta los de construcción así como los de operación de los usuarios.

#### **2.2.4.2. Gestión de pavimentos a nivel de red.**

A nivel de red, Flores (2008) menciona que la gestión de pavimentos busca desarrollar un sistema de priorización y organización para el mantenimiento, rehabilitación y construcción de pavimentos, en base a un presupuesto disponible del ente administrador de la red vial de una región o país, para un período planteado.

La gestión a nivel de red involucra decisiones para la rehabilitación o mantenimiento de la red como un todo, por lo cual los modelos deben ser diseñados con el fin de optimizar el uso de los fondos disponibles. Debe considerarse para este propósito la serviciabilidad de los pavimentos existentes o el porcentaje de pavimentos deficientes, datos que deben ser recolectados en campo usando metodologías adecuadas.

#### **2.2.5. Estructura de un SGPU a Nivel de Red**

Leiva (2005), establece que los componentes fundamentales de un SGPU:

- Inventario.
- Evaluación de condición actual.
- Análisis de necesidades.
- Priorización.
- Impacto de las decisiones de financiamiento.
- Retroalimentación.

### **2.2.6. Inventario de fallas**

En la presente investigación se realiza un inventario de fallas, enfocado a la recolección de datos del estado funcional del pavimento de las vías urbanas, que nos permitirá obtener la calificación actual de los pavimentos.

El inventario de fallas es un subsistema del SGPU desarrollado en el presente trabajo de investigación, posteriormente dicha información será plasmada en un mapa de deterioro.

### **2.2.7. Evaluación de pavimento**

La evaluación de pavimentos, permite conocer su estado situacional, y establecer medidas correctivas para cumplir objetivos de serviciabilidad.

#### **2.2.7.1. Evaluación Superficial de pavimentos.**

Según Gonzales, Soengas & Botas (2002), la inspección visual es una de las herramientas más importantes en la rehabilitación de pavimentos, y forma parte esencial de toda la investigación.

#### **2.2.7.2. Evaluación Superficial de los Pavimentos con el método PCI**

Según Varela (2002), respecto a la evaluación superficial de pavimentos, el método del PCI (Pavement Condition Index o Índice de Condición del Pavimento) se constituye la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos dentro de los modelos de Gestión Vial.

La principal ventaja de este método es que no requiere equipo experimentado, y solamente se basa en la inspección visual. Por lo tanto, es económico y permite que la aplicación del sistema de gestión de conservación vial sea sencilla de costear e implementar.

En esta investigación, el método utilizado para la evaluación de condición superficial del pavimento, será el PCI. El cual es un índice numérico que varía desde cero (0) para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado.

En la Tabla 2 se presenta los rangos de PCI con su clasificación cualitativa de la condición del pavimento.

**Tabla 2.** Rangos de la Clasificación del PCI

Rango	Clasificación
100-85	Excelente
85-71	Muy Bueno
70-56	Bueno
55-41	Regular
40-26	Malo
25-11	Muy Malo
10-0	Fallado

Fuente. Práctica Estándar para el Estudio de. PCI en Pavimentos ASTM D6433.

La norma ASTM D6433 – 07 establece que el cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen Clase, Severidad y Cantidad de cada falla presente en el pavimento.

La monitorización continua del PCI se utiliza para establecer la tasa de deterioro del pavimento, que permite la temprana identificación de las principales necesidades de rehabilitación.

### **2.2.7.3. Evaluación Superficial de los Pavimentos con el método ICP.**

En Perú, el Ministerio de Vivienda propone métodos de inspección visual asociado a pavimentos rígidos y asfálticos, pero no para pavimentos adoquinados.

Según el Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (2013), respecto a la evaluación superficial de pavimentos articulados, existen dos métodos conocidos, que son sencillos de aplicar y no requieren equipos experimentados solamente de la inspección visual.

- Método ICP (Índice de Condición de Pavimentos), desarrollado en Colombia.



- Método PCI (Pavement Condition Index), adaptación del método PCI (ASTM, 2007) utilizado por el sistema PAVER. Sin embargo, requiere la calibración de las curvas de transformación.

En la presente investigación se hará uso del método de evaluación de pavimentos articulados ICP, el cual fue desarrollado en Colombia por Higuera Sandoval y Pacheco Merchán (2010). El objetivo de este estudio fue desarrollar un Índice de Condición de Pavimentos (ICP) para pavimentos articulados construidos con adoquines de concreto, para la evaluación de la condición funcional y estructural de una sección de pavimento articulado, y para determinar necesidades de mantenimiento y reparación en función de la condición del pavimento.

Higuera (2010) establece una metodología que permite hallar el índice de condición para los pavimentos articulados. La que se fundamenta en determinar cómo un deterioro repercute negativamente en los parámetros de tipo funcional y estructural, teniendo en cuenta su clase, gravedad y extensión. Por tal razón, se desarrollaron dos índices: Índice de Condición Funcional (ICF) e Índice de Condición Estructural (ICE). A partir del ICF y del ICE, se determina el ICP.

Una vez determinado el ICP, se determina la calificación del estado del tramo en estudio: Muy malo, malo, regular, bueno y muy bueno.

En la Tabla 3 se presenta los rangos de ICP con su clasificación cualitativa de la condición del pavimento articulado.

**Tabla 3.** Rangos de la Clasificación del PCI, Pavimento articulado.

<b>Rango</b>	<b>Clasificación</b>
5	Muy Bueno
4	Bueno
3	Regular
2	Malo
1	Muy Malo

Fuente: Higuera, C., Pacheco, O., (2010). Patologías de pavimentos articulados. Medellín, Colombia

#### 2.2.7.4. Fallas consideradas en la inspección visual.

- *Pavimentos flexibles, mixtos y rígidos*

La Norma ASTM D6433-07, indica para la inspección de pavimentos con cobertura s y rígidos, la identificación de fallas es como se indica en la Tabla 4.

Según el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones de República Dominicana (2016), la identificación de fallas en pavimentos flexibles y mixtos, se realiza de la misma forma debido a que ambos están constituidos por una o más capas asfálticas.

**Tabla 4.** Fallas del Pavimento Flexible, mixto y Rígido (PCI)

TIPOS DE FALLAS	
Nº PAVIMENTO FLEXIBLE Y MIXTO	Nº PAVIMENTO RÍGIDO
1 Piel de cocodrilo	1 Blowup / Buckling
2 Exudación	2 Grieta de esquina
3 Agrietamiento en bloque	3 Losa dividida
4 Abultamiento y hundimientos	4 Grieta de durabilidad "D"
5 Corrugación	5 Escala
6 Depresión	6 Sello de junta
7 Grieta de borde	7 Desnivel Carril / Berma
8 Grita de reflexión de junta*	8 Grietas lineales
9 Desnivel carril/berma	9 Parcheo grande
10 Grietas long y transv	10 Parcheo pequeño
11 Parches	11 Pulimiento de agregados
12 Pulimiento de agregados	12 Popouts
13 Huecos	13 Bombeo
14 Cruce de vía férrea	14 Punzonamiento
15 Ahuellamiento	15 Cruce de vía férrea
16 Desplazamiento	16 Desconchamiento / Mapa de Grietas / Craquelamiento
17 Grieta parabólica (slippage)	17 Grieta de Retracción
18 Hinchamiento	18 Descascaramiento de Esquina
19 Desprendimiento de agregados	19 Descascaramiento de junta

Fuente: Practica Estándar para el Estudio de. PCI en Pavimentos ASTM D6433-07.

- **Pavimentos Articulados**

Para pavimentos articulados, según la metodología presentada en la Investigación “Patología de Pavimentos Articulados”, indica para la inspección de pavimentos articulados 14 tipos de fallas, así como e indica en la Tabla 5. (Higuera, 2010)

**Tabla 5.** Curva de Valor de Deducción Corregido (VDC)

N°	TIPO DE FALLAS PAVIMENTO ADOQUINADO
1	Abultamiento
2	Ahuellamiento
3	Depresiones
4	Desgaste superficial
5	Pérdida de arena
6	Desplazamiento de borde
7	Desplazamiento de juntas
8	Fracturamiento
9	Fracturamiento de confinamiento externo
10	Fracturamiento de confinamiento interno
11	Escalonamiento entre adoquines
12	Escalonamiento entre adoquines y confinamientos
13	Juntas abiertas
14	Vegetación en la calzada

Fuente: Higuera, C., Pacheco, O., (2010). Patologías de pavimentos articulados. Medellín, Colombia.

#### 2.2.7.5. *Instrumentos para la inspección.*

Para la inspección de los pavimentos serán necesarios los siguientes instrumentos:

- Formato de Evaluación de PCI, formato de registro.
- Para pavimentos mixtos y rígidos: Manual de daños del PCI en base a las Norma ASTM D6433-07
- Para pavimentos articulados: Manual de daños de la investigación “Patología de Pavimentos Articulados”
- Regla o barra de aluminio para establecer profundidades de los ahuellamientos y depresiones.



- Flexómetro de 5m para realizar la medición de las dimensiones de las fallas
- Cinta métrica 50m para seccionar las unidades de muestreo
- Pintura color rojo para delimitar las unidades de muestreo

#### **2.2.7.6. Procedimiento para la inspección.**

El procedimiento varía de acuerdo con el *tipo de superficie* del pavimento que se inspecciona. Se divide la vía en secciones o “unidades de inspección”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de capa de rodadura:

- Para pavimentos flexibles y mixtos, la unidad de inspección se cuenta por franja. El área de la unidad de inspección debe estar en el rango  $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$ .
- Para pavimentos rígidos, la unidad de inspección se cuenta por losa. El número de losas de concreto debe estar en el rango de  $20 \pm 8$  losas.
- Para pavimentos articulados, la unidad de inspección se cuenta por franja, y la longitud de franja será de 100m.

Se evalúa una unidad de inspección para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el listado de fallas respectivo para cada tipo de pavimento, mencionado en párrafos anteriores. Posteriormente, se registra para cada unidad de inspección en el “Formato de Evaluación de PCI”, de forma que cada renglón corresponda a una misma combinación de tipo de falla y severidad.

#### **2.2.7.7. Cálculo del PCI**

Una vez finalizada la inspección de campo, la información registrada se utiliza para realizar el cálculo del PCI. De esta manera, se utiliza el procedimiento que indica en la Norma ASTM D6433-07, el cual se resume de la siguiente forma:

##### **Cálculo de Valor Deducido Total**

- Para cada falla y nivel de severidad, se suma y calcula las áreas y/o longitudes afectadas.



- Para calcular la densidad de falla se divide el área de influencia de falla entre el área de unidad de muestreo, el resultado se expresa en porcentaje.
- Una vez que se determinan las densidades, se utilizan ábacos que proporciona la Norma ASTM D6433-07. Estos ábacos se encuentran en el Apéndice A y Apéndice B, y se utilizan de acuerdo a cada tipo de falla, para calcular los respectivos valores de deducción (VD).
- Para determinar Valor deducido Total (VDT), se realiza una sumatoria de todos los Valores deducidos que pertenecen a la respectiva unidad de muestreo.

### **Cálculo del Valor Deducido Corregido**

- Si ninguno de los Valores Deducidos (VD) es mayor que 2%, para el cálculo del PCI se usa el Valor Deducido Total (VDT) de lo contrario el Valor Deducido Corregido (VDC).
- Para iniciar con el cálculo el Valor Deducido Corregido (VDC), en vista que sólo se permiten 10 deducciones como máximo, se determina el número de deducciones real (m) con la siguiente ecuación:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right) * (100 - DM) \quad (1)$$

#### ***Donde:***

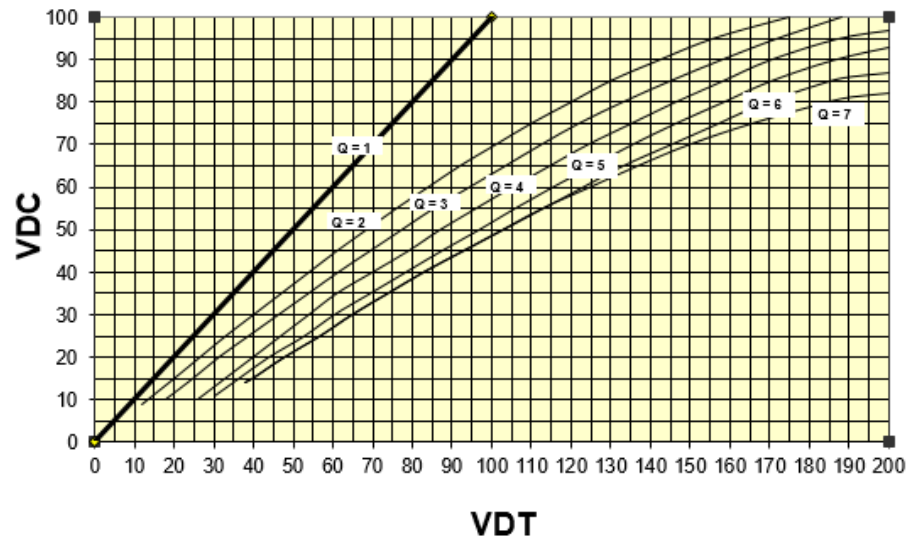
m: Número máximo admisible de “valores deducidos”, para la unidad de muestreo i.

DM: Densidad Máxima.

- El valor de “m” se calcula como el valor entero de la ecuación. Si el número de valores de deducción es menor a “m” deducciones, se usan todos los valores de deducción. Si hay más de “m” deducciones, sólo se usan las primeras “m” deducciones.
- Los valores de deducción se ordenan de manera decreciente y se empieza la iteración para determinar la mayor cantidad de puntos a deducir. Primero se suman todos los valores de deducción, luego se calcula el Valor de Deducción Corregida (VDC) del ábaco que



indica la Figura 6. El VDC se calcula usando el valor de “q” = “m”. Luego se vuelve a iterar cambiando el valor más bajo por 2%, y se suma nuevamente, para volver a calcular el VDC usando el ábaco que se indica en la Figura 6, en este caso “q = m – 1”. Se repite, hasta que “q” sea igual a 1.



**Figura 6.** Curva de Valor de Deducción Corregido (VDC)

Fuente: Práctica Estándar para el Estudio de. PCI en Pavimentos ASTM D6433-7

### Cálculo del valor de PCI

Para determinar el valor de PCI, se usa el mayor VDC en la siguiente ecuación:

$$PCI = 100 - VDC (\text{máx}) \quad (2)$$

**Donde:**

VDC (máx): Máximo Valor de Deducción Corregido

Para la presente investigación se programó una Hoja Excel utilizando todo el procedimiento que se indica en la Norma ASTM D643.

#### 2.2.7.8. *Cálculo del ICP*

##### *Cálculo del área total ( $A_T$ ) y del porcentaje de área afectada ( $\%Aa$ )*

Para el cálculo del área total ( $A_T$ ) de cada tramo, se recomienda tomar tramos de cien metros de longitud y se multiplican por su ancho de calzada. El porcentaje de área afectada ( $\%Aa$ ) para un deterioro se calcula haciendo la relación entre el área afectada por el deterioro y el área total.

$$\%Aa_i = \frac{Aa_i}{A_T} \times 100 \quad (3)$$

**Donde:**

$\%Aa_i$ : Porcentaje de área afectada por el deterioro i

$Aa_i$ : Área afectada por el deterioro i

$A_T$ : Área total del tramo

##### *Cálculo del porcentaje de área equivalente afectada $\%Ae$*

$$\%Ae_i = \sum (PI_j \times \%Aa_j \times FNS_j) \quad (4)$$

Donde:

$\%Ae_i$ : Porcentaje de área equivalente afectada para los deterioros de clase i

PI: Peso del deterioro j en su clase i

$\%Aa_j$ : Porcentaje de área afectada por el deterioro j

$FNS_j$ : Factor de penalización por nivel de severidad del deterioro j (Tabla 6 y 7)

##### *Cálculo del factor de penalización por área afectada, FA.*

Este factor es el grado de afectación que causó la combinación de los deterioros de una misma clase al porcentaje de influencia de esa clase de deterioros en los parámetros estructurales y funcionales. Para hallar el factor de penalización por área afectada (FA), se utiliza la Tabla 6 para el ICE y la Tabla 7 para el ICF. En estas tablas, es necesario interpolar entre los rangos el porcentaje de área equivalente afectada ( $\%Ae$ ).

**Tabla 6.** Factores de penalización para el Índice de Condición Estructural, ICE

Clase	Deterioro	Peso en su clase (PI)	Nivel severidad, FNS			% Área equivalente afectada, FA				
			Bajo	Medio	Alto	0	5	10	15	>15
Deformaciones	Abultamiento	1.20	1.00	1.15	1.30					
	Ahuellamiento	1.20	1.00	1.15	1.30	0.00	0.50	0.60	0.76	1.0
	Depresiones	1.00	1.00	1.10	1.20					
Desprendimiento	Pérdida de arena	1.00	1.00	1.15	1.30	0.00	0.50	0.60	0.76	1.0
Desplazamiento	Desplazamiento de borde	1.00	1.00	1.15	1.30	0.00	0.50	0.60	0.76	1.0
	Fracturamiento	1.10	1.00	1.10	1.20					
Fracturamiento	Fracturamiento de confinamientos externos	1.20	1.00	1.15	1.30	0.00	0.50	0.60	0.76	1.0
	Fracturamiento de confinamientos internos	1.00	1.00	1.10	1.20					
	Otros deterioros	Vegetación en la calzada	1.00	0.80	1.00	1.20	0.00	0.50	0.60	0.76

Fuente: Higuera, C., Pacheco, O., (2010). Patologías de pavimentos articulados. Medellín, Colombia

**Tabla 7.** Factores de penalización para el Índice de Condición Funcional, ICF

Clase	Deterioro	PI	Nivel severidad, FNS			% Área equivalente afectada, FA				
			Bajo	Medio	Alto	0	5	10	15	>15
Deformaciones	Abultamiento	1.20	1.00	1.15	1.30					
	Ahuellamiento	1.20	1.00	1.15	1.30	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00
	Depresiones	1.00	1.00	1.10	1.20					
Desprendimiento	Desgaste superficial	1.10	1.00	1.20	1.40	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00
	Pérdida de arena	1.00	1.00	1.15	1.30					
Desplazamiento	Desplazamiento de borde	1.00	1.00	1.15	1.30	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00
	Desplazamiento de junta	1.00	1.00	1.10	1.20					
Fracturamiento	Fracturamiento de confinamientos externos	1.20	1.00	1.15	1.30	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00
	Fracturamiento de confinamientos internos	1.00	1.00	1.10	1.20					
Otros deterioros	Escalamiento entre adoquines	1.20	1.00	1.25	1.50					
	Escalamiento entre adoquines y confinamiento	1.10	1.00	1.15	1.30	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00
	Juntas abiertas	1.00	1.00	1.15	1.30					
	Vegetación en la calzada	1.10	1.00	1.15	1.30					

Fuente: Higuera, C., Pacheco, O., (2010). Patologías de pavimentos articulados. Medellín, Colombia

### Cálculo de los índices (ICE y ICF)

Para calcular el ICE y el ICF se utilizan los modelos matemáticos que están en función del factor de influencia por clase del deterioro (FC) y del factor de penalización por área afectada (FA). El resultado debe redondearse al número entero.

$$ICE = 100 - \sum (FC_i \times FA_{Ei}) \quad (5)$$

$$ICF = 100 - \sum (FC_i \times FA_{Fi}) \quad (6)$$

ICE: Índice de condición estructural

ICF: Índice de condición funcional

FC<sub>i</sub>: Factor de influencia por clase de deterioro en el índice

FA<sub>Ei</sub>: Factor de penalización por área afectada

### Cálculo del índice ICP (Índice de Condición de Pavimento)

El índice de condición del pavimento (ICP) es la combinación del índice de condición estructural (ICE) y el índice de condición funcional (ICF). Su valor es un número entero que varía en una escala de uno a cinco. Para el cálculo del índice de condición del pavimento (ICP) se utiliza la matriz de la Tabla 8.

**Tabla 8.** Matriz para el cálculo del ICP

Calificación del ICP		Rangos del ICF				
		86-100	71-85	41-70	21-40	0-20
Rangos del ICE	86-100	5	4	4	3	2
	71-85	4	4	3	3	2
	41-70	4	3	3	2	1
	21-40	3	3	2	2	1
	0-20	2	2	1	1	1

Fuente: Higuera, C., Pacheco, O., (2010). Patologías de pavimentos articulados. Medellín, Colombia

### 2.2.8. Cálculo del porcentaje de Pavimentos por cada rango de Condición.

Después del cálculo del PCI e ICP que se realizará por cada unidad de inspección, los valores obtenidos se agrupan según los rangos de condición señalada para cada tipo de pavimento. De esta manera, con el uso de la Ecuación (7), se obtendrá la cantidad de pavimentos en porcentaje por cada rango de PCI.

$$x_n \% = \frac{y_n}{\sum_n^1 y_n} * 100\% \quad (7)$$

**Donde:**

$x_n$  %: Porcentaje de unidades de inspección por cada Rango de Condición.

$y_n$ : Cantidad de unidades de inspección en cada Rango de Condición.

$\sum_n^1 y_n$ : Sumatoria de cantidad de todas las unidades de inspección.

Además, la forma genérica de representar estos cálculos y realizar ecuaciones matriciales, será a través de vectores, en este caso el vector [Y] y [X].

$$[Y] = \begin{bmatrix} Y_A \\ Y_B \\ Y_C \\ Y_D \\ Y_E \\ Y_F \\ Y_G \end{bmatrix} \quad [X] = \begin{bmatrix} X_A \\ X_B \\ X_C \\ X_D \\ X_E \\ X_F \\ X_G \end{bmatrix}$$

$$[X] = \frac{[Y]}{Y_T} * 100\% \quad (8)$$

**Donde:**

[Y]: Vector con cantidades de unidades de inspección por cada Rango de Condición.

[X]: Vector con porcentajes de pavimentos en cada Rango de Condición.

$Y_T$ : Cantidad Total de unidades de inspección.

### 2.2.9. Cálculo del PCI representativo.

Para el desarrollo del SGPU, será necesario tener un valor representativo por cada rango de condición, que se utilizará en el análisis de modelos de predicción de deterioro de este trabajo de investigación

Para obtenerlo, se requiere un valor promedio por cada rango de condición, los cuales se indican en la Tabla 9 y Tabla 10.

**Tabla 9.** Valores promedio PCI

	<b>CONDICIÓN</b>	<b>RANGO</b>	<b>PCI (Valor Prom.)</b>
A	EXCELENTE	100-85	92.50
B	MUY BUENO	85-70	77.50
C	BUENO	70-55	62.50
D	REGULAR	55-40	47.50
E	POBRE	40-25	32.50
F	MUY POBRE	25-10	17.50
G	FALLADO	10-0	5.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 10.** Valores promedio ICP

	<b>CONDICIÓN</b>	<b>RANGO</b>	<b>ICP (Valor Prom.)</b>
A	MUY BUENO	100-86	93.00
B	BUENO	85-71	78.00
C	REGULAR	70-41	55.50
D	MALO	40-21	30.50
E	MUY MALO	20-0	10.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Finalmente, se realiza el cálculo del PCI e ICP representativo, a través del promedio ponderante del porcentaje de unidades de inspección y el valor PCI promedio (Tabla 09) o ICP promedio (Tabla 10). Este cálculo, se realiza haciendo uso de la Ecuación 09.

$$PCI_R = \frac{X_A*92.5+X_B*77.5+X_C*62.5+X_D*47.5+X_E*32.5+X_F*17.5+X_G*5}{100} \quad (9)$$

$$ICP_R = \frac{X_A*93+X_B*78+X_C*55.5+X_D*30.5+X_E*10}{100} \quad (10)$$

**Donde:**

$PCI_R$ : Condición de pavimento representativo (flexible, mixto o rígido)

$ICP_R$ : Condición de pavimento representativo (articulado)

$x_n$  : Porcentaje de unidades de inspección por cada rango de PCI o ICP.

Además, la forma genérica de representar estos cálculos y realizar ecuaciones matriciales, será a través de vectores, en este caso el vector [V] y [X].

$$[m] = \begin{bmatrix} m \\ m_B \\ m_C \\ m_D \\ m_E \\ m_F \\ m_G \end{bmatrix} \quad [X] = \begin{bmatrix} X_A \\ X_B \\ X_C \\ X_D \\ X_E \\ X_F \\ X_G \end{bmatrix}$$

$$PCI_R \text{ o } ICP_R = \frac{[X_A \cdot m_A] + [X_B \cdot m_B] + [X_C \cdot m_C] + [X_D \cdot m_D] + [X_E \cdot m_E] + [X_F \cdot m_F] + [X_G \cdot m_G]}{100} \quad (11)$$

**Donde:**

[m]: Vector con valores promedio de PCI o ICP por cada rango.

[X]: Vector con porcentajes de pavimentos en cada rango PCI o ICP

## 2.2.10. Conservación de pavimentos.

Según Martínez (2015), la conservación de pavimentos, significa la acción de cuidar que su servicio se prolongue durante el tiempo requerido, lo cual implica un esfuerzo de preocupación de los encargados y un desembolso de recursos importante por parte de la agencia responsable.

De acuerdo al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos, hay cuatro actividades de mantenimiento, que se clasifican en términos de su frecuencia:

***Mantenimiento rutinario***, requerido de manera continua en todas las vías, independientemente de sus características o volumen del tráfico. Por ejemplo: barrido, corte de grass, limpieza de drenes y cunetas, mantenimiento de alcantarillas y mantenimiento de la señalización. (MVCS, 2010)

***Mantenimiento recurrente***, requerido a intervalos pre establecidos durante el año, con una frecuencia que depende del volumen del tráfico. Por ejemplo: reparación de baches y bordes, sellado de grietas. (MVCS, 2010)

***Mantenimiento periódico***, requerido a intervalos de algunos años. Por ejemplo: sellado de toda la superficie, recapeos, reemplazo de pavimento asfáltico en áreas pequeñas, reposición de losas aisladas, re-sellado de juntas. (MVCS, 2010)

***Mantenimiento urgente***, necesario para hacer frente a emergencias y problemas que requieren acción inmediata, cuando bloquean una vía. Por ejemplo: remoción de obstáculos y trabajos diversos. (MVCS, 2010)

### 2.2.10.1. Tipos de mantenimiento.

De acuerdo con Menéndez J. (2013) la clasificación conceptual de los trabajos de conservación se divide en: preventivos, correctivos y de emergencia, de la siguiente forma:

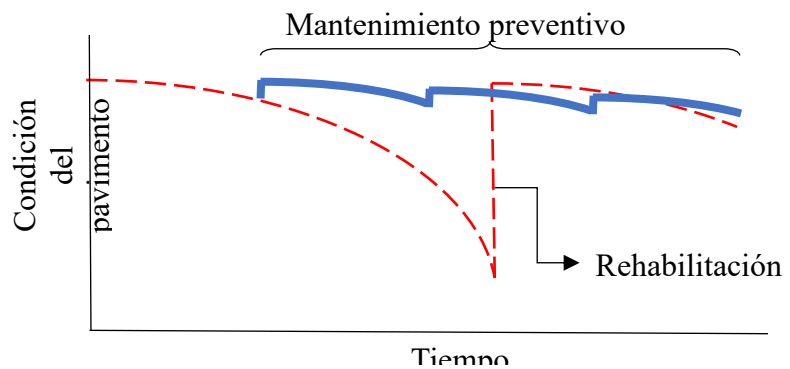


### **Mantenimiento preventivo:** Según Menéndez (2013),

Es una estrategia programada para preservar, mantener o mejorar un sistema vial, que aporta en la reducción del deterioro. De esta manera se reduce la necesidad de mantenimiento rutinario y de mantenimiento periódico.

Este tipo de mantenimiento incluye los tratamientos convencionales, como sellado de grietas, un chip de sellado, riego de niebla, llenado de rutina, slurries, tratamientos superficiales, micropavimentos; con los cuales se obtiene una nueva superficie de rodadura.

A través de tiempo, al realizar mantenimiento preventivo ayuda a mantener el pavimento en condiciones óptimas, en comparación con una rehabilitación como puede observarse en la Figura 7.



**Figura 7.** Comportamiento del pavimento con mantenimiento preventivo

Fuente: Menéndez J. (2013)

### **Mantenimiento correctivo.**

Según Fundora G. (2014), el mantenimiento correctivo o “mantenimiento reactivo”, comprende las acciones que se realizan después de producida la falla en el pavimento, tales como la pérdida de fricción, de moderada a severa, o de agrietamientos importantes. Este tipo de mantenimiento es más costoso que el mantenimiento preventivo.



## **Mantenimiento de emergencia.**

Según Menéndez (2013), el mantenimiento de emergencia comprende las acciones que se realizan ante una situación de emergencia, como la aparición de un bache grave que necesita ser reparado inmediatamente por razones de seguridad o para permitir la continuidad del flujo de tráfico por la carretera.

En este tipo de mantenimiento, predomina la seguridad y la rapidez de su ejecución, dejando de lado el costo.

### **2.2.10.2. *Importancia a de la conservación de pavimento.***

Según Martínez (2015), los pavimentos tienen como propósito prestar un servicio al tránsito en forma segura, confortable y eficiente, por tal motivo es muy importante realizar labores de conservación oportunas.

El patrimonio vial del país se ha enriquecido considerablemente y sigue creciendo en una progresión importante, con ello se pone de manifiesto la necesidad de disponer de una completa información del estado de vías y estructuras, así como de un plan de acción de conservación que permita la prevención y corrección de deterioros oportunamente.

## **2.2.11. Estimación de Costos**

### **2.2.11.1. *Selección de estrategias de conservación por rango de PCI.***

Para el desarrollo del SGPU es sumamente necesaria la estimación de un presupuesto. Para ello, tomando en cuenta la combinación de tipo de falla y severidad que se encontró con mayor frecuencia en cada unidad de inspección, se establecen las estrategias de conservación por cada rango de condición.

Además, se requiere determinar el área de Unidad de Inspección representativa por cada rango de condición.

### 2.2.11.2. Costos de conservación por m2.

Con el fin de obtener el presupuesto de conservación del área representativa de la Unidad de Inspección, se requiere tener definidas las estrategias de conservación a aplicar por cada Rango de condición; el área de falla representativa de la Unidad de Inspección (Metrado); y el Análisis de Precios Unitarios por cada Rango de condición.

Finalmente, para obtener el costo por m2 para cada rango de condición, se utiliza la siguiente ecuación:

$$C = \frac{P}{A} \quad (12)$$

**Donde:**

C: Costo de conservación por m2, para cada rango.

P: Presupuesto de conservación del área representativa de la Unidad de Inspección.

A: Área total de Unidad de Inspección en m2.

### 2.2.11.3. Costo total de conservación para rango PCI.

Para realizar un análisis y definir el orden de priorización de conservación por rangos, es importante obtener el costo total de conservación por cada rango de condición.

El cálculo se enfoca en conocer el presupuesto a invertir por cada condición. Y en la representación se utilizará los vectores [C], [X] y [T]:

$$[C] = [C_A, C_B, C_C, C_D, C_E, C_F, C_G]$$

$$[X] = [x_A, x_B, x_C, x_D, x_E, x_F, x_G]$$

$$[T] = [T_A, T_B, T_C, T_D, T_E, T_F, T_G]$$

Para el cálculo del Vector [T] se utiliza la siguiente ecuación:

$$[T] = \left( \frac{[X] \cdot [C]}{100} \right) \cdot A_T \quad (13)$$



**Donde:**

[C]: Vector del costo de conservación por m<sup>2</sup>.

[X]: Vector con porcentajes de pavimentos en cada rango PCI.

[T]: Vector con los costos totales de conservación para cada rango PCI.

$A_T$ : Área total de los pavimentos en estudio de esta investigación.

#### **2.2.11.4. Costo total de conservación por año.**

La importancia del cálculo del costo de conservación por año, radica en el análisis y comparación de los recursos económicos anualmente, de tal manera este análisis servirá para la toma de decisiones.

Para el cálculo de estos costos se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_T = T_A + T_B + T_C + T_D + T_E + T_F + T_G \quad (14)$$

**Donde:**

$C_T$ : Costo total de aplicación de actividades de conservación por año.

$T_A, T_B, T_C, T_D, T_E, T_F, T_G$ : Costos totales de aplicación de estrategias de conservación para cada rango de condición de pavimentos.

#### **2.2.12. Presupuesto disponible para la conservación de pavimentos.**

En el Perú la administración de las vías urbanas es jurisdicción de las Municipalidades. De acuerdo a la norma CE.010 Pavimentos Urbanos, dentro de las responsabilidades asignadas, está el administrar adecuadamente el “Presupuesto disponible” y decidir las prioridades para la conservación de la Red Vial.

#### **2.2.13. Modelamiento de deterioro de los pavimentos.**

Como toda herramienta de planeamiento, el SGP debe permitir prever el comportamiento de los pavimentos que están siendo evaluados. Sin embargo, calcular el deterioro de un pavimento ha probado ser por años una tarea muy complicada. A diferencia de otras estructuras civiles, estas

estructuras están expuestas a la intemperie y a cargas estáticas y dinámicas de múltiples cargas y configuraciones sin protección alguna más allá de la estructura en sí. Más aún, los pavimentos son en realidad sistemas multicapa y multi-condición a lo largo de su extensión que tienen características extremadamente variables, y hacen que el comportamiento varíe literalmente entre el día y la noche. (Sotil, 2011)

### ***2.2.13.1. Tipos de Modelo de Deterioro de Pavimentos.***

#### ***Modelo de Deterioro de Pavimentos Probabilístico – Estocástico.***

En la teoría de la probabilidad, un proceso estocástico es un concepto matemático que sirve para usar magnitudes aleatorias que varían con el tiempo o para caracterizar una sucesión de variables aleatorias (estocásticas) que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo. (Pérez, 2007)

Para la presente investigación, la variable a evaluar contra el tiempo será la condición del pavimento (PCI o ICP).

#### ***Modelo de Deterioro de Pavimentos Empírico.***

A diferencia de los modelos probabilísticos en los que se depende de determinar valores que indican ratios de deterioro, los modelos empíricos se basan en valores medidos de deterioro que se pueden interpolar, o en muchas ocasiones extrapolar. Así por ejemplo, visto desde una forma muy simple, si una medición en 5 años en un pavimento “X” indica que se generará 10% de daño piel de cocodrilo, se podría indicar que en la mitad de tiempo un pavimento “Y” de condiciones similares a “X” generaría 5% de daño, en 5 años un daño similar y en 10 años el doble del mismo.

Sin embargo, estas interpolaciones, y sobre todo las extrapolaciones no son precisas y pueden generar sobre (o baja) predicción de los deterioros, pero se entiende que son más precisos en sus resultados (o al menos tienen menor variabilidad) que los obtenidos usando ratios probabilísticos.



### ***Modelo de Deterioro de Pavimentos Mecanístico Empírico.***

Para 1986, se entendió en los EEUU que los métodos empíricos tenían la limitante de la extrapolación y es así que, paralelo a los esfuerzos de mejorar la guía empírica (AASHTO 86 y AASHTO 93), se programó a un nuevo estudio que permita tener una guía de diseño que incluya los cambios en las cargas, materiales, clima y otras características importantes. (ERES Consultants Division, 2004).

Así, en 1987, el Congreso norteamericano autorizó SHRP- Strategic Highway Research Program o Programa Estratégico de Investigación de Carreteras. Este programa era una iniciativa de investigación aplicada que tenía como objetivo el desarrollar y evaluar técnicas y tecnologías que combatan las condiciones de deterioro de las carreteras norteamericanas y mejoren su comportamiento, durabilidad, seguridad y eficiencia. (Sotil, 2011).

### ***Modelo de Deterioro de Pavimentos Mecanístico.***

Las metodologías mecanicistas pretenden tener un enfoque puramente científico, con un marco teórico suficiente que permita el análisis completo de la mecánica del comportamiento de un pavimento ante las acciones del clima y del tránsito vehicular. Esto es, un marco teórico en donde las propiedades fundamentales de los materiales se conocen, y se pueden determinar en laboratorio o en campo. Esta metodología facilita la predicción correcta de la evolución en el tiempo de los diferentes deterioros que se pudieran presentar y, por ende, aumentar en gran medida la confiabilidad de los diseños. (Anguas, 2004).

#### ***2.2.13.2. Modelo de predicción de deterioro Markov.***

Para la presente investigación, el SGPU utilizará el método estocástico probabilístico, haciendo uso del modelo de deterioro conocido como cadenas de Markov.

La predicción del estado futuro de los pavimentos continúa siendo un reto muy importante de la ingeniería de carreteras. Esta actividad, es

crucial para la gestión de pavimentos, donde se requiere de una estimación fiable del comportamiento del pavimento, para elaborar programas de conservación que permitan ofrecer al público usuario los niveles de servicio esperados durante la vida útil de la carretera. (Solorio, 2014)

El modelo de cadenas de Markov se refiere a un proceso estocástico con las siguientes propiedades:

- Es discreto en el tiempo.
- Se define en un espacio finito de estados posibles.
- El cambio entre estados está determinado por un conjunto de probabilidades.
- La probabilidad de que el proceso pase del estado  $i$  al  $j$  ( $p_{ij}$ ) depende únicamente del estado actual y no de los estados anteriores.

La construcción de la matriz comienza con el planteamiento del vector que muestra el estado del pavimento en un ciclo de servicio  $t$ , y se representa de la siguiente forma:

$$a_t = (a_{t,1}, a_{t,2}, \dots, a_{t,n}) \quad (15)$$

**Donde:**

$a_t$ : Vector de estado en el ciclo de servicio  $t$

$a_{t,i}$ : Fracción de la red que se encuentra en el estado  $i$  durante el ciclo de servicio  $t$

$$a_{t,i} > 0 \forall i$$

$$\sum_i a_{t,i} = 1$$

De esta manera, para obtener el vector de estado que corresponde al ciclo de servicio  $t+1$ , con base en el vector de estado del ciclo  $t$ , se ensambla la Matriz de Probabilidades de Transición (MPT). Esta matriz agrupa todas las probabilidades  $P_{ij}$ , de que la condición del pavimento pase del estado  $i$  al estado  $j$  entre dos ciclos consecutivos. Esto se muestra en la Ecuación 16. (Solorio, 2014)

$$[P] = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (16)$$

**Donde:**

[P]: Matriz de probabilidades de transición (MPT)

$P_{ij}$ : Probabilidad de que la condición del pavimento cambie del estado  $i$  al estado  $j$  entre dos ciclos de servicio  $t$  y  $t+1$ .

### 2.2.13.3. Matriz de Probabilidad de Transición general

Para la presente investigación, considerando como indicador de estado el PCI, se ensambla la MPT general, que tendrá 7 niveles de condición. Esta MPT se muestra en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Matriz de Probabilidades de Transición general.

PCI	A	B	C	D	E	F	G
A	$P_1$	$P_2$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	0.00	$P_3$	$P_4$	0.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	$P_5$	$P_6$	0.00	0.00	0.00
D	0.00	0.00	0.00	$P_7$	$P_8$	0.00	0.00
E	0.00	0.00	0.00	0.00	$P_9$	$P_{10}$	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$P_{11}$	$P_{13}$

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Además, para el SGPU desarrollado en esta investigación se analizará el modelo de deterioro en cada uno de los siguientes 03 escenarios, por lo tanto cada uno de ellos tendrá una Matriz de Probabilidad de Transición respectiva

- Escenario 01: Sin Mantenimiento, cuando no se realizan actividades de mantenimiento
- Escenario 02: Con Mantenimiento, cuando se realizan actividades de mantenimiento
- Escenario 03: Con Mantenimiento optimizado, cuando se realizan actividades de mantenimiento optimizado, en el momento oportuno y con el presupuesto disponible





#### 2.2.13.4. *Matriz de Probabilidad de Transición en el año t+1.*

El modelamiento de comportamiento del pavimento, permite obtener probabilísticamente el estado del pavimento de los siguientes años, por ello haciendo uso de la MPT nos permite calcular el porcentaje de pavimentos del siguiente año, por cada rango de condición.

Para el cálculo del porcentaje de pavimentos pertenecientes a cada rango de condición del año t+1, se aplica el procedimiento descrito a continuación:

Como se ha explicado en párrafos anteriores, el pavimento se deteriorará a través de los años en base a la MPT. Por lo tanto, con el objetivo de conocer el porcentaje de pavimentos que ha bajado de nivel de condición para el año t+1, se requiere obtener una nueva distribución de pavimentos. Esto se logrará con el producto entre el vector de los porcentajes de pavimentos pertenecientes al año “t” y la MPT de cada uno de los escenarios, respectivamente. Posteriormente, los porcentajes de pavimento distribuidos en la matriz resultante del cálculo anterior, se sumarán por columnas que representan a cada rango de condición. Este cálculo se realiza con la notación matricial de la Ecuación (16) y el resultado se muestra en la Tabla 12.

$$X_{t+1} = X_t P \quad (17)$$

**Donde:**

$x_{t+1}$ : Matriz de porcentajes de pavimentos para el año siguiente (t+1)

$x_t$ : Vector de porcentajes de pavimentos en el año t.

P: Matriz de Probabilidades de Transición

**Tabla 12.** Matriz de distribución de % de Pavimentos en el año (t+1)

PCI	A	B	C	D	E	F	G
A	$x_{1,t+1}$	$x_{2,t+1}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	0.00	$x_{3,t+1}$	$x_{4,t+1}$	0.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	$x_{5,t+1}$	$x_{6,t+1}$	0.00	0.00	0.00
D	0.00	0.00	0.00	$x_{7,t+1}$	$x_{8,t+1}$	0.00	0.00
E	0.00	0.00	0.00	0.00	$x_{9,t+1}$	$x_{10,t+1}$	0.00
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$x_{11,t+1}$	$x_{12,t+1}$
G	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$x_{13,t+1}$
TOTAL	$\sum x_{A,t+1}$	$\sum x_{B,t+1}$	$\sum x_{C,t+1}$	$\sum x_{D,t+1}$	$\sum x_{E,t+1}$	$\sum x_{F,t+1}$	$\sum x_{G,t+1}$

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Por lo tanto probabilísticamente, haciendo uso de las cadenas de Markov, el estado del pavimento del año t+1 se representa a través del vector:

$$[x_{t+1}] = \begin{bmatrix} \sum x_{A,t+1} \\ \sum x_{B,t+1} \\ \sum x_{C,t+1} \\ \sum x_{D,t+1} \\ \sum x_{E,t+1} \\ \sum x_{F,t+1} \\ \sum x_{G,t+1} \end{bmatrix}$$

#### 2.2.14. Optimización matemática.

La programación matemática, en general, buscar determinar la asignación óptima de recursos limitados para cumplir un objetivo específico. Para ello se enfoca en minimizar o maximizar alguna cantidad numérica de estos recursos.

Según Menéndez (2013), la optimización consiste en la búsqueda de un conjunto de soluciones que sean las más cercanas al cumplimiento de los objetivos planteados por el sistema, por lo que se necesita aplicar métodos matemáticos que sustenten el análisis de las alternativas, entre ellos se tiene:

- Programación lineal, Programación no lineal, Programación entera, Programación dinámica, Redes neuronales, Algoritmos genéticos, Métodos heurísticos.



Todos estos métodos tienen algo en común, poseen tres componentes importantes, estos son:

- ***Función objetivo:*** Representa la meta a alcanzar, puede ser minimizada o maximizada.
- ***Variables de decisión:*** Representan variables que se pueden ajustar o controlar para encontrar el mejor valor de la función objetivo.
- ***Restricciones:*** Aseguran la factibilidad de las alternativas para el problema de optimización, restringiendo algunas variables a valores mínimos o máximos.

Con respecto a la optimización matemática Miettinen (1999) sostiene que, mediante el empleo de esta herramienta se puede buscar un nivel máximo de resultados para recursos limitados, como maximizar la condición del pavimento, invirtiendo recursos disponibles limitados (función objetivo), lo cual es apropiado para establecer prioridades de conservación.

En la presente investigación, el desarrollo del Escenario 03 se realizará a través de una optimización matemática que se basa en la programación lineal matemática, que permite obtener la mejor condición funcional posible con la inversión de los recursos económicos “disponibles”.

#### **2.2.14.1. Programación lineal.**

La programación lineal es el campo de la programación matemática dedicado a maximizar o minimizar (optimizar) una función lineal, denominada función objetivo. De tal forma que, las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones expresadas mediante un sistema de ecuaciones o inecuaciones lineales.

Es imperativo que:

La *Función objetivo* debe ser lineal, y el objetivo de ella debe ser su maximización o minimización.

Las *Variables* de la *Función Objetivo* deben ser lineales.

Las restricciones deben ser lineales, y debe adoptar alguna de las formas: “ $\leq$ ”, “ $\geq$ ”, “ $=$ ”, es decir, las restricciones siempre están cerradas.

En relación a lo antes mencionado, para la presente investigación se plantea los siguientes componentes de la optimización lineal:

**Variable:**

Para esta investigación, la variable y constante que se consideran son:

- Variable X: El porcentaje de pavimentos por cada rango de condición:

$$[X] = (x_A, x_B, x_C, x_D, x_E, x_F, x_G)$$

- Constante m: Valor promedio representativo del PCI o ICP por cada rango de condición, los que fueron obtenidos y explicados en la Tabla 9 y 10.

$$[M] = (m_A, m_B, m_C, m_D, m_E, m_F, m_G)$$

**Función Objetivo: Maximizar el PCI**

La Función lineal general se escribe así:  $y = mx$

Para esta investigación, la función lineal para maximizar la condición de los pavimentos (PCI o CPI), se escribe de la siguiente forma:

$$f(\text{PCI máx}) = [M] \cdot [X]$$

$$f(\text{PCI máx}) =$$

$$\frac{m_A \cdot x_A + m_B \cdot x_B + m_C \cdot x_C + m_D \cdot x_D + m_E \cdot x_E + m_F \cdot x_F + m_G \cdot x_G}{100} \quad (18)$$

***Donde:***

***f(PCI max):*** Función objetivo para maximizar el la condición del pavimento (PCI o ICP).

**[X]:** Vector con porcentajes de los pavimento en cada rango de condición.

**[M] :** Vector con valores promedio de PCI o ICP, por cada rango de condición (Tabla 9 y 10).

**Restricciones:**

Para la presente investigación se tienen restricciones de presupuesto. Por lo tanto, el Costo total de conservación debe ser menor que el Presupuesto disponible.

$$C_T \leq P_D \quad (19)$$

El vector de estas ecuaciones se expresa de la siguiente manera:

$$[T] = (T_A, T_B, T_C, T_D, T_E, T_F, T_G)$$

$$C_T = T_A + T_B + T_C + T_D + T_E + T_F + T_G$$

***Donde:***

**[T]** : Vector con costos totales de conservación anual para cada rango PCI.

**T<sub>n</sub>** : Costo total de conservación anual por cada rango PCI. (Su cálculo se encuentra en el Apartado 2.2.11.3)

**C<sub>T</sub>** : Costo total de conservación anual.

**P<sub>D</sub>** : Presupuesto disponible asignado para mantenimiento anual.

Además, el 100% de los pavimentos por cada rango de condición, se compone por el % de pavimentos con mantenimiento y el % de pavimentos sin mantenimiento, en consecuencia, la suma de ellos estrictamente es igual a 100. De esta manera, es necesario mencionar que estos porcentajes de pavimentos con mantenimiento y sin mantenimiento deben ser mayor que cero y menor que 100.

$$CM_n + SM_n = 100$$

$$SM_n \geq 0$$

$$SM_n \leq 100$$

Los vectores resultantes de estas ecuaciones se expresa de la siguiente manera:

$$[CM] = (CM_A, CM_B, CM_C, CM_D, CM_E, CM_F, CM_G)$$

$$[SM] = (SM_A, SM_B, SM_C, SM_D, SM_E, SM_F, SM_G)$$

**Donde:**

**CM<sub>n</sub>**: % de pavimentos Con Mantenimiento por cada rango de condición.

**SM<sub>n</sub>**: % de pavimentos Sin Mantenimiento por cada rango de condición

**[CM]** : Vector de porcentajes de pavimentos Con Mantenimiento por cada rango de condición, anual.

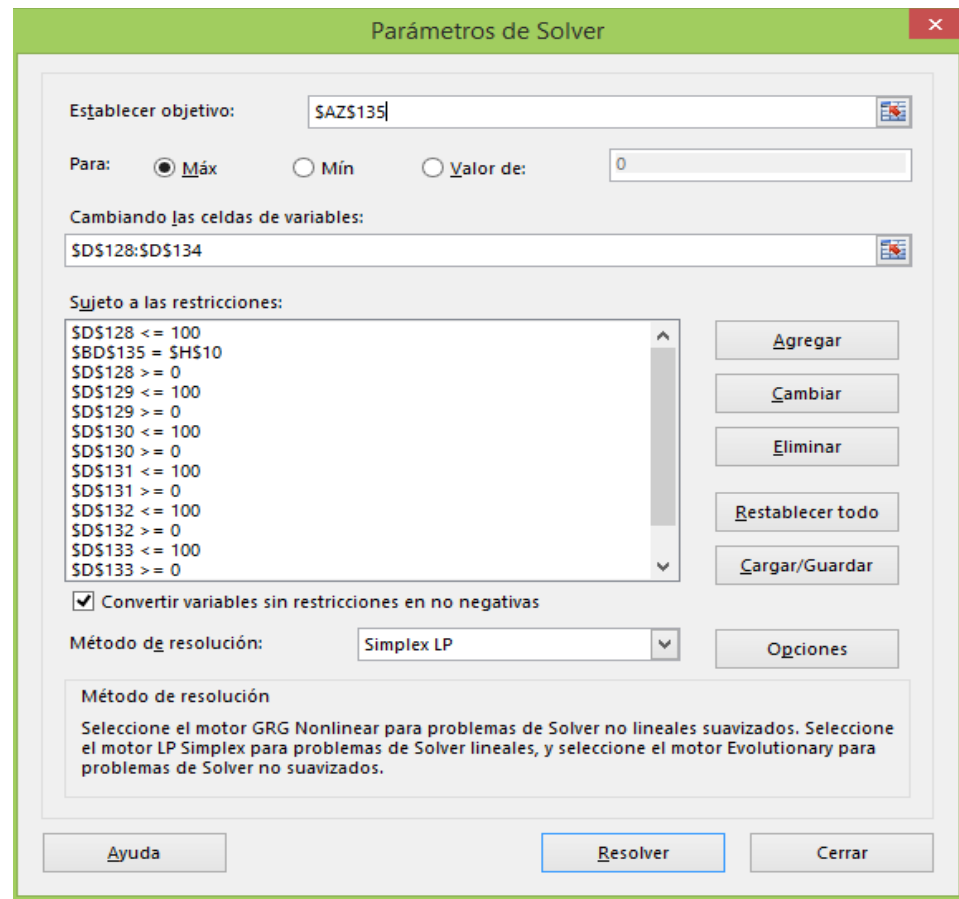
**[SM]** : Vector de porcentajes de pavimentos Sin Mantenimiento por cada rango PCI, anual.

#### 2.2.14.2. **Herramienta Solver**

Además, Según Hossein (1994), cuando el problema de Programación lineal tiene varias variables y restricciones, el resolver muchos sistemas de ecuaciones manualmente se vuelve tedioso y en algunos casos cuando son problemas de gran escala, se hace imposible de resolverlos. Por lo tanto, necesitamos que las computadoras hagan los cálculos por nosotros. Asimismo, el autor menciona que, el método Simplex es un algoritmo de solución muy utilizado para resolver programas lineales, que consiste en la secuencia de iteraciones, hasta encontrar la solución óptima.

De esta manera, se tiene conocimiento que el programa MS Excel posee una herramienta denominada “Solver”, que hace uso del método Simplex para resolver problemas de programación lineal.

En la Figura 8, se muestra la captura de la ventana Solver, donde ingresan las celdas que indican el objetivo, las variables y las restricciones de la programación lineal planteada.



**Figura 8.** Captura de la ventana de Solver de Ms Excel

### 2.2.15. Ciclo de vida de un pavimento.

Los pavimentos tienen como propósito prestar un servicio al tránsito en forma segura, confortable y eficiente, por tal motivo es muy importante realizar labores de conservación adecuadas y oportunas sobre ellos. (Martínez, 2015)

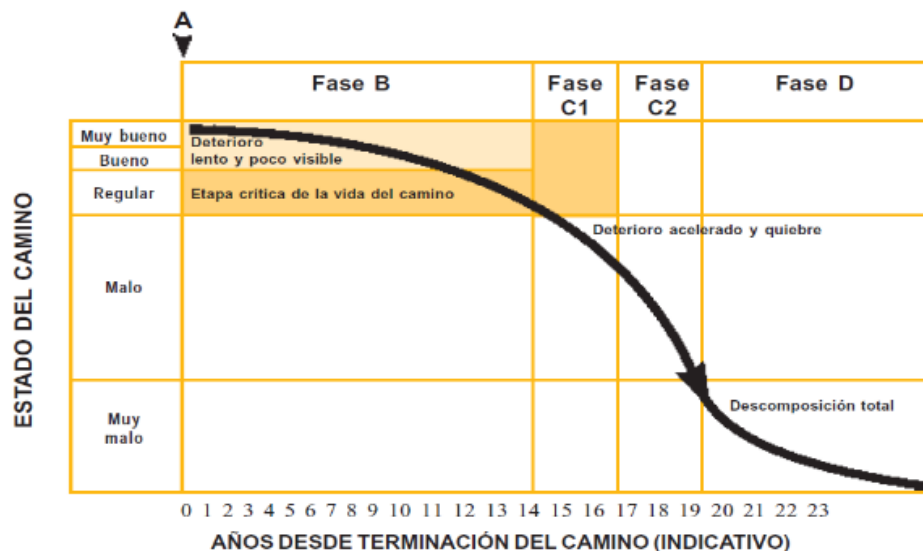
#### 2.2.15.1. Ciclo de vida de un pavimento sin mantenimiento.

Menéndez (2003) menciona que, los pavimentos sufren un proceso de deterioro permanente debido a los diferentes agentes que actúan sobre ellos, tales como: el agua, el tráfico, la gravedad en taludes, etc., los cuales terminan deteriorándolo hasta convertirlo en intransitable. El deterioro de un camino es un proceso que tiene diferentes etapas, desde una etapa inicial, con un deterioro lento y poco visible, pasando luego por una etapa crítica donde su estado deja de ser bueno, para luego deteriorarse rápidamente, al punto de la descomposición total.

Por lo tanto, el mantenimiento no es una acción que puede efectuarse en cualquier momento, por el contrario, se habla de una conservación sostenida en el tiempo, orientada a reducir el efecto de los agentes que deterioran el pavimento. En consecuencia, extendiendo el mayor tiempo posible su vida útil y reduciendo las inversiones requeridas a largo plazo.

Se ha observado que en la práctica, las entidades encargadas de la conservación vial sólo se dedican a arreglar las fallas de emergencia, las más graves o visibles en base a sus asignaciones presupuestales que siempre son insuficientes. Este sistema de trabajo conduce velozmente a la acumulación de obras atrasadas, y a mediano plazo, conduce a la necesidad de rehabilitar o reconstruir totalmente las vías, incurriendo en mayores costos y contribuyendo a mantener a los países en su condición de subdesarrollados.

Es consecuencia, los caminos están sometidos a un ciclo que, por sus características, ha adquirido la condición de fatal. (Menéndez, 2003). Este ciclo que lleva a la condición fatal consta de 4 fases y se muestra en la Figura 9.



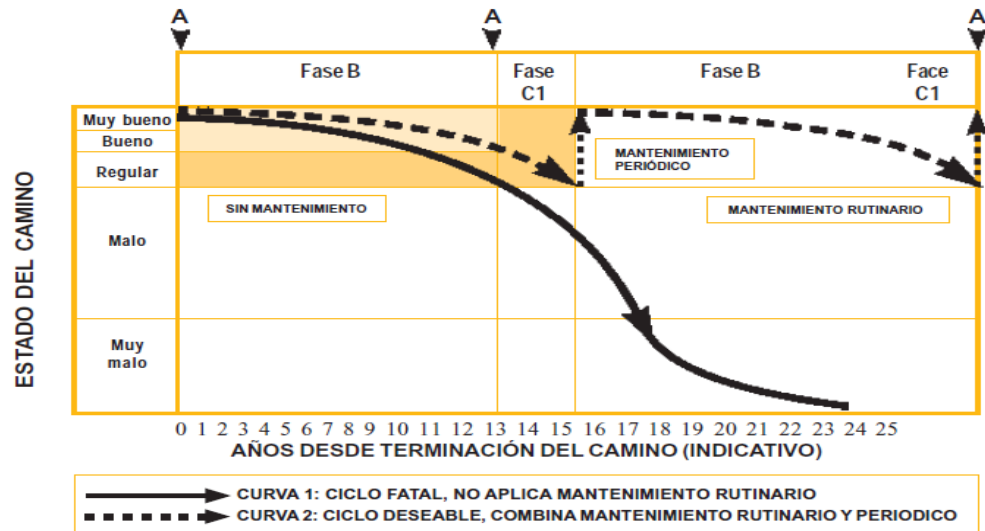
**Figura 9.** Ciclo de vida del pavimento sin mantenimiento

Fuente: Mantenimiento Rutinario de Caminos con Microempresas, Menéndez J. R., 2003



### 2.2.15.2. Ciclo de vida de un pavimento con mantenimiento.

El proceso de ciclo de vida sin mantenimiento también llamado “fatal”, porque conduce al deterioro total del camino. Pero con la aplicación de un sistema de mantenimiento adecuado, se puede llegar a mantener el camino dentro de un rango de deterioro aceptable, tal como se aprecia en la Figura 10.



**Figura 10.** Ciclo de vida del pavimento con y sin mantenimiento

Fuente: Mantenimiento Rutinario de Caminos con Microempresas

Menéndez J. R., 2003

### 2.2.16. Serviciabilidad.

Según la norma C.E.010 Pavimentos Urbanos, Serviciabilidad se define como: Capacidad del pavimento de servir al tránsito que circula por la vía. Se mide en una escala de 0 a 5, donde 0 significa intransitable y 5 excelente.

**Tabla 13.** Rangos y niveles de condición PSI

PSI	CONDICIÓN
4-5	MUY BUENA
3-4	BUENA
2-3	REGULAR
1-2	MALA
0-1	MUY MALA

### **2.2.16.1. Índice de Rugosidad Internacional (IRI).**

El International Roughness Index, comúnmente llamado IRI, por sus siglas en inglés, es la unidad estandarizada utilizada por excelencia para la medición de la rugosidad.

Para establecer criterios de calidad y comportamiento de los pavimentos que indicaran las condiciones actuales y futuras del estado superficial de un camino, surgió la necesidad de establecer un índice que permitiera evaluar las deformaciones verticales del pavimento, que permite calificar la condición superficial de un camino solo en forma subjetiva.

### **2.2.16.2. Relación entre Pavement Condition Index (PCI) e Internacional Roughness Index (IRI).**

En la investigación “Desarrollo de la correlación entre dos indicadores de la condición de la superficie del pavimento” Chávez & Peñarreta (2019), realizaron el análisis de la correlación entre PCI – IRI, demostrándolo en la siguiente ecuación:

$$PCI = 701.85 e^{-0.666(eIRI)} \quad (19)$$

**Donde:**

PCI: Índice de Condición de Pavimentos

eIRI: Índice de Regularidad Internacional

### **2.2.16.3. Relación entre Internacional Roughness Index (IRI) y Serviciabilidad (PSI).**

En el Perú, la determinación analítica del PSI se efectúa utilizando la expresión establecida por Sayers, que relaciona la Rugosidad con el Índice de Serviciabilidad. Hirpahuanca (2016) con la base de datos en el Ensayo Internacional sobre Rugosidad de Caminos, desarrolló una correlación entre serviciabilidad e IRI, y tal expresión es la siguiente:

$$eIRI = 5.5 \ln (5.0 / PSI) \quad (20)$$

**Donde:**

eIRI = Rugosidad o Internacional Roughness Index

PSI = Índice de Serviciabilidad

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO

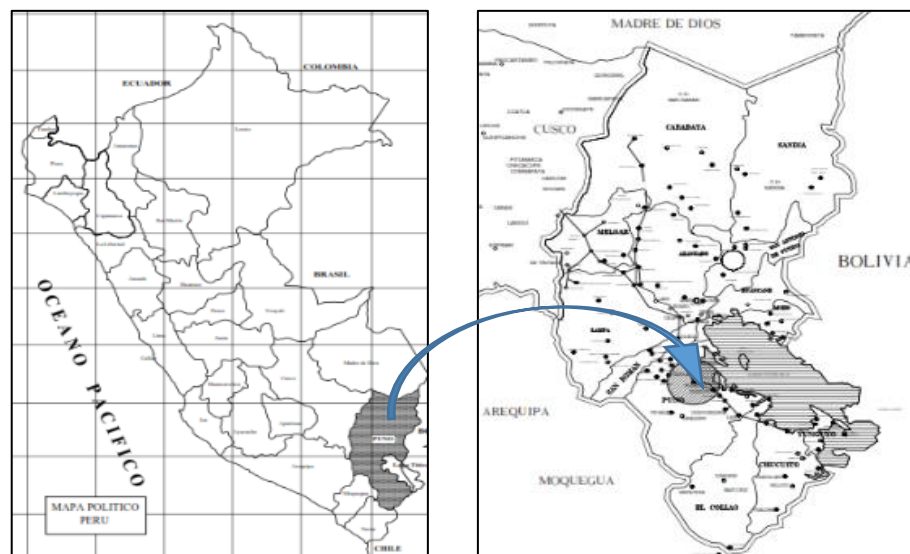
La muestra de investigación se ubica en el centro de la ciudad de Puno, y fue elegida debido a que dicha zona tiene alta concurrencia de la población en general. Además Puno es una ciudad con un alto índice de turismo, se sabe que el mayor número de hoteles, restaurants y demás establecimientos frecuentados por turistas se encuentran en el área de muestra elegida para la presente investigación.

La Ubicación geopolítica es:

- Región : Puno
- Provincia : Puno
- Distrito : Puno

Coordenadas UTM Zona - Cuadrante / 19L

- Este (X): 389938.29 m
- Norte (Y): 8248731.48 m
- Altitud: 3,848 m.s.n.m.
- Región: Sierra



**Figura 11.** Ubicación geopolítica del área de estudio.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



### **3.2. PERIODO DE DURACIÓN DEL ESTUDIO**

El periodo de estudio de la presente investigación será de 150 días, dicho tiempo corresponderá a la toma de datos para el inventario de pavimentos urbanos, implementación de base de datos, análisis de datos, y desarrollo del sistema de gestión de pavimentos urbanos.

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO**

#### **3.3.1. Población objetivo.**

La población objetivo es la red vial urbana del Centro de la ciudad de Puno, éstas vías son las que se aprecian en la Figura 12, comprendiendo una longitud de 2.16 km.

#### **3.3.2. Muestra.**

El muestreo utilizado es del *tipo aleatorio simple*, este método de muestreo no probabilístico está sujeto a la selección de variables en base a lo que al investigador le resulte más sencillo examinar ya sea por proximidad geográfica, alcance fácil de datos, evitar restricciones, etc.

En base a lo expresado en el párrafo anterior, se establece una muestra de las vías a evaluar e investigar, las que fueron representadas gráficamente en la Figura 12. En dicha muestra de investigación, se observan tres tipos de pavimentos: pavimentos mixtos, rígidos, y articulados.



**Figura 12.** Plano de la muestra de los pavimentos a evaluar e investigar.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



### 3.4. PROCEDIMIENTO

#### 3.4.1. Instrumentos de Investigación

##### **Normativas.**

- Normativa Internacional ASTM D6433-7, Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys
- Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma CE.010. Pavimentos Urbanos, 2010
- Manual de Carreteras Conservación Vial, 2016.

##### **Instrumentos.**

Los instrumentos que se utilizaron para la presente investigación fueron:

- Normativas nacionales e Internacionales
- Artículos científicos
- Tesis e investigaciones.
- Formatos de Elaborado por el equipo de trabajo basados en la metodología PCI para recolección de datos.

##### **Formatos.**

Los formatos que se utilizaron para la recolección y registro de datos para pavimentos con cobertura bituminosa (mixtos) y rígidos son basados en la normativa del PCI que se define en la norma ASTM D6433; y para los formatos para los pavimentos articulados son basados en la investigación “Patología de pavimentos articulados”. El formato utilizado se muestra en la Figura 13.



EVALUACIÓN DEL INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)												
<b>DATOS DEL EVALUADOR</b>						<b>DATOS DE LA UNIDAD DE UNIDAD DE INSPECCIÓN</b>						
Evaluado por: .....						Longitud de Unidad de Inspección (m) .....						
Codificación: .....						Ancho de Unidad de Inspección .....						
Progr. Inicial: .....						Área de Unidad de Inspección(m2) .....						
Progr. Final: .....						Fecha: .....						
*Unidad de inspección para pavimentos flexible y mixto Franja												
*Unidad de inspección para pavimentos rígido: Losa												
PAVIMENTO FLEX Y MIXTO			PAVIMENTO RÍGIDO			PAVIMENTO ADOQUINADO						
1	Piel de cocodrilo		1	Blowup / Buckling		1	Abultamiento					
2	Exudación		2	Grieta de esquina		2	Ahuellamiento					
3	Agrietamiento en bloque		3	Losa dividida		3	Depresiones					
4	Abultamiento y hundimientos		4	Grieta de durabilidad "D"		4	Desgaste superficial					
5	Corrugación		5	Escala		5	Pérdida de arena					
6	Depresión		6	Sello de junta		6	Desplazamiento de borde					
7	Grieta de borde		7	Desnivel Carril / Berma		7	Desplazamiento de juntas					
8	Grieta de reflexión de junta		8	Grietas lineales		8	Fracturamiento					
9	Desnivel carril/berma		9	Parcheo grande		9	Fracturamiento de confinamiento					
10	Grietas long y transv		10	Parcheo pequeño		10	Fracturamiento de confinamiento					
11	Parches		11	Pulimiento de agregados		11	Escalonamiento entre adoquines					
12	Pulimiento de agregados		12	Popouts		12	Escalonamiento entre adoquines y					
13	Huecos		13	Bombeo			confinamientos					
14	Cruce de vía		14	Punzonamiento		13	Juntas abiertas					
15	Ahuellamiento		15	Cruce de vía férrea		14	Vegetación en la calzada					
16	Desplazamiento		16	Desconchamiento / Mapa de Grietas								
17	Grieta parabólica (slippage)		17	Grieta de Retracción								
18	Hinchamiento		18	Descascaramiento de Esquina								
19	Desprendimiento de agregados		19	Descascaramiento de junta								
N°	NOMBRE VIA URB.	N° CUADRA	N° UNIDAD DE INSPECCIÓN	TIPO DE PAVIMENTO	N° TIPO DE FALLA	SEVERIDAD: Leve (L), Moderado (M), o Alto (H).	Dimensiones de falla					CROQUIS
				Mixto(M), Rígido(R), Articulado(A).			(a)	(b)	(c)	Área (AxL)	Área (AxL)	
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

**Figura 13.** Formato de registro para la inspección de pavimentos.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



### **3.4.2. Metodología de recolección de datos**

#### **3.4.2.1. Planificación y delimitación de las vías.**

Para comenzar la investigación, se realizó una planificación y delimitación de las vías pertenecientes a la muestra de investigación planteada, donde se define el orden de recolección de datos in situ, tomando como criterio el orden numérico de las cuadras. Además, se identifican los tipos de pavimentos de las vías a evaluar, que en este caso son pavimentos mixtos, rígidos y articulados.

La inspección se realiza por unidades de inspección, las que se definen como franja en los pavimentos mixtos y articulados, y como losa en los pavimentos rígidos.

#### **3.4.2.2. Inspección y recolección de información: PCI.**

La inspección visual y recolección de datos de las fallas del pavimento, se realizó en base a la metodología del PCI o ICP. Haciendo uso del Formato de recolección de datos (Figura 13).

### **3.4.3. Plan de Análisis y Aplicación del SGCOPU**

Para iniciar con la aplicación del Sistema de Gestión de Conservación de los Pavimentos Urbanos – SGCOPU, el cual fue programado para esta investigación en MS Excel, se desarrollaron 5 Subsistemas:

- Sub sistema de Inventario de Fallas.
- Sub sistema de Evaluación de Pavimento.
- Sub sistema de. Estimación de Costos
- Sub sistema de Modelamiento Predictivo de Deterioro.
- Sub sistema de Optimización.





Es importante mencionar que, el análisis de resultados de esta investigación, se basa en la comparación del resultado final obtenido con la aplicación de los subsistemas en cada uno de los siguientes escenarios:

- Escenario 01: Sin Mantenimiento
- Escenario 02: Con Mantenimiento
- Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.

#### **3.4.3.1. Sub sistema de Inventario de fallas.**

Los datos tomados in situ durante la etapa de “Inspección y Recolección de Información” se insertan en la Hoja Excel desarrollada y denominada “Subsistema de Inventario de fallas”, cuyas características son: actualizable y retroalimentable.

#### **3.4.3.2. Sub sistema de evaluación de pavimento.**

Para este subsistema, se realiza el cálculo del PCI o ICP, por cada unidad de inspección. Posteriormente, los valores de condición de pavimento (PCI o ICP) obtenidos, se agruparán por cada unidad de inspección, con el objetivo de tener el porcentaje de pavimentos anual por cada rango de condición.

Este Subsistema tendrá como resumen de resultados, los porcentajes de pavimentos para cada rango de condición y la calificación del pavimento (PCI o ICP) en el área de la muestra a analizar de esta tesis.

#### **3.4.3.3. Sub sistema de Estimación de Costos.**

Consecutivamente, se establecen estrategias de conservación a aplicarse para cada Condición. Estas estrategias se eligen tomando en cuenta los deterioros representativos que se identificaron en los pavimentos evaluados. Asimismo, esta elección se enfoca en los trabajos de mantenimiento preventivo, de acuerdo a las estrategias establecidas para cada rango de condición.

Una vez determinadas las estrategias para cada rango de condición, en base a una unidad de inspección representativa del pavimento, se procede con el cálculo del *Costo por m<sup>2</sup>* de conservación, para cada Rango de Condición.



Posteriormente, será necesario calcular el *Costo Total* de conservación para cada rango de condición.

Finalmente, se calcula el Costo Total Anual de conservación. Es importante mencionar que el interés por realizar este último cálculo, radica en la utilización de este valor para el análisis y comparación de los recursos económicos anualmente, de tal manera este análisis servirá para la toma de decisiones sobre incrementos en el presupuesto.

#### **3.4.3.4. Sub sistema de Modelamiento Predictivo de Deterioro.**

En este Subsistema, se plantea un modelamiento predictivo de deterioro, basado en un modelo probabilístico estocástico, utilizando las cadenas de Markov.

De esta manera, se podrá desarrollar las curvas de deterioro, analizar el ciclo de vida del pavimento, y realizar una comparación de escenarios con respecto al PCI o CPI, para la verificación de las hipótesis planteadas en esta investigación.

#### **3.4.3.5. Sub sistema de Optimización.**

Se sabe que el presupuesto asignado para la conservación de vías en la Ciudad de Puno es limitado. Por lo tanto, no se podría aplicar las estrategias de mantenimiento a todas las vías que se necesitan reparar.

Con esta premisa, se plantea la optimización del SGCOPU, para poder determinar anualmente el porcentaje de pavimentos que se podrán mantener (%CM) con el presupuesto disponible, y el porcentaje de pavimentos que se dejarán sin mantenimiento (%SM) por tener recursos económicos limitados.

En este sentido, para este subsistema se analizará el “Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado”, el que será desarrollado a través de la optimización matemática, basada en la programación lineal propuesta en el marco teórico de esta investigación. Esta optimización, contribuirá para obtener la mejor condición funcional posible del pavimento, invirtiendo sólo los recursos económicos disponibles limitados, destinados a la conservación.



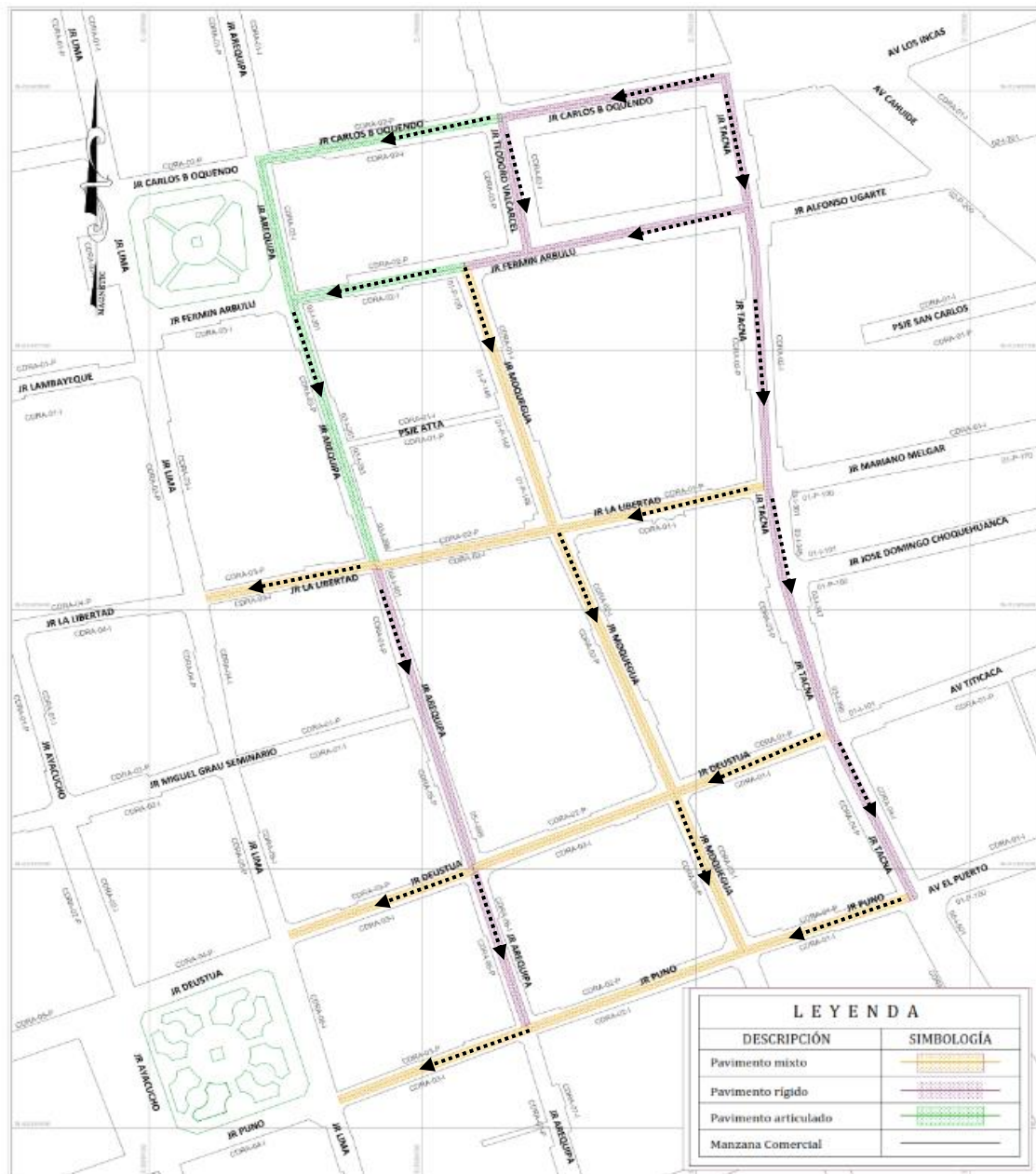
Por lo tanto en la presente tesis, para dar solución al problema de programación lineal que fue planteado para la optimización de la condición del pavimento, se aplicará el método Simplex que es una herramienta usada por el complemento Solver del Ms Excel.

#### **3.4.4. Base de datos para el desarrollo de la Investigación**

##### **3.4.4.1. Planificación y selección de vías a inspeccionar**

Se realizó la planificación, distribución y delimitación de las vías pertenecientes al área de muestra establecida para esta investigación, haciendo énfasis en la distribución por tipo de pavimento. Además, en la muestra de investigación, se han identificado 3 tipos de pavimentos: mixtos, rígidos y articulados (Figura 14).

Además, se determinó el orden a seguir para la recolección de datos in situ, tomando como criterio el orden numérico de las cuadras. De esta manera, para la inspección se establece que las vías: Jr. Moquegua, Jr. Arequipa, Jr. Teodoro Valcárcel y Jr. Tacna, son tramos continuos; sin embargo, las vías transversales a ellas, tales como: Jr. Puno, Jr. Libertad, Jr. Deustua, Jr. Arbulú y Jr. Oquendo, se inspeccionan por tramos discontinuos.



**Figura 14.** Mapa de vías para la recolección de datos

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la Tabla 14, Tabla 15, y Tabla 16, se muestran pavimentos mixtos, rígidos y articulados de la muestra a inspeccionar, que se estableció para esta investigación.

**Tabla 14.** Vías de la muestra a inspeccionar con Pavimento Mixto

Ítem	Nombre de Vía	N° de cuadras de la muestra	N° carril	Longitud Total	Ancho de calzada	Área Total	Tipo de Pavimento
1	Jr. Puno	1, 2,3	1	210.51	3.60	757.84	Mixto
2	Jr. La Libertad	1,2,3	1	270.00	3.20	864.00	Mixto
3	Jr. Deustua	1,2,3	1	192.10	3.40	653.14	Mixto
4	Jr. Moquegua	1,2,3	1	297.00	4.90	1,455.30	Mixto
<b>TOTAL</b>						<b>3,730.28</b>	<b>m2</b>

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 15.** Vías de la muestra a inspeccionar con Pavimento Rígido

Ítem	Nombre de Vía	N° de cuadras de la muestra	N° carril	Longitud Total	Ancho de calzada	Área Total	Tipo de Pavimento
1	Jr. Arbulú	1	1	104.70	5.80	607.26	Rígido
2	Jr. Arequipa	4,5,6	1	187.30	3.55	664.92	Rígido
3	Jr. Oquendo	1	1	81.80	7.50	613.50	Rígido
4	Jr. T. Valcárcel	3	2	52.10	7.80	406.38	Rígido
5	Jr. Tacna	1,2,3,4	2	325.20	7.90	2,569.08	Rígido
<b>TOTAL</b>						<b>4,861.14</b>	<b>m2</b>

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

**Tabla 16.** Vías de la muestra a inspeccionar con Pavimento Articulado

Ítem	Nombre de Vía	N° de cuadras de la muestra	N° carril	Longitud Total	Ancho de calzada	Área Total	Tipo de Pavimento
1	Jr. Arbulú	2	1	57.30	4.00	229.20	Articulado
2	Jr. Arequipa	2,3	1	155.30	3.55	551.32	Articulado
3	Jr. Oquendo	2	1	76.70	7.50	507.75	Articulado
<b>TOTAL</b>						<b>1,288.27</b>	<b>m2</b>

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

El resumen de las vías a inspeccionar se muestra en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Resumen de Vías del Centro de Puno por Tipo de pavimento

<b>RESUMEN DE TIPO DE PAVIMENTO</b>			
Ítem	Tipo de Pavimento	Cantidad (m2)	%
1	Pavimento Mixto	3,730.28	37.76
2	Pavimento Rígido	4,861.14	49.20
3	Pavimento Articulado	1,288.27	13.04
<b>TOTAL</b>		<b>9,879.68</b>	<b>m2</b>

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.4.5. Procedimiento de Inspección y Recolección de Información: PCI

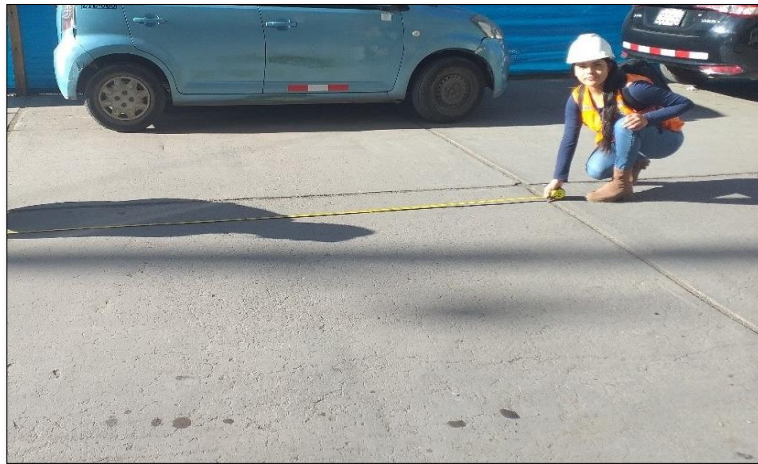
La inspección visual y recolección de datos de las fallas del pavimento mixtos (carpeta de rodadura asfáltica) y rígidos, se realizó en base a la metodología del PCI y para los pavimentos articulados, se realizó en base a la metodología del ICP. (Anexo B)

#### **Procedimiento de la Metodología del PCI.**

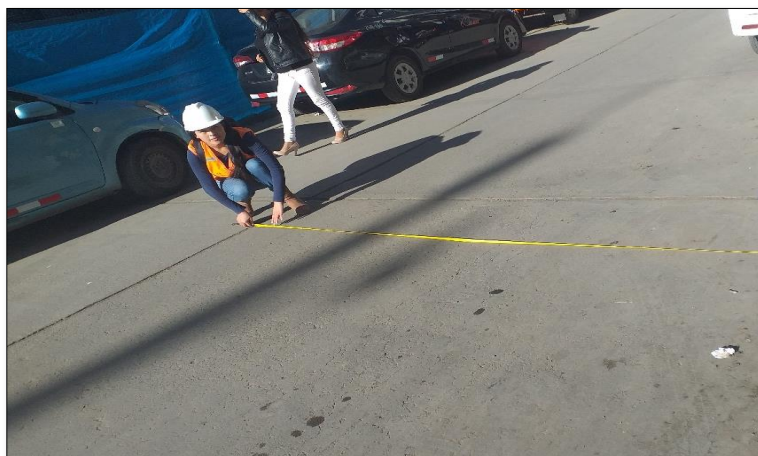
Comienza con la demarcación y segmentación de las unidades de inspección, las cuales se realizarán por franjas en pavimentos mixtos y articulados; y en pavimentos rígidos se realizará por losas.



**Figura 15.** Segmentación de unidades de inspección (franjas)



**Figura 16.** Segmentación de unidades de inspección (losa)



**Figura 17.** Segmentación de unidades de inspección (losa)

Posteriormente, en cada unidad de inspección se identifican y se miden las fallas presentes en el pavimento. En la Figura 18 se aprecia una falla denominada Grieta de esquina de severidad Alta, en la que se realiza mediciones correspondientes, para conocer el área de afectación de la unidad de inspección



**Figura 18.** Ubicación y medición de las fallas presentes en el pavimento



**Figura 19.** Ubicación y medición de la falla “Grieta de Reflexión de junta” de severidad Leve

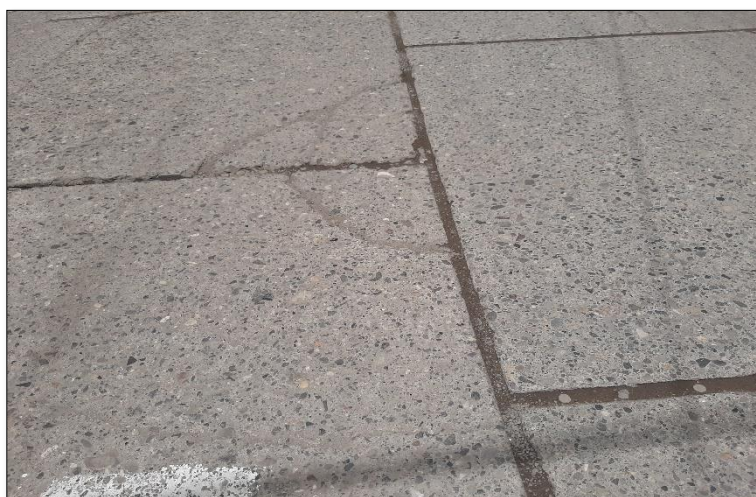


A continuación se registran los datos para cada unidad de inspección (franja o losa):

- Nombre de la vía
- N° de cuadra
- N° de Unidad de Inspección
- Las dimensiones de unidad de inspección, se registran de la siguiente manera: Para pavimentos mixtos y articulados, L= longitud de franja, A= Ancho de calzada; para pavimentos rígidos, L=longitud de losa en dirección longitudinal a la vía, A= Ancho de losa en dirección transversal a la vía.
- Tipo de pavimento: Pavimento mixto (M), rígido (R) y articulado (A)
- N° de Tipo de falla, según el listado que se indica en la parte superior del formato de la Figura 13.
- Severidad : Leve (L), Medio(M), Alto (A)
- Para cada combinación de tipo de falla y severidad identificada se registran las dimensiones de la Falla
- Adicionalmente se realiza un croquis de la unidad de inspección.

**Fallas representativas identificadas en las vías de estudio.**

A continuación, se presentan algunas fotografías de las fallas identificadas en la evaluación realizada en los pavimentos del Centro de Puno.



**Figura 20.** Falla en pavimento Rígido, “Grieta de esquina” de severidad Alta.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Durante la inspección de pavimentos, se ha identificado de manera frecuente, los parches en el Jr. Moquegua, y Jr Tacna.



**Figura 21.** Falla en pavimento Rígido, “Parcheo Grande” de severidad Alta.  
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 22.** Falla en pavimento Rígido, “Mapa de Grietas” de severidad Alta.  
“Parcheo grande” de severidad alta, “Grietas lineales” de severidad Alta.  
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la inspección de pavimentos mixtos, se ha identificado frecuentemente las “Grietas de reflexión de junta”, los “Parches” y “Grieta de borde”.



**Figura 23.** Falla en pavimento Mixto, “Grieta de reflexión de junta” de severidad Alta, y “Parches” de severidad Alta.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 24.** Falla en pavimento Mixto, “Grieta de borde” de severidad Alta.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



### **3.4.6. Presupuesto disponible para la conservación de vías**

Respecto al presupuesto disponible, se tiene que la Municipalidad no proporciona al investigador el presupuesto asignado a “Mejorar el Servicio de Transporte y Tránsito en la Provincia de Puno”, además se sabe que este no está destinado únicamente para el mantenimiento de las vías, por lo que no hay información certera.

En relación a lo señalado anteriormente, en la presente investigación para el cálculo del presupuesto disponible se toma el 30% del presupuesto necesario para reparar el 100% de los pavimentos mixtos y articulados, y 20% del presupuesto necesario para reparar el 100% de los pavimentos rígidos. Esta información será útil para el desarrollo del Subsistema de Optimización.



### **3.5. DESARROLLO DEL SGCOPU**

El Sistema de Gestión de Conservación de los Pavimentos Urbanos, está conformado por Subsistemas consecutivos y dependientes entre sí.

#### **3.5.1. Sub sistema de Inventario de fallas**

Para iniciar con el desarrollo del SGCOPU, es sumamente importante contar con un inventario de fallas, el cual se conformó con toda la información recolectada in-situ. El inventario se caracteriza por ser retroalimentable y actualizable.

El inventario que se presenta en esta investigación servirá como punto de inicio para evaluar la condición funcional del pavimento.

En el “Subsistema de Inventario de fallas” se introducen los datos recolectados como: Tipo de pavimento, Nombre de vía, Ancho de Unidad de Inspección, Longitud de Unidad de Inspección, N° de Cuadra, N° de Unidad de Inspección, N° de tipo de falla, Severidad, Dimensiones de falla y Fecha. En la Tabla 18 se aprecia un extracto del total de la información que compone este Subsistema. (Anexo B).

**Tabla 18.** Extracto del Inventario de fallas para pavimento Mixto, Rígido y Articulado del Anexo B.

N°	TIPO DE PAV.	NOMBRE DE VÍA	Ancho de Inspección	Longitud de Inspección	Cuadra	Unidad de Inspección	Tipo de falla	Severidad H: Alto M: Medio L: Leve	DIMENSIONES DE FALLAS										FECHA	
									D1		D2		D3		D4		D5			
									a	L	h	a	L	h	a	L	h	a		L
1	M	JR.PUNO	3.6	10	1	1	11 H	H	1.4	0.8	1.1	2.5								Junio 2019
2	M	JR.PUNO	3.6	10	1	1	10 L	L	0.7	0.02										Junio 2019
3	M	JR.PUNO	3.6	10	1	1	10 M	M	1.2	0.03	0.7	0.05								Junio 2019
4	M	JR.PUNO	3.6	10	1	1	10 H	H	3.0	0.03	1.8	0.01								Junio 2019
5	M	JR.PUNO	3.6	10	1	1	7 M	M	10.0	0.3	10.0	0.3								Junio 2019
6	M	JR.PUNO	3.6	10	1	2	11 L	L	0.8	0.5	0.9	0.5								Junio 2019
7	M	JR.PUNO	3.6	10	1	2	7 M	M	10.0	0.3	10.0	0.3								Junio 2019
8	M	JR.PUNO	3.6	10	1	3	7 M	M	4.5	0.3	2.0	0.3	10	0.3						Junio 2019
9	M	JR.PUNO	3.6	10	1	3	11 L	L	0.6	0.4										Junio 2019
10	M	JR.PUNO	3.6	10	1	3	11 M	M	1.1	0.5	1.1	0.6								Junio 2019

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo. Extracto del Anexo B

### 3.5.2. Sub sistema de evaluación de pavimento

El objetivo de este Subsistema, es obtener el porcentaje de pavimentos que están distribuidos por cada rango de condición, a través de la evaluación de PCI o ICP actual de los pavimentos.

#### 3.5.2.1. Pavimentos Mixtos.

Para obtener el porcentaje de pavimentos que están distribuidos por cada rango, haciendo uso de la base de datos de la inspección, se calcularán los valores de PCI por cada unidad de inspección (Tabla 19). Es importante mencionar que, los resultados a detalle se encuentran en el *Anexo C*.

**Tabla 19.** Resumen de PCI por cada unidad de inspección, Pavimento Mixto.

N° FRANJA	NOMBRE DE VÍA	ÁREA (M2)	PCI	CONDICIÓN
1	Jr. PUNO	213.66	80.00	MUY BUENO
2	Jr. PUNO	288.00	72.00	MUY BUENO
3	Jr. PUNO	256.18	63.00	BUENO
4	Jr. LIBERTAD	320.00	53.00	REGULAR
5	Jr. LIBERTAD	320.00	56.00	BUENO
6	Jr. LIBERTAD	224.00	67.00	BUENO
7	Jr. DEUSTUA	189.72	73.00	MUY BUENO
8	Jr. DEUSTUA	246.84	92.00	EXCELENTE
9	Jr. DEUSTUA	216.58	81.00	MUY BUENO
10	Jr. MOQUEGUA	294.00	53.00	REGULAR
11	Jr. MOQUEGUA	294.00	34.00	POBRE
12	Jr. MOQUEGUA	294.00	16.00	MUY POBRE
13	Jr. MOQUEGUA	294.00	56.00	BUENO
14	Jr. MOQUEGUA	279.30	75.00	MUY BUENO

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo, resumen del cálculo detallado del PCI del Anexo C

De esta manera, los resultados del PCI de los pavimentos mixtos, se presentan de forma resumida en la Tabla 20. De donde se infiere que, el mayor porcentaje de los pavimentos mixtos, se encuentran en el rango B, en la condición de “Muy Bueno”, con un 31.83%.



**Tabla 20.** Resumen del % de Pavimentos Mixtos por cada rango.

CONDICIÓN	RANGO			PCI	ÁREA	Pavimento
				promedio	(m2)	Mixto (%)
<b>EXCELENTE</b>	A	100	85	92.5	246.84	6.62 %
<b>MUY BUENO</b>	B	85	70	77.5	1,187.26	31.83 %
<b>BUENO</b>	C	70	55	62.5	1,094.18	29.33 %
<b>REGULAR</b>	D	55	40	47.5	614.00	16.46 %
<b>POBRE</b>	E	40	20	30	294.00	7.88 %
<b>MUY POBRE</b>	F	25	10	17.5	294.00	7.88 %
<b>FALLADO</b>	G	10	0	5	0.00	0.00 %
<b>TOTAL</b>					<b>3,730.28</b>	<b>100.00 %</b>

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.5.2.2. Pavimentos Rígidos.

Para obtener el porcentaje de pavimentos que están distribuidos por cada rango, haciendo uso de la base de datos de la inspección, se calcularán los valores de PCI por cada unidad de inspección (Tabla 21). Es importante mencionar que, los resultados a detalle se encuentran en el Anexo D.



**Tabla 21.** Resumen de PCI por cada unidad de inspección, Pavimento Rígido.

Nº	NOMBRE DE LA VÍA	ÁREA (M2)	NIVEL DE DETERIORO PCI	CONDICIÓN
1	TACNA	10.00	26.00	POBRE
2	TACNA	10.00	8.00	FALLADO
3	TACNA	10.00	17.00	MUY POBRE
4	TACNA	10.00	23.00	MUY POBRE
5	TACNA	10.00	31.00	POBRE
6	TACNA	10.00	53.00	REGULAR
7	TACNA	10.00	70.00	BUENO
8	TACNA	10.00	48.00	REGULAR
9	TACNA	10.00	29.00	POBRE
10	TACNA	10.00	49.00	REGULAR
11	TACNA	10.00	35.00	POBRE
12	TACNA	4.00	25.00	MUY POBRE
13	TACNA	10.00	54.00	REGULAR
14	TACNA	10.00	62.00	BUENO
15	TACNA	10.00	8.00	FALLADO
16	TACNA	10.00	35.00	POBRE
17	TACNA	10.00	26.00	POBRE
18	TACNA	10.00	8.00	FALLADO
19	TACNA	10.00	8.00	FALLADO
20	TACNA	10.00	5.00	FALLADO
21	TACNA	9.00	8.00	FALLADO
22	OQUENDO	10.00	9.00	FALLADO
23	OQUENDO	10.00	77.00	MUY BUENO
24	OQUENDO	10.00	70.00	BUENO
25	OQUENDO	10.00	72.00	MUY BUENO
26	OQUENDO	10.00	76.00	MUY BUENO
27	ARBULU	10.00	8.00	FALLADO
28	ARBULU	10.00	28.00	POBRE
29	ARBULU	10.00	74.00	MUY BUENO
30	ARBULU	10.00	77.00	MUY BUENO
31	ARBULU	10.00	65.00	BUENO
32	ARBULU	10.00	36.00	POBRE
33	ARBULU	1.00	21.00	MUY POBRE
34	AREQUIPA	10.00	43.00	REGULAR
35	AREQUIPA	10.00	48.00	REGULAR
36	AREQUIPA	3.00	53.00	REGULAR
37	AREQUIPA	5.00	13.00	MUY POBRE
38	AREQUIPA	5.00	15.00	MUY POBRE
39	T. VALCARCEL	10.00	74.00	MUY BUENO
40	T. VALCARCEL	10.00	71.00	MUY BUENO
41	T. VALCARCEL	8.00	61.00	BUENO

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo, resumen del cálculo detallado del PCI del Anexo D

De esta manera, los resultados del PCI de los pavimentos rígidos, se presentan de forma resumida en la Tabla 22. De donde se infiere que, el mayor porcentaje de los pavimentos Rígidos, se encuentran en el rango E, en la condición de “Pobre”, con un 21.33%.

**Tabla 22.** Resumen del % de Pavimentos Rígidos por cada rango.

CONDICIÓN	RANGO			PCI promedio	Nº de LOSAS	Pavimento Rígido (%)
EXCELENTE	A	100	85	92.5	0.00	0.00 %
MUY BUENO	B	85	70	77.5	70.00	18.67 %
BUENO	C	70	55	62.5	48.00	12.80 %
REGULAR	D	55	40	47.5	63.00	16.80 %
POBRE	E	40	20	30	80.00	21.33 %
MUY POBRE	F	25	10	17.5	35.00	9.33 %
FALLADO	G	10	0	5	79.00	21.07 %
<b>TOTAL</b>					<b>375.00</b>	<b>100.00 %</b>

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

### 3.5.2.3. Pavimentos Articulados.

Para obtener el porcentaje de pavimentos que están distribuidos por cada rango, haciendo uso de la base de datos de la inspección, se calcularán los valores de PCI por cada unidad de inspección (Tabla 23). Es importante mencionar que, los resultados a detalle se encuentran en el *Anexo E*.

**Tabla 23.** Resumen de PCI por cada unidad de inspección, Pavimento Articulado.

Nº	NOMBRE DE LA VÍA	ÁREA (M2)	PCI	CONDICIÓN
1	AREQUIPA	213.00	4.00	BUENO
2	AREQUIPA	346.84	5.00	MUY BUENO
3	OQUENDO	517.50	4.00	BUENO
4	ARBULU	255.20	3.00	REGULAR

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo, resumen del cálculo detallado del PCI del Anexo E.

De esta manera, los resultados del PCI de los pavimentos articulados, se presentan de forma resumida en la Tabla 24. De donde se infiere que, el mayor porcentaje de los pavimentos articulados, se encuentran en el rango C, en la condición de “Bueno”, con un 54.82%.

**Tabla 24.** Resumen del % de Pavimentos Articulados por cada rango.

CONDICIÓN		PCI prom	ÁREA	Pavimento Articulado (%)
MUY BUENO	AB	5	346.84	26.03 %
BUENO	C	4	730.50	54.82 %
REGULAR	D	3	255.20	19.15 %
POBRE	E	2	0.00	0.00 %
MUY POBRE	FG	1	0.00	0.00 %
TOTAL			1,332.54	100.00%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

### 3.5.3. Sub sistema de Estimación de costos de Conservación

#### 3.5.3.1. Pavimento Mixto.

En este subsistema, con el fin de estimar el presupuesto que demandaría la conservación de los pavimentos evaluados, se establecen estrategias de mantenimiento a aplicar para cada Rango de Condición de pavimento (Excelente, Muy bueno, Bueno, Regular, Pobre, Muy pobre, Fallado). Estas estrategias se seleccionan de acuerdo a lo detallado en el marco teórico de esta investigación.

Para los pavimentos mixtos pertenecientes a la muestra de esta investigación, tomando como base el inventario de fallas obtenido, se definen los trabajos de mantenimiento para cada falla predominante que fue identificada en las unidades de inspección. De acuerdo a lo mencionado, las estrategias definidas se muestran en la Tabla 25.

**Tabla 25.** Estrategias de mantenimiento para Pavimentos Mixtos.

PAVIMENTO MIXTO						
CONDICIÓN	PCI	FALLA		SEVERIDAD	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	
EXCELENTE	A	100-85	Grietas long y transv	10	LEVE	Sellado de fisuras
			Parches	11	LEVE	Parchado superficial
			Tratamiento adicional en toda el área		-	Fog Seal
MUY BUENO	B	85-70	Grietas long y transv	10	LEVE	Parchado superficial
			Grietas long y transv	10	MEDIO	Parchado profundo
			Desprendimiento de agregados	19	LEVE	Parchado superficial
			Tratamiento adicional en toda el área		-	Fog Seal
BUENO	C	70-55	Parches	11	LEVE	Pachado superficial
			Parches	11	MEDIO	Parchado profundo
			Piel de cocodrilo	1	MEDIO	Parchado profundo
			Tratamiento adicional en toda el área		-	Fog Seal
REGULAR	D	55-40	Grieta de borde	7	LEVE	Parchdo superficial
			Desplazamiento	16	MEDIO	Parchado profundo
			Parches	11	MEDIO	Parchado profundo
			Tratamiento adicional en toda el área		-	Slurry Seal 1"
POBRE	E	40-25	Grieta de borde	7	MEDIO	Parchado profundo
			Desprendimiento de agregados	19	MEDIO	Parchado profundo
			Parches	11	ALTO	Parchado profundo
			Tratamiento adicional en toda el área		-	Recapeo Asfáltico
MUY POBRE	F	25-10	Grieta de borde	7	MEDIO	Parchado profundo
			Parches	11	ALTO	Parchado profundo
			Huecos	13	MEDIO	Parchado profundo
			Tratamiento adicional en toda el área		-	Recapeo Asfáltico
FALLADO	G	0-10	Piel de cocodrilo	1	MEDIO	Reconstrucción del pavimento mixto
			Grieta de borde	7	ALTO	
			Huecos	13	MEDIO	
			Huecos	13	ALTO	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo, tomando como referencia el Manual de Conservación Vial (2013)



### 3.5.3.1.1. Costo de conservación por m<sup>2</sup>

Una vez se determinadas las estrategias a aplicar por cada rango PCI (Tabla 25), haciendo uso de la *Ecuación (12)* mencionada en el marco teórico, se procede con el cálculo del costo de conservación por m<sup>2</sup> para cada Rango de Condición.

Con tal objetivo, tomando los datos del inventario de fallas, por cada rango de condición se consideran las fallas más frecuentes en el pavimento mixto. Además, se considera que el área promedio de la unidad de inspección representativa será 225 m<sup>2</sup>, considerando 65ml de longitud de franja y 3.45 ml de ancho de calzada. Y para verificar que los valores seleccionados sean correctos, se realiza el cálculo del PCI para esta unidad de inspección. (Tabla 26).

**Tabla 26.** Cálculo del PCI por Condición, Pavimento mixto

PAVIMENTO MIXTO														
CONDICIÓN	PCI	FALLA	SEVERIDAD	METRA DO (M2)	DENSIDAD DE FALLA	VALOR DE DEDUC (VD)	m	ITERACIÓN DE VALOR DE DEDUCCIÓN (IVD)	VALOR DE DEDUC. TOTAL	q	(VDC)	PCI		
EXCELENTE	A	Grietas long y transv	L	3.00	8.33	6	9.633	6	1	0	7	7	92.00	
		Parches	L	0.16	0.44	1		6	2	0	8	8		
MUY BUENO	B	Grietas long y transv	L	3.50	9.72	7		7	8	10	25	15	85.00	
		Grietas long y transv	M	0.83	2.31	8	9.265	7	8	2	0	17		13
		Desprendimiento de agregados	L	12.71	35.31	10		7	2	0	9	9		9
BUENO	C	Parches	L	2.20	6.11	12		12	24	18	54	35	65.05	
		Parches	M	2.07	5.75	24	7.98	12	24	2	0	38		29
		Piel de cocodrilo	M	0.25	0.69	18		12	2	0	14	14		14
REGULAR	D	Grieta de borde	L	1.20	3.33	4		4	29	40	73	47	52.88	
		Desplazamiento	M	2.30	6.39	29	6.51	4	29	2	0	35		26
		Parches	M	6.70	18.61	40		4	2	0	6	6		6
POBRE	E	Grieta de borde	M	2.10	5.83	10		10	22	65	97	61	38.72	
		Desprendimiento de agregados	M	5.30	14.72	22	4.214	10	22	2	0	34		26
		Parches	H	6.40	17.78	65		10	2	0	12	12		12
MUY POBRE	F	Grieta de borde	M	2.40	6.67	11		11	65	63	139	82	17.62	
		Parches	H	6.30	17.50	65	4.214	11	65	2	0	78		56
		Huecos	M	1.25	3.47	63		11	2	0	13	13		13
FALLADO	G	Piel de cocodrilo	M	1.20	3.33	36		36	25	100	261	97	3.00	
		Grieta de borde	H	4.07	11.31	25	1	36	25	100	2	163		92
		Huecos	M	18.92	52.56	100		36	25	2	63	63		46
		Huecos	H	25.00	69.44	100		36	2	38	38	38		

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Posteriormente, con el área corroborada en la Tabla 26 y el presupuesto de cada una de las estrategias de mantenimiento detallado en el Anexo F, se determinan los precios de conservación para cada rango de condición, siguiendo el procedimiento descrito en el marco teórico. De esta manera, la Tabla 27, muestra el Costo de aplicación de estrategias de conservación para toda el área de unidad de inspección.

**Tabla 27.** Estrategias de mantenimiento para Pavimentos mixtos

<b>PAVIMENTOS MIXTOS</b>			
<b>CONDICIÓN</b>	<b>FALLA</b>	<b>SEV.</b>	<b>COSTO POR ÁREA TOTAL = 225 m<sup>2</sup></b>
<b>EXCE LENT</b> E A	Grietas long y transv	L	S/. 5,185.12
	Parches	L	
	Tratamiento adicional en toda el área	-	
<b>MUY BUENO</b> B	Grietas long y transv	L	S/. 6,930.22
	Grietas long y transv	M	
	Desprendimiento de agregados	L	
	Tratamiento adicional en toda el área	-	
<b>BUENO</b> C	Parches	L	S/. 8,138.51
	Parches	M	
	Piel de cocodrilo	M	
	Tratamiento adicional en toda el área	-	
<b>REGULA R</b> D	Grieta de borde	L	S/. 20,130.13
	Piel de cocodrilo	M	
	Parches	M	
	Tratamiento adicional en toda el área	-	
<b>POBRE</b> E	Grieta de borde	M	S/. 30,862.77
	Desprendimiento de agregados	M	
	Parches	H	
	Tratamiento adicional en toda el área	-	
<b>MUY POBRE</b> F	Grieta de borde	M	S/. 31,038.34
	Parches	H	
	Huecos	M	
	Tratamiento adicional en toda el área	-	
<b>FALLAD O</b> G	Piel de cocodrilo	M	S/. 41,070.05
	Grieta de borde	H	
	Huecos	M	
	Huecos	H	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Teniendo el resultado del costo de conservación para cada rango de condición, se determinan los costos de conservación por metro cuadrado (M2), siguiendo el procedimiento y ecuaciones indicadas en el marco teórico de esta investigación. Estos resultados se muestran en la Tabla 28.

**Tabla 28.** Estimación de costo de mantenimiento por m2, Pavimento Mixto

<b>COSTO DE CONSERVACIÓN POR M2 DE PAVIMENTO MIXTO</b>		
<b>CONDICIÓN</b>		<b>PRECIO / M2</b>
EXCELENTE	A	S/. 23.04
MUY BUENO	B	S/. 30.80
BUENO	C	S/. 36.17
REGULAR	D	S/. 89.47
POBRE	E	S/. 137.17
MUY POBRE	F	S/. 137.95
FALLADO	G	S/. 182.53

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### **3.5.3.1.2. Presupuesto disponible**

El presupuesto disponible es sumamente importante para el desarrollo del Escenario 03, puesto que, se analiza el comportamiento del pavimento haciendo uso de un presupuesto “limitado”, el que será optimizado.

Además como se explicó en el apartado “3.4.6. *Presupuesto disponible para conservación de vías*”, la Municipalidad no proporciona al investigador el presupuesto disponible para la conservación de vías.

En relación a lo señalado en los párrafos anteriores, se considera que la Municipalidad dispone de todo el dinero que requiera para reparar el 100% de vías; lo que es imposible considerar, de acuerdo a la realidad del entorno.



Por lo tanto, en la presente investigación para el cálculo del presupuesto disponible se toma el 30% del presupuesto necesario para reparar el 100% de las vías. El resumen de este cálculo se muestra en la Tabla 29.

**Tabla 29.** Presupuesto disponible para Pavimentos Mixtos

CONDICIÓN	% de Pav.	Área Total Pav.	S/. x m <sup>2</sup>	Presupuesto para mantenimiento
EXCELENTE	6.62	3,730.28	S/.23.04	S/. 5,688.43
MUY BUENO	31.83	3,730.28	S/.30.80	S/. 36,568.78
BUENO	29.33	3,730.28	S/.36.17	S/. 39,577.59
REGULAR	16.46	3,730.28	S/.89.47	S/. 54,932.89
POBRE	7.88	3,730.28	S/.137.17	S/. 40,327.35
MUY POBRE	7.88	3,730.28	S/.137.95	S/. 40,556.77
FALLADO	0.00	3,730.28	S/.182.53	S/. -
<b>TOTAL</b>				S/. 217,651.79
<b>Presupuesto Disponible (30%)</b>				S/. 65,295.54

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.5.3.2. Pavimento Rígido.

Para los pavimentos rígidos pertenecientes a la muestra de esta investigación, tomando como base el inventario de fallas obtenido, se definen los trabajos de mantenimiento para cada falla predominante que fue identificada en las unidades de inspección. De acuerdo a lo mencionado, las estrategias definidas se muestran en la Tabla 30.

**Tabla 30.** Estrategias de mantenimiento para Pavimentos Rígidos

PAVIMENTO RÍGIDO					
CONDICIÓN	PCI	FALLA	SEV.	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	
EXCELENTE	A	100-85	Grietas lineales	LEVE	Sellado de fisuras y grietas
			Grieta de durabilidad "D"	LEVE	Sellado de fisuras y grietas
			Grieta de esquina	LEVE	Sellado de fisuras y grietas
MUY BUENO	B	85-70	Mapa de grietas	LEVE	Sellado de fisuras y grietas
			Grieta de durabilidad "D"	LEVE	Sellado de fisuras y grietas
			Pulimiento de agregados	LEVE	Sellado de fisuras y grietas
BUENO	C	70-55	Parqueo pequeño	LEVE	Sellado de fisuras y grietas
			Mapa de grietas	MEDIO	Sellado de fisuras y grietas
			Pulimiento de agregados	MEDIO	Sellado de fisuras y grietas
REGULAR	D	55-40	Parqueo grande	MEDIO	Reparación de losa
			Mapa de grietas	MEDIO	Reparación de losa
			Losa dividida	LEVE	Reparación de losa
POBRE	E	40-25	Pulimiento de agregados	ALTO	Reparación de losa
			Losa dividida	LEVE	Reparación de losa
			Parqueo grande	MEDIO	Reparación de losa
			Mapa de grietas	ALTO	Reparación de losa
MUY POBRE	F	25-10	Mapa de grietas	ALTO	Reemplazo de losa
			Losa dividida	MEDIO	Reemplazo de losa
			Blowup/Bucking	MEDIO	Reemplazo de losa
			Parqueo grande	ALTO	Reemplazo de losa
FALLADO	G	0-10	Mapa de grietas	ALTO	Reemplazo de losa
			Losa dividida	ALTO	Reemplazo de losa
			Parqueo grande	ALTO	Reemplazo de losa
			Blowup/Bucking	ALTO	Reemplazo de losa

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo, tomando como referencia el Manual de Conservación Vial (2013)

### 3.5.3.2.1. Costo de conservación por m<sup>2</sup>

Para el cálculo del costo de conservación por m<sup>2</sup> para cada Rango de Condición, de los datos del inventario de fallas, por cada rango de condición se consideran las fallas más frecuentes en el pavimento. Además, se considera que el área promedio representativa será 140 m<sup>2</sup>, considerando 10 losas con dimensiones de 4ml de longitud, 3.5 ml de ancho de cada losa. Y para verificar que los valores seleccionados sean correctos, se realiza el cálculo del PCI para esta unidad de inspección. (Tabla 31).

**Tabla 31.** Cálculo del PCI por Condición, Pavimento rígido

PAVIMENTO RÍGIDO																
CONDICIÓN	PCI	FALLA	SEV.	METRADO (m <sup>2</sup> )	DENSIDAD	(VD)	m	ITERACIÓN DE (IVD)	(VDT)	q (VDC)	PCI					
EXCELENTE	100-85	Grietas lineales	L	40.10	28.64	10.50	9.22	10.5	6.6	8.0	0.0	25.10	3	14.29	86	
		Grieta de durabilidad "D"	L	22.50	16.07	6.60		10.5	6.6	2.0	0.0		19.10	2	14.22	
		Grieta de esquina	L	13.90	9.93	8.00		10.5	2.0	0.0			12.50	1	12.00	
MUY BUENO	85-70	Mapa de grietas	L	130.50	93.21	11.00	8.53	10.0	9.0	9.5	0.0	28.50	3	16.43	84	
		Grieta de durabilidad "D"	L	91.40	65.29	18.00		10.0	9.0	2.0	0.0		21.00	2	16.00	
BUENO	70-55	Pulimiento de agregados	L	130.50	93.21	9.50		10.0	2.0	0.0		12.00	1	12.00		
		Parqueo pequeño	L	57.80	41.29	2.00	9.05	27.5	11.5	6.0	0.0		10.00	1	10.00	
		Mapa de grietas	M	22.10	15.79	12.30		27.5	11.5	2.0	0.0		41.00	2	32.14	
REGULAR	55-40	Pulimiento de agregados	M	60.30	43.07	6.00		27.5	2.0	0.0		29.50	1	29.00		
		Parqueo grande	M	50.70	36.21	20.00	8.35	20.0	28.0	24.0	0.0		27.50	1	27.00	
		Mapa de grietas	M	12.90	9.21	9.00		20.0	28.0	2.0	0.0		50.00	2	38.57	
POBRE	40-25	Losa dividida	L	36.40	26.00	19.80		20.0	2.0	0.0		22.00	1	22.00		
		Pulimiento de agregados	H	65.30	46.64	6.00	6.01	49.5	33.5	15.7	7.0		105.70	4	59.72	
		Losa dividida	M	7.80	5.57	13.60		49.5	33.5	15.7	2.0		100.70	3	62.63	
MUY POBRE	25-10	Parqueo grande	M	55.10	39.36	28.00		49.5	33.5	2.0		85.00	2	60.56		
		Mapa de grietas	H	70.20	50.14	45.50		49.5	2.0				51.50	1	51.00	
		Parqueo grande	H	82.40	58.86	45.50	5.96	45.5	52.5	19.9	10.0		127.90	4	70.65	
FALLADO	0-10	Losa dividida	M	9.30	6.64	15.70		45.5	52.5	19.9	2.0	119.90	3	73.00		
		Blowup/Buckinq	M	5.40	3.86	8.50		45.5	52.5	2.0			100.00	2	69.38	
		Parqueo grande	H	56.70	40.50	46.00		45.5	2.0				47.50	1	47.00	
FALLADO	0-10	Mapa de grietas	H	90.40	64.57	49.50	5.36	49.5	57.5	33.5	26.3	166.70	4	87.92		
		Losa dividida	H	12.20	8.71	28.70		49.5	57.5	33.5	2.0		142.45	3	84.50	
		Parqueo grande	H	72.30	51.64	52.50		49.5	57.5	2.0			109.00	2	74.44	
		Blowup/Buckinq	H	1.50	1.07	26.25		49.5	2.0			51.50	1	51.00		

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Posteriormente, con el área corroborada en la Tabla 31, y el presupuesto de cada una de las estrategias de mantenimiento detallado en el Anexo G, se determinan los precios de conservación para cada rango de condición, siguiendo el procedimiento descrito en el marco teórico. De esta manera, la Tabla 32 muestra el Costo de aplicación de estrategias de conservación para toda el área de unidad de inspección.

**Tabla 32.** Costo de conservación, Pavimento Rígido

PAVIMENTO RÍGIDO					
	CONDICIÓN	FALLA	SEV.		COSTO POR ÁREA TOTAL
EXCELENTE	A	Grietas lineales	8 L		
		Grieta de durabilidad "D"	4 L		S/. 5,312.80
		Grieta de esquina	2 L		
MUY BUENO	B	Mapa de grietas	16 L		
		Grieta de durabilidad "D"	4 L		S/. 10,883.16
		Pulimiento de agregados	11 L		
BUENO	C	Parqueo pequeño	10 M		
		Mapa de grietas	16 M		S/. 5,442.10
		Pulimiento de agregados	11 M		
REGULAR	D	Parqueo grande	9 M		
		Mapa de grietas	16 M		S/. 17,906.71
		Losa dividida	3 L		
POBRE	E	Pulimiento de agregados	11 H		
		Losa dividida	3 M		S/. 37,700.33
		Parqueo grande	9 M		
MUY POBRE	F	Mapa de grietas	16 H		
		Losa dividida	3 M		S/. 40,731.70
		Blowup/Bucking	1 M		
		Parqueo grande	9 H		
FALLADO	G	Mapa de grietas	16 H		
		Losa dividida	3 H		S/. 46,925.17
		Parqueo grande	9 H		
		Blowup/Bucking	1 H		

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Teniendo el resultado del costo de conservación para cada rango de condición, se determinan los costos de conservación por metro cuadrado (M2), siguiendo el procedimiento y ecuaciones indicadas en el marco teórico de esta investigación. Estos resultados se muestran en la Tabla 33.

**Tabla 33.** Estimación de costo de mantenimiento por m2, Pavimento rígido

COSTO DE CONSERVACIÓN POR M2 DE PAVIMENTO RÍGIDO			
CONDICIÓN		PRECIO / M2	
EXCELENTE	A	S/.	37.95
MUY BUENO	B	S/.	77.74
BUENO	C	S/.	110.30
REGULAR	D	S/.	127.91
POBRE	E	S/.	269.29
MUY POBRE	F	S/.	290.94
FALLADO	G	S/.	335.18

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

#### 3.5.3.2.2. Presupuesto disponible

Respecto al presupuesto disponible para los pavimentos rígidos, se propone el mismo procedimiento descrito para los pavimentos mixtos. (Apartado 3.5.3.1.2).

Por lo tanto, en la presente investigación para el cálculo del presupuesto disponible de mantenimiento de pavimentos rígidos, se toma el 20% del presupuesto necesario para reparar el 100% de las vías. El resumen de este cálculo se muestra en la Tabla 34.

**Tabla 34.** Presupuesto disponible para Pavimentos Rígidos

CONDICIÓN	% de Pav	Área Total Pav	S/. x m <sup>2</sup>	Presupuesto para mantenimiento
<b>EXCELENTE</b>	0.00	4,861.14	S/. 37.95	S/. -
<b>MUY BUENO</b>	18.67	4,861.14	S/. 77.74	S/. 70,539.36
<b>BUENO</b>	12.80	4,861.14	S/. 110.30	S/. 68,631.91
<b>REGULAR</b>	16.80	4,861.14	S/. 127.91	S/. 104,456.30
<b>POBRE</b>	21.33	4,861.14	S/. 269.29	S/. 279,263.08
<b>MUY POBRE</b>	9.33	4,861.14	S/. 290.94	S/. 132,001.52
<b>FALLADO</b>	21.07	4,861.14	S/. 335.18	S/. 343,250.65
<b>TOTAL</b>				S/. 998,142.83
<b>Presupuesto Disponible (20%)</b>				S/. 199,628.57

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.5.3.3. Pavimento Articulado.

Para los pavimentos articulados pertenecientes a la muestra de esta investigación, tomando como base el inventario de fallas obtenido, se definen los trabajos de mantenimiento para cada falla predominante que fue identificada en las unidades de inspección. De acuerdo a lo mencionado, las estrategias definidas se muestran en la Tabla 35.

**Tabla 35.** Estrategias de mantenimiento para Pavimentos Articulado

PAVIMENTO ARTICULADO					
CONDICIÓN	PCI	FALLA	SEV		ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO
MUY BUENO	86 -100	Desgaste superficial	F4	L	Reemplazo de piezas
		Fracturamiento	F1	L	Reemplazo de piezas Excavación,
		Ahuellamiento	F2	L	Compactación y recolocación
BUENO	71 - 85	Ahuellamiento	F2	L	Excavación, Compactación y recolocación
		Desplazamiento de borde	F6	M	Reconstrucción de elementos de confinamiento
		Desgaste superficial	F4	M	Reemplazo de piezas
REGULAR	41-70	Ahuellamiento	F2	M	Excavación, Compactación y recolocación
		Fracturamiento	F10	M	Reemplazo de piezas
		Juntas abiertas	F13	L	Recolocación y compactación
		Desgaste superficial	F4	M	Reemplazo de piezas
POBRE	21 - 40	Fracturamiento de confinamiento externo	F9	A	Reemplazo de piezas
		Ahuellamiento	F2	L	Excavación, Compactación y recolocación
		Fracturamiento	F10	M	Reemplazo de piezas
		Abultamiento	F1	A	Excavación, Compactación y recolocación
MUY POBRE	0 - 20	Deplazamiento de borde	F6	A	Recolocación y compactación
		Fracturamiento	F10	M	Reemplazo de piezas
		Abultamiento	F1	M	Excavación, Compactación y recolocación
		Desgaste superficial	F4	A	Reemplazo de piezas
		Ahuellamiento	F2	A	Recolocación y compactación

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo, tomando como referencia el Manual de Conservación Vial MTC (2013)



#### **3.5.3.3.1. Costo de conservación por m<sup>2</sup>**

Para el cálculo del costo de conservación por m<sup>2</sup> para cada Rango de Condición; de los datos del inventario de fallas, por cada rango de condición se consideran las fallas más frecuentes en el pavimento. Además, se considera que el área promedio representativa será 300 m<sup>2</sup>, considerando 100ml de longitud de franja, y 3 ml de ancho de calzada. Y para verificar que los valores seleccionados sean correctos, se realiza el cálculo del ICP para esta unidad de inspección representativa (Tabla 36).



**Tabla 36.** Cálculo del PCI por Condición, Pavimento Articulado

PAVIMENTO ARTICULADO											
CONDICIÓN	PCI	FALLA	SEV.	METRAD O (M2)	DENSIDAD DE FALLA	AREA EQUIV FUNC.	AREA EQUIV ESTRUC	FA*FC (FUNCIO NAL)	FA*FC (ESTRUC T.)	ICE	ICP
MUY BUENO	86 - 100	Desgaste superficial	F4 L	1.23	0.41	0.5	0.6	0.6	0.9	90	5
		Fracturamiento	F1 L	1.54	0.51	0.6	0.6	4.8	4.8	90	5
		Ahuellamiento	F2 L	1.76	0.59	0.7	0.7	4.8	4.8		
BUENO	71 - 85	Ahuellamiento	F2 L	3.59	1.20	1.4	1.4	9.6	9.6	86	4
		Desplazamiento de borde	F6 M	5.87	1.96	2.4	2.3	3.0	3.0	86	4
		Desgaste superficial	F4 M	3.29	1.10	1.4	1.4	1.2	1.8		
REGULAR	41-70	Ahuellamiento	F2 M	4.72	1.57	2.2	2.2	14.4	14.4	71	3
		Fracturamiento	F10 M	6.98	2.33	2.6	2.6	8.4	3.0	72	3
		Juntas abiertas	F13 L	8.23	2.74	2.7	2.7	2.4	6.9		
		Desgaste superficial	F4 M	13.8	4.60	6.1	6.1	3.2	4.9		
POBRE	21 - 40	Fracturamiento de confinamiento externo	F9 H	5.91	1.97	3.1	3.1	11.2	4.0	45	2
		Ahuellamiento	F2 L	9.83	3.28	3.9	3.9	19.2	19.2	29	2
		Fracturamiento	F10 M	10.95	3.65	4.1	4.0	14.0	5.0		
		Abultamiento	F1 H	12.84	4.28	7.7	6.7	26.9	26.9		
MUY POBRE	0 - 20	Desplazamiento de borde	F6 H	9.38	3.13	4.1	4.1	5.0	5.0	21	1
		Fracturamiento	F10 M	19.34	6.45	7.2	7.1	15.7	5.6	12	1
		Abultamiento	F1 M	18.23	6.08	9.1	8.4	28.8	28.8	21	1
		Desgaste superficial	F4 H	15.92	5.31	8.2	8.2	3.5	5.2		
		Ahuellamiento	F2 H	23.45	7.82	12.2	12.2	34.6	34.6		

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Posteriormente, con el área corroborada en la Tabla 36, y el presupuesto de cada una de las estrategias de mantenimiento detallado en el Anexo H, se determinan los precios de conservación para cada rango de condición, siguiendo el procedimiento descrito en el marco teórico. De esta manera, la Tabla 37 muestra el Costo de aplicación de estrategias de conservación para toda el área de unidad de inspección.

**Tabla 37.** Costo de aplicación de estrategias para toda el área de unidad de inspección, Pavimento Articulado.

PAVIMENTO ARTICULADO			
CONDICIÓN	FALLA	SEV.	COSTO POR ÁREA TOTAL = 300 m <sup>2</sup>
<b>MUY BUENO</b>	Desgaste superficial	F4	L
	Fracturamiento	F1	L
	Ahuellamiento	F2	L
<b>BUENO</b>	Ahuellamiento	F2	L
	Desplazamiento de borde	F6	M
	Desgaste superficial	F4	M
<b>REGULAR</b>	Ahuellamiento	F2	M
	Fracturamiento	F10	M
	Juntas abiertas	F13	L
	Desgaste superficial	F4	M
<b>POBRE</b>	Fracturamiento de confinamiento externo	F9	H
	Ahuellamiento	F2	L
	Fracturamiento	F10	M
	Abultamiento	F1	H
<b>MUY POBRE</b>	Desplazamiento de borde	F6	H
	Fracturamiento	F10	M
	Abultamiento	F1	M
	Desgaste superficial	F4	H
	Ahuellamiento	F2	H

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Teniendo el resultado del costo de conservación para cada rango de condición, se determinan los costos de conservación por metro cuadrado (M<sup>2</sup>), de la misma forma que se hizo para pavimentos mixtos y rígidos. Estos resultados se muestran en la Tabla 38.

**Tabla 38.** Estimación de costo de mantenimiento por m<sup>2</sup>, Pavimento articulado.

COSTO DE CONSERVACIÓN POR M2 DE PAVIMENTO ARTICULADO			
CONDICIÓN		PRECIO / M2	
MUY BUENO	AB	S/.	11.24
BUENO	C	S/.	12.82
REGULAR	D	S/.	14.23
POBRE	E	S/.	15.21
MUY POBRE	FG	S/.	17.44

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.5.3.3.2. Presupuesto disponible

Respecto al presupuesto disponible para los pavimentos articulados, se propone el mismo procedimiento descrito para los pavimentos mixtos. (Apartado 3.5.3.1.2)

Por lo tanto, en la presente investigación para el cálculo del presupuesto disponible de mantenimiento de pavimentos articulados, se toma el 30% del presupuesto necesario para reparar el 100% de las vías. El resumen de este cálculo se muestra en la Tabla 39.

**Tabla 39.** Presupuesto disponible para Pavimentos Articulado

CONDICIÓN	% de Pav	Área Total Pav	S/. x m2	Presupuesto para mantenimiento
MUY BUENO	26.03	1,332.54	S/.11.24	S/. 3,898.38
BUENO	54.82	1,332.54	S/.12.82	S/. 9,364.16
REGULAR	19.15	1,332.54	S/.14.23	S/. 3,630.32
POBRE	0.00	1,332.54	S/.15.21	S/. 0.00
MUY POBRE	0.00	1,332.54	S/.17.44	S/. 0.00
<b>TOTAL</b>				S/. 16,892.86
<b>Presupuesto Disponible (30%)</b>				S/. 5,067.86

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.5.4. Sub sistema de Modelamiento Predictivo de Deterioro

Para desarrollar las matrices de transición de deterioro de Markov se planten 2 escenarios: Sin Mantenimiento y Con Mantenimiento, lo que permite desarrollar las curvas de deterioro, verificar el ciclo de vida del pavimento, y realizar una comparación de escenarios con respecto al PCI.

#### 3.5.4.1. Pavimento Mixto

##### 3.5.4.1.1. Escenario 01: Sin Mantenimiento.

###### Matriz de Probabilidad de transición

Considerando que la provincia de Puno se encuentra en la sierra sur del Perú con una altitud de 3810 m.s.n.m. y cuenta con un clima que se caracteriza tener los veranos cortos, frescos y nublados; los inviernos cortos, muy frío y mayormente despejado.

Durante el transcurso del año, se caracteriza por su temperatura extremadamente baja de noche y temperatura alta de día; la que generalmente varía de  $-4^{\circ}\text{C}$  a  $17^{\circ}\text{C}$ , y rara vez baja a menos de  $-6^{\circ}\text{C}$  o sube a más de  $19^{\circ}\text{C}$ . (Wheater Spark, 2019). Además, según el Senamhi Puno, la precipitación media anual es de 735mm.

Para establecer la Matriz de Probabilidad de Transición (MPT) de los pavimentos mixtos, sería necesario contar con los datos históricos de deterioro de pavimento en la zona, así se realizaría un modelamiento de deterioro empírico, sin embargo, en la actualidad la Municipalidad no cuenta dicha información. Por lo tanto, la presente investigación será un punto de partida para el análisis de deterioro de los pavimentos a futuro.

En consecuencia, se toma como criterio, el clima de la ciudad de Puno. Puesto que, de acuerdo a lo mencionado en párrafos anteriores, se sabe que el cambio climático drástico presente en la ciudad de Puno, ocasiona un deterioro acelerado en el pavimento.

Además, Pillpe (2018) menciona en su investigación que, el distrito de Concepción se ubica en la sierra central a una altitud de 3283 m.s.n.m., esta zona se caracteriza por estar expuesta a bajas temperaturas en la noche de 3°C y altas en el día de 22°C. Este cambio drástico somete al pavimento a deteriorarse en un periodo de tipo corto. También menciona que, con este criterio es posible establecer la matriz de deterioro ensamblada.

En base a lo mencionado anteriormente, en la Tabla 40 se aprecia la MPT de deterioro del pavimento mixto en el Escenario 01: Sin Mantenimiento, que nos muestra como resultado el cambio de Condición (A, B, C, D, E, F, G) que sufrirá el pavimento en el periodo de un año.

**Tabla 40.** Matriz de Probabilidad de Transición, Escenario 01: Sin Mantenimiento, Pavimento mixto.

A	B	C	D	E	F	G
65.25	34.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	72.80	27.20	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	67.18	32.82	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	49.22	50.78	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	68.98	31.02	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.29	15.71
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Para esta investigación, se ha elegido un periodo de análisis de 10 años, por lo tanto la MPT se ajusta para que el pavimento mixto se deteriore en ese periodo y llegue a la condición mínima de PCI en el rango D en condición “Regular”.

En la Tabla 41, se realiza la iteración hasta 20 años considerando un pavimento mixto nuevo. Esto con el fin de tener una visión amplia, realizar un mejor análisis de la curva de deterioro del pavimento mixto, y comprobar la veracidad de los valores de la MPT en el “Escenario 01: Sin Mantenimiento”.

**Tabla 41.** Cadenas de Matrices de deterioro para un pavimento mixto nuevo, Sin Mantenimiento

<b>AÑO: 0</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>AÑO: 1</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	65.25	34.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	65.25	34.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>AÑO: 2</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	42.58	22.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	25.30	9.45	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	42.58	47.97	9.45	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>AÑO: 3</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	27.79	14.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	34.92	13.05	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	6.35	3.10	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	27.79	49.72	19.40	3.10	0.00	0.00	0.00
<b>AÑO: 4</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	18.13	9.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	36.19	13.52	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	13.03	6.37	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	1.53	1.57	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	18.13	45.85	26.55	7.89	1.57	0.00	0.00
<b>AÑO: 5</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	11.83	6.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	33.38	12.47	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	17.84	8.71	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	3.88	4.01	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09	0.49	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	11.83	39.68	30.31	12.60	5.09	0.49	0.00



<b>AÑO: 6</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	7.72	4.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	28.89	10.79	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	20.36	9.95	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	6.20	6.40	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	3.51	1.58	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.08
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>7.72</b>	<b>33.00</b>	<b>31.16</b>	<b>16.15</b>	<b>9.91</b>	<b>1.99</b>	<b>0.08</b>

<b>AÑO: 7</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	5.04	2.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	24.02	8.97	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	20.93	10.22	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	7.95	8.20	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	6.84	3.07	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.68	0.31
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
<b>TOTAL</b>	<b>5.04</b>	<b>26.70</b>	<b>29.91</b>	<b>18.17</b>	<b>15.04</b>	<b>4.75</b>	<b>0.39</b>

<b>AÑO: 8</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	3.29	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	19.44	7.26	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	20.09	9.81	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	8.95	9.23	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	10.37	4.66	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.01	0.75
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39
<b>TOTAL</b>	<b>3.29</b>	<b>21.19</b>	<b>27.36</b>	<b>18.76</b>	<b>19.60</b>	<b>8.67</b>	<b>1.14</b>

<b>AÑO: 9</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	2.15	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	15.43	5.76	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	18.38	8.98	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	9.23	9.53	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	13.52	6.08	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.31	1.36
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.14
<b>TOTAL</b>	<b>2.15</b>	<b>16.57</b>	<b>24.14</b>	<b>18.21</b>	<b>23.04</b>	<b>13.39</b>	<b>2.50</b>

<b>AÑO: 10</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	1.40	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	12.06	4.51	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	16.22	7.92	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	8.96	9.25	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	15.89	7.15	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.29	2.10
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50
<b>TOTAL</b>	<b>1.40</b>	<b>12.81</b>	<b>20.73</b>	<b>16.89</b>	<b>25.14</b>	<b>18.43</b>	<b>4.60</b>

<b>AÑO: 11</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	0.91	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	9.32	3.48	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	13.92	6.80	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	8.31	8.57	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	17.34	7.80	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.54	2.90
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60
<b>TOTAL</b>	<b>0.91</b>	<b>9.81</b>	<b>17.41</b>	<b>15.11</b>	<b>25.92</b>	<b>23.34</b>	<b>7.50</b>



<b>AÑO: 12</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	0.60	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	7.14	2.67	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	11.70	5.71	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	7.44	7.67	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	17.88	8.04	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.67	3.67
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.50
<b>TOTAL</b>	0.60	7.46	14.36	13.15	25.55	27.71	11.16
<b>AÑO: 13</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	0.39	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	5.43	2.03	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	9.65	4.71	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	6.47	6.68	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	17.62	7.93	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.36	4.35
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.16
<b>TOTAL</b>	0.39	5.64	11.68	11.19	24.30	31.28	15.52
<b>AÑO: 14</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	0.25	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	4.10	1.53	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	7.85	3.83	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	5.51	5.68	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	16.76	7.54	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.37	4.91
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.52
<b>TOTAL</b>	0.25	4.24	9.38	9.34	22.44	33.91	20.43
<b>AÑO:15</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	0.17	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	3.09	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	6.30	3.08	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	4.60	4.74	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	15.48	6.96	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.58	5.33
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.43
<b>TOTAL</b>	0.17	3.17	7.45	7.68	20.22	35.54	25.76
<b>AÑO: 16</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	0.11	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	2.31	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	5.01	2.45	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	3.78	3.90	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	13.95	6.27	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.96	5.58
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.76
<b>TOTAL</b>	0.11	2.37	5.87	6.22	17.85	36.23	31.34
<b>AÑO: 17</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	0.07	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	1.72	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	3.95	1.93	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	3.06	3.16	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	12.31	5.54	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.54	5.69
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.34
<b>TOTAL</b>	0.07	1.76	4.59	4.99	15.47	36.08	37.04





<b>AÑO: 18</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	1.28	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	3.08	1.51	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	2.46	2.53	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	10.67	4.80	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.41	5.67
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.04
<b>TOTAL</b>	0.05	1.31	3.56	3.96	13.21	35.21	42.71

<b>AÑO: 19</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.95	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	2.39	1.17	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	1.95	2.01	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	9.11	4.10	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.68	5.53
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.71
<b>TOTAL</b>	0.03	0.97	2.75	3.12	11.12	33.78	48.24

<b>AÑO: 20</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.70	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	1.85	0.90	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	1.54	1.58	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	7.67	3.45	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.47	5.31
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	48.24
<b>TOTAL</b>	0.02	0.71	2.11	2.44	9.26	31.92	53.54

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En base a la iteración realizada (Tabla 41), y haciendo uso del procedimiento del Subsistema de evaluación del pavimento, se calcula el PCI anual (Tabla 42).

**Tabla 42.** Resumen del PCI anual del Pavimento Mixto nuevo, sin mantenimiento.

Pavimento Mixto nuevo – Sin mantenimiento		
N°	PCI Total	Condición
0	100.00	EXCELENTE
1	87.29	EXCELENTE
2	82.47	MUY BUENO
3	77.83	MUY BUENO
4	73.16	MUY BUENO
5	68.36	BUENO
6	63.43	BUENO
7	58.42	BUENO
8	53.42	REGULAR
9	48.52	REGULAR
10	43.82	REGULAR
11	39.39	POBRE
12	35.27	POBRE
13	31.49	POBRE
14	28.07	POBRE
15	25.00	MUY POBRE
16	22.27	MUY POBRE
17	19.86	MUY POBRE
18	17.75	MUY POBRE
19	15.91	MUY POBRE
20	14.32	MUY POBRE

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Además, analizando el resumen de los resultados obtenidos de la iteración realizada que se muestra en la Tabla 42, se infiere que en el año 10 el PCI será 43.82, valor que demuestra que el “año 10” es el límite de la condición D que clasifica al pavimento en una condición “Regular”.

De esta manera, se demuestra que los valores de la MPT para pavimentos mixtos sin mantenimiento (Tabla 40), son correctos.

### **Cadenas de Markov en el modelamiento de deterioro – Pavimentos Mixtos**

Operando la MPT (Tabla 40), con los porcentajes de los pavimentos mixtos clasificados por rango de condición (Tabla 20); se ensambla la cadena de matrices de deterioro de los pavimentos mixtos de la muestra tomada para esta investigación, considerando el Escenario 01: Sin Mantenimiento.

Esta cadena de matrices, se realiza para modelar el deterioro de los pavimentos mixtos en los próximos 10 años, considerando que no se realizará ningún tipo de mantenimiento y sólo se esperará el estado “fatal” de pavimento. Esto se aprecia en la Tabla 43.

**Tabla 43.** Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Mixtos, con el Escenario 01: Sin Mantenimiento

2020	A	B	C	D	E	F	G	2020
	4.32	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b> 4.32
	0.00	23.17	8.66	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b> 25.47
	0.00	0.00	19.71	9.63	0.00	0.00	0.00	<b>C</b> 28.36
	0.00	0.00	0.00	8.10	8.36	0.00	0.00	<b>D</b> 17.73
	0.00	0.00	0.00	0.00	5.44	2.45	0.00	<b>E</b> 13.79
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.64	1.24	<b>F</b> 9.09
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>G</b> 1.24
<b>TOTAL</b>	4.32	25.47	28.36	17.73	13.79	9.09	1.24	
2021	A	B	C	D	E	F	G	2021
	2.82	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b> 2.82
	0.00	18.54	6.93	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b> 20.04
	0.00	0.00	19.06	9.31	0.00	0.00	0.00	<b>C</b> 25.98
	0.00	0.00	0.00	8.73	9.00	0.00	0.00	<b>D</b> 18.03
	0.00	0.00	0.00	0.00	9.51	4.28	0.00	<b>E</b> 18.52
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.66	1.43	<b>F</b> 11.94
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.24	<b>G</b> 2.67
<b>TOTAL</b>	2.82	20.04	25.98	18.03	18.52	11.94	2.67	
2022	A	B	C	D	E	F	G	2022
	1.84	0.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b> 1.84
	0.00	14.59	5.45	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b> 15.57
	0.00	0.00	17.46	8.53	0.00	0.00	0.00	<b>C</b> 22.91
	0.00	0.00	0.00	8.88	9.16	0.00	0.00	<b>D</b> 17.40
	0.00	0.00	0.00	0.00	12.77	5.74	0.00	<b>E</b> 21.93
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.06	1.88	<b>F</b> 15.81
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.67	<b>G</b> 4.54
<b>TOTAL</b>	1.84	15.57	22.91	17.40	21.93	15.81	4.54	
2023	A	B	C	D	E	F	G	2023
	1.20	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b> 1.20
	0.00	11.34	4.23	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b> 11.97
	0.00	0.00	15.39	7.52	0.00	0.00	0.00	<b>C</b> 19.63
	0.00	0.00	0.00	8.57	8.84	0.00	0.00	<b>D</b> 16.08
	0.00	0.00	0.00	0.00	15.13	6.80	0.00	<b>E</b> 23.96
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.32	2.48	<b>F</b> 20.13
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.54	<b>G</b> 7.03
<b>TOTAL</b>	1.20	11.97	19.63	16.08	23.96	20.13	7.03	



2024	A	B	C	D	E	F	G		2024
	0.78	0.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	0.78
	0.00	8.72	3.26	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	9.13
	0.00	0.00	13.19	6.44	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	16.44
	0.00	0.00	0.00	7.92	8.17	0.00	0.00	<b>D</b>	14.36
	0.00	0.00	0.00	0.00	16.53	7.43	0.00	<b>E</b>	24.70
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.97	3.16	<b>F</b>	24.40
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.03	<b>G</b>	10.19
<b>TOTAL</b>	0.78	9.13	16.44	14.36	24.70	24.40	10.19		
2025	A	B	C	D	E	F	G		2025
	0.51	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	0.51
	0.00	6.65	2.48	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	6.92
	0.00	0.00	11.05	5.40	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	13.53
	0.00	0.00	0.00	7.07	7.29	0.00	0.00	<b>D</b>	12.46
	0.00	0.00	0.00	0.00	17.03	7.66	0.00	<b>E</b>	24.33
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.57	3.83	<b>F</b>	28.23
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.19	<b>G</b>	14.02
<b>TOTAL</b>	0.51	6.92	13.53	12.46	24.33	28.23	14.02		
2026	A	B	C	D	E	F	G		2026
	0.33	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	0.33
	0.00	5.04	1.88	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	5.22
	0.00	0.00	9.09	4.44	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	10.97
	0.00	0.00	0.00	6.14	6.33	0.00	0.00	<b>D</b>	10.58
	0.00	0.00	0.00	0.00	16.78	7.55	0.00	<b>E</b>	23.11
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.79	4.43	<b>F</b>	31.34
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.02	<b>G</b>	18.46
<b>TOTAL</b>	0.33	5.22	10.97	10.58	23.11	31.34	18.46		
2027	A	B	C	D	E	F	G		2027
	0.22	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	0.22
	0.00	3.80	1.42	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	3.91
	0.00	0.00	7.37	3.60	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	8.79
	0.00	0.00	0.00	5.21	5.37	0.00	0.00	<b>D</b>	8.81
	0.00	0.00	0.00	0.00	15.94	7.17	0.00	<b>E</b>	21.31
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.42	4.92	<b>F</b>	33.58
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.46	<b>G</b>	23.38
<b>TOTAL</b>	0.22	3.91	8.79	8.81	21.31	33.58	23.38		
2028	A	B	C	D	E	F	G		2028
	0.14	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	0.14
	0.00	2.85	1.06	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	2.92
	0.00	0.00	5.91	2.88	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	6.97
	0.00	0.00	0.00	4.34	4.47	0.00	0.00	<b>D</b>	7.22
	0.00	0.00	0.00	0.00	14.70	6.61	0.00	<b>E</b>	19.17
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.31	5.28	<b>F</b>	34.92
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.38	<b>G</b>	28.66
<b>TOTAL</b>	0.14	2.92	6.97	7.22	19.17	34.92	28.66		

2029	A	B	C	D	E	F	G	2029
	0.09	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b> 0.09
	0.00	2.13	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b> 2.18
	0.00	0.00	4.68	2.29	0.00	0.00	0.00	<b>C</b> 5.48
	0.00	0.00	0.00	3.55	3.67	0.00	0.00	<b>D</b> 5.84
	0.00	0.00	0.00	0.00	13.22	5.95	0.00	<b>E</b> 16.89
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.43	5.49	<b>F</b> 35.38
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.66	<b>G</b> 34.14
<b>TOTAL</b>	0.09	2.18	5.48	5.84	16.89	35.38	34.14	0.09

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

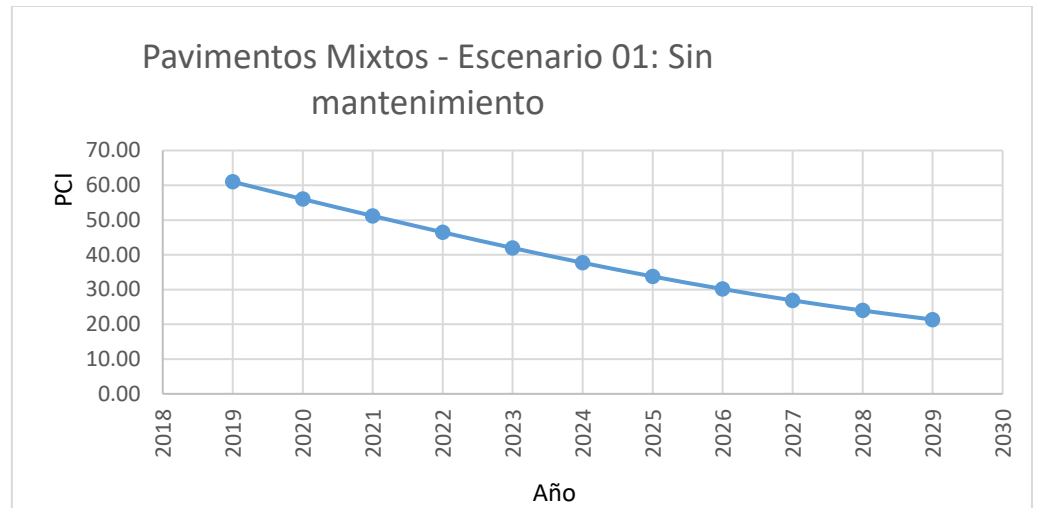
Posteriormente, se calcula el PCI anual, haciendo uso de los porcentajes de los pavimentos mixtos obtenidos de las cadenas de matrices de deterioro (Tabla 43). El resumen de los cálculos se muestra en la Tabla 44.

**Tabla 44.** Resumen del PCI anual y del modelamiento de deterioro de los Pavimentos Mixtos, Sin Mantenimiento.

Pavimentos Mixtos – Escenario 01: Sin mantenimiento										
N°	Año	A	B	C	D	E	F	G	PCI	CONDICIÓN
0	2019	6.62	31.83	29.33	16.46	13.79	9.09	0.00	61.00	BUENO
1	2020	4.32	25.47	28.36	17.73	13.79	9.09	1.24	56.02	BUENO
2	2021	2.82	20.04	25.98	18.03	18.52	11.94	2.67	51.19	REGULAR
3	2022	1.84	15.57	22.91	17.40	21.93	15.81	4.54	46.47	REGULAR
4	2023	1.20	11.97	19.63	16.08	23.96	20.13	7.03	41.96	REGULAR
5	2024	0.78	9.13	16.44	14.36	24.70	24.40	10.19	37.70	POBRE
6	2025	0.51	6.92	13.53	12.46	24.33	28.23	14.02	33.76	POBRE
7	2026	0.33	5.22	10.97	10.58	23.11	31.34	18.46	30.15	POBRE
8	2027	0.22	3.91	8.79	8.81	21.31	33.58	23.38	26.88	POBRE
9	2028	0.14	2.92	6.97	7.22	19.17	34.92	28.66	23.96	MUY POBRE
10	2029	0.09	2.18	5.48	5.84	16.89	35.38	34.14	21.36	MUY POBRE

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Para un mejor análisis, los resultados de la Tabla 44, se muestran gráficamente en la Figura 25, a través de la curva de deterioro de los Pavimentos Mixtos sin mantenimiento pertenecientes a la muestra de investigación. De esta figura se infiere que, al no realizar ningún tipo de mantenimiento en los pavimentos, desde el año 2024 el pavimento se encontrará en condiciones por debajo del límite permitido (PCI=40). Además, en el año 2029 se tendrá un pavimento totalmente deteriorado.



**Figura 25.** Curva de deterioro de los Pavimentos Mixtos, Sin Mantenimiento.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### **Presupuesto anual**

Con fines de esta investigación, con el objetivo de corroborar o refutar la hipótesis formulada, se realiza el análisis de la comparación de la inversión a realizar en cada uno de los escenarios planteados para un periodo de 10 años. Por lo tanto, es necesario calcular el Presupuesto Anual resultante de la aplicación del Escenario 01 en los pavimentos mixtos.

Asimismo, para el cálculo del Presupuesto Anual a invertir en el modelamiento de deterioro de los pavimentos sin Mantenimiento, se siguen las bases teóricas descritas en el Marco Teórico.

De esta manera, los resultados del Presupuesto Anual se muestran en la Tabla 45; de donde se infiere que, obedeciendo al Escenario 01, durante el periodo (2019-2029) no se aplicaría ningún tipo de mantenimiento en los pavimentos mixtos. Por consiguiente, en el año 2029 el pavimento mixto tendrá un PCI de 21.36 con una condición de “Muy Pobre”, condición que amerita invertir un presupuesto de S/. 530,407.01.

**Tabla 45.** Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Mixtos Sin Mantenimiento (2019 – 2029)

<b>PRESUPUESTO SIN MANTENIMIENTO - PAVIMENTO MIXTO</b>											
	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>
<b>PCI</b>	61.00	56.02	51.19	46.47	41.96	37.70	33.76	30.15	26.88	23.96	21.36
<b>A</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.63
<b>B</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,502.99
<b>C</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7,392.10
<b>D</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19,495.18
<b>E</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86,413.88
<b>F</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	182,057.52
<b>G</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	232,465.71
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>530,407.01</b>

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 3.5.4.1.2. Escenario 02: Con Mantenimiento.

En este escenario se establece que, se aplicará mantenimiento sin alguna planificación optimizada durante el periodo (2019-2029), considerando que se tiene disponibilidad del presupuesto necesario para mantener el 100% de los pavimentos en el año siguiente a la evaluación, es decir el año 2020, y posteriormente se continuará con los mantenimientos periódicos.

#### Matriz de Probabilidad de Transición

Para la presente investigación, se propone la MPT del deterioro de los pavimentos mixtos en el “Escenario 02” (Tabla 46).

Para ensamblar esta matriz, se toma como criterio que al realizar la conservación del 100% de los pavimentos que se encuentran actualmente en los rangos D, E, F y G; estos subirán al rango A. Además, se establece que durante el periodo de análisis, la calificación del PCI no será menor a 40, lo que significa que ninguna calificación será menor al rango D, y se mantendrá en el rango A, B, C o D.

Además, con esta MPT para pavimentos mixtos en el “Escenario 02”, se procura que la curva de deterioro se mantenga uniforme, con un pavimento en buen estado.

**Tabla 46.** Matriz de Probabilidad de Transición, Escenario 02: Con Mantenimiento, Pavimento mixto.

A	B	C	D	E	F	G
75.00	25.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	90.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	70.00	20.00	10.00	0.00	0.00	0.00
100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



**Cadenas de Markov en el modelamiento de deterioro – Pavimentos Mixtos**

Operando la MPT (Tabla 46), con los porcentajes de pavimentos mixtos clasificados por rango de condición (Tabla 20); se ensambla la cadena de matrices de deterioro de los pavimentos mixtos de la muestra tomada para esta investigación, considerando el Escenario 02: Con Mantenimiento.

La cadena de matrices que se muestra en la Tabla 47, se realiza para modelar el deterioro de los pavimentos mixtos en los próximos 10 años, considerando que se dispone de todo el presupuesto que se requiera para mantener el 100% de los pavimentos.

**Tabla 47.** Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Mixtos, con el Escenario 02: Con Mantenimiento

2020	A	B	C	D	E	F	G		2020
	4.96	1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	37.19
	0.00	28.64	3.18	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	50.83
	0.00	20.53	5.87	2.93	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	9.05
	16.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>D</b>	2.93
	7.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	7.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>F</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>G</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	37.19	50.83	9.05	2.93	0.00	0.00	0.00		100.00%
2021	A	B	C	D	E	F	G		2021
	27.89	9.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	30.82
	0.00	45.75	5.08	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	61.38
	0.00	6.33	1.81	0.90	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	6.89
	2.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>D</b>	0.90
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>F</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>G</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	30.82	61.38	6.89	0.90	0.00	0.00	0.00		100.00%
2022	A	B	C	D	E	F	G		2022
	23.12	7.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	24.02
	0.00	55.24	6.14	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	67.77
	0.00	4.83	1.38	0.69	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	7.52
	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>D</b>	0.69
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>F</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>G</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	24.02	67.77	7.52	0.69	0.00	0.00	0.00		100.00%



<b>2023</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>		<b>2023</b>
	18.02	6.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	18.71
	0.00	61.00	6.78	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	72.26
	0.00	5.26	1.50	0.75	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	8.28
	0.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>D</b>	0.75
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>F</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>G</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	18.71	72.26	8.28	0.75	0.00	0.00	0.00		100.00%
<b>2024</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>		<b>2024</b>
	14.03	4.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	14.78
	0.00	65.04	7.23	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	75.51
	0.00	5.80	1.66	0.83	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	8.88
	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>D</b>	0.83
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>F</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>G</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	14.78	75.51	8.88	0.83	0.00	0.00	0.00		100.00%
<b>2025</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>		<b>2025</b>
	11.09	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	11.91
	0.00	67.96	7.55	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	77.87
	0.00	6.22	1.78	0.89	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	9.33
	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>D</b>	0.89
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>F</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>G</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	11.91	77.87	9.33	0.89	0.00	0.00	0.00		100.00%
<b>2026</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>		<b>2026</b>
	8.94	2.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	9.82
	0.00	70.08	7.79	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	79.59
	0.00	6.53	1.87	0.93	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	9.65
	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>D</b>	0.93
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>F</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>G</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	9.82	79.59	9.65	0.93	0.00	0.00	0.00		100.00%
<b>2027</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>		<b>2027</b>
	7.37	2.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	8.30
	0.00	71.63	7.96	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	80.84
	0.00	6.76	1.93	0.97	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	9.89
	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>D</b>	0.97
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>F</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>G</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	8.30	80.84	9.89	0.97	0.00	0.00	0.00		100.00%
<b>2028</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>		<b>2028</b>
	6.23	2.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>A</b>	7.19
	0.00	72.76	8.08	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>B</b>	81.76
	0.00	6.92	1.98	0.99	0.00	0.00	0.00	<b>C</b>	10.06
	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>D</b>	0.99
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>F</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>G</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	7.19	81.76	10.06	0.99	0.00	0.00	0.00		100.00%



2029	A	B	C	D	E	F	G	2029
	5.39	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A 6.38
	0.00	73.58	8.18	0.00	0.00	0.00	0.00	B 82.42
	0.00	7.04	2.01	1.01	0.00	0.00	0.00	C 10.19
	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D 1.01
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E 0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	F 0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	G 0.00
<b>TOTAL</b>	6.38	82.42	10.19	1.01	0.00	0.00	0.00	100.00%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

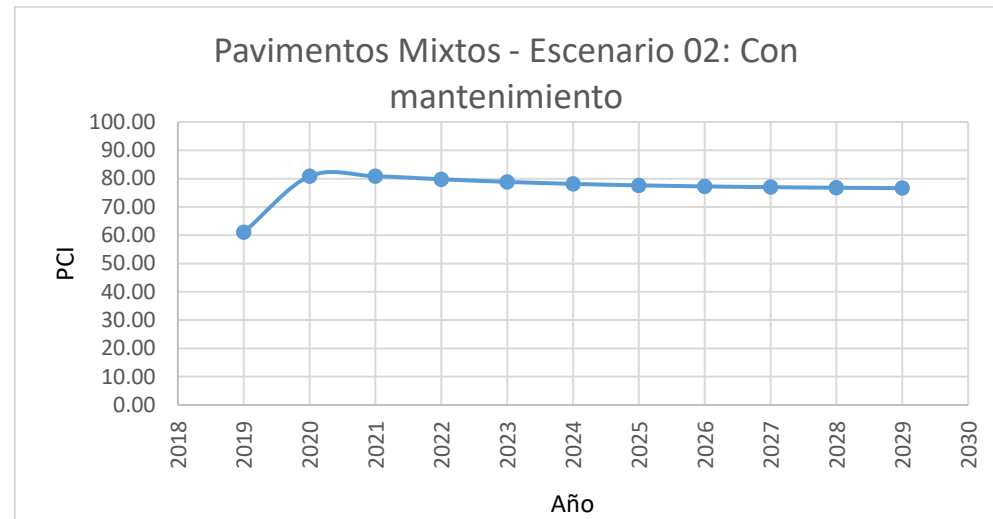
Posteriormente, se calcula el PCI anual haciendo uso de los porcentajes de pavimentos mixtos obtenidos de las cadenas de matrices de deterioro (Tabla 47). El resumen de los cálculos se muestra en la Tabla 48, donde se aprecian los % de pavimentos por condición anual y el PCI anual.

**Tabla 48.** Resumen del PCI anual y del modelamiento de deterioro de los Pavimentos Mixtos, Con Mantenimiento.

Pavimentos Mixtos – Escenario 02: Con mantenimiento										
N°	Año	A	B	C	D	E	F	G	PCI	CONDICIÓN
0	2019	6.62	31.83	29.33	16.46	7.88	7.88	0.00	61.00	BUENO
1	2020	37.19	50.83	9.05	2.93	0.00	0.00	0.00	80.84	MUY BUENO
2	2021	30.82	61.38	6.89	0.90	0.00	0.00	0.00	80.82	MUY BUENO
3	2022	24.02	67.77	7.52	0.69	0.00	0.00	0.00	79.77	MUY BUENO
4	2023	18.71	72.26	8.28	0.75	0.00	0.00	0.00	78.84	MUY BUENO
5	2024	14.78	75.51	8.88	0.83	0.00	0.00	0.00	78.14	MUY BUENO
6	2025	11.91	77.87	9.33	0.89	0.00	0.00	0.00	77.62	MUY BUENO
7	2026	9.82	79.59	9.65	0.93	0.00	0.00	0.00	77.25	MUY BUENO
8	2027	8.30	80.84	9.89	0.97	0.00	0.00	0.00	76.97	MUY BUENO
9	2028	7.19	81.76	10.06	0.99	0.00	0.00	0.00	76.77	MUY BUENO
10	2029	6.38	82.42	10.19	1.01	0.00	0.00	0.00	76.63	MUY BUENO

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Para un mejor análisis, los resultados de la Tabla 48 se muestran gráficamente en la Figura 26, a través de la curva de deterioro de los Pavimentos Mixtos con mantenimiento pertenecientes a la muestra de investigación. De esta Figura se infiere que, a través de los años, el pavimento se encontrará en condiciones aceptables para el servicio de la población, manteniéndolo en un rango “Muy Bueno” a los largo de los 10 años.



**Figura 26.** Curva de deterioro de los Pavimentos Mixtos, Con Mantenimiento

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### **Presupuesto anual**

Asimismo, para el cálculo del Presupuesto Anual a invertir durante 10 años, considerando el modelamiento de deterioro de los pavimentos sin Mantenimiento, se siguen las bases teóricas descritas en la presente investigación.

De esta manera, los resultados del Presupuesto Anual se muestran en la Tabla 49; de donde se infiere que, obedeciendo al Escenario 02, en que se aplicaría mantenimiento sin alguna planificación optimizada durante el periodo (2019-2029); se tendrá que, para mantener un PCI entre 80.84 y 76.63 con una condición constante de “Muy Bueno”, el presupuesto de inversión durante los 10 años asciende a S/. 1,359,487.72

**Tabla 49.** Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Mixtos Con Mantenimiento (2019 – 2029)

<b>PRESUPUESTO CON MANTENIMIENTO SIN OPTIMIZACIÓN – PAVIMENTO MIXTOS</b>											
<b>CALSIFICACIÓN</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>
PCI	61.00	80.84	80.82	79.77	78.84	78.14	77.62	77.25	76.97	76.77	76.63
<b>A</b>	5,688.43	31,966.40	26,496.33	20,650.16	16,080.17	12,706.28	10,241.54	8,444.72	7,135.36	6,181.29	5,486.12
<b>B</b>	36,568.78	58,403.81	70,522.73	77,867.80	83,026.43	86,756.63	89,470.45	91,447.24	92,887.50	93,936.92	94,701.56
<b>C</b>	39,577.59	12,209.97	9,300.65	10,141.97	11,172.80	11,984.77	12,585.22	13,024.01	13,343.91	13,577.03	13,746.89
<b>D</b>	54,932.89	9,789.29	3,020.07	2,300.46	2,508.56	2,763.53	2,964.36	3,112.88	3,221.41	3,300.54	3,358.20
<b>E</b>	40,327.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>F</b>	40,556.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>G</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	217,651.79	112,369.48	109,339.77	110,960.39	112,787.95	114,211.20	115,261.57	116,028.84	116,588.18	116,995.78	117,292.77
S/. 1,359,487.72											

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

### 3.5.4.2. Pavimento Rígido

#### 3.5.4.2.1. Escenario 01: Sin Mantenimiento.

##### Matriz de Probabilidad de Transición

Considerando que la provincia de Puno se encuentra en la sierra sur del Perú con una altitud de 3810 m.s.n.m. y cuenta con un clima que se caracteriza tener los veranos cortos, frescos y nublados; los inviernos cortos, muy frío y mayormente despejado.

Durante el transcurso del año, se caracteriza por su temperatura extremadamente baja de noche y temperatura alta de día; la que generalmente varía de  $-4^{\circ}\text{C}$  a  $17^{\circ}\text{C}$ , y rara vez baja a menos de  $-6^{\circ}\text{C}$  o sube a más de  $19^{\circ}\text{C}$ . (Wheater Spark, 2019). Además, según el Senamhi Puno, la precipitación media anual es de 735mm.

Para establecer la Matriz de Probabilidad de Transición (MPT) de los pavimentos rígidos, sería necesario contar con los datos históricos de deterioro de pavimento en la zona, así se realizaría un modelamiento de deterioro empírico, sin embargo, en la actualidad la Municipalidad no cuenta dicha información. Por lo tanto, la presente investigación será un punto de partida para el análisis de deterioro de los pavimentos rígidos a futuro.

Por lo tanto, para establecer la MPT de deterioro para pavimentos rígidos en un periodo anual, se toma como criterio el clima de la ciudad de Puno, pues se sabe que el cambio climático drástico que obliga un deterioro acelerado de los pavimentos.

En consecuencia, se toma como criterio, el clima de la ciudad de Puno. Puesto que, de acuerdo a lo mencionado en párrafos anteriores, se sabe que el cambio climático drástico presente en la ciudad de Puno, ocasiona un deterioro acelerado en el pavimento.

En base a lo mencionado anteriormente, en la Tabla 50 se aprecia la MPT de deterioro del pavimento rígido en el Escenario 01: Sin Mantenimiento, que nos muestra como resultado el cambio de Condición (A, B, C, D, E, F, G) que sufrirá el pavimento en el periodo de un año.

**Tabla 50.** Matriz de Probabilidad de Transición, Escenario 01: Sin Mantenimiento, Pavimento Rígido.

A	B	C	D	E	F	G
87.68	12.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	81.92	18.08	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	76.28	23.72	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	68.23	31.77	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	72.07	27.93	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	82.45	17.55
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En base a lo indicado en el manual de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento”, que el periodo de diseño para pavimentos rígidos será hasta de 20 años. Por lo tanto, la MPT se ajusta para que el pavimento Rígido se deteriore en ese periodo y llegue a la condición mínima de PCI en el rango D en condición “Regular”. Esto se realiza ya que no se cuentan con datos históricos de deterioro de la zona. Sin embargo, este trabajo de investigación servirá como punto de partida para el análisis de deterioro de los pavimentos a futuro.

En la Tabla 51, se realiza la iteración hasta 25 años considerando un pavimento Rígido nuevo. Esto con el fin de tener una visión amplia, realizar un mejor análisis de la curva de deterioro del pavimento rígido, y comprobar la veracidad de los valores de la MPT en el “Escenario 01: Sin Mantenimiento”.

**Tabla 51.** Cadenas de Matrices de deterioro para un pavimento rígido nuevo, Sin Mantenimiento

<b>AÑO: 0</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>AÑO: 1</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	87.68	12.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	87.68	12.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>AÑO: 2</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	76.88	10.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	10.09	2.23	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	76.88	20.89	2.23	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>AÑO: 3</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	67.41	9.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	17.12	3.78	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	1.70	0.53	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	67.41	26.59	5.48	0.53	0.00	0.00	0.00
<b>AÑO: 4</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	59.10	8.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	21.78	4.81	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	4.18	1.30	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.36	0.17	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	59.10	30.09	8.98	1.66	0.17	0.00	0.00





<b>AÑO: 5</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	51.82	7.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	24.65	5.44	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	6.85	2.13	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	1.13	0.53	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.05	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>51.82</b>	<b>31.93</b>	<b>12.29</b>	<b>3.26</b>	<b>0.65</b>	<b>0.05</b>	<b>0.00</b>
<b>AÑO: 6</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	45.44	6.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	26.16	5.77	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	9.38	2.92	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	2.23	1.04	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.18	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>45.44</b>	<b>32.54</b>	<b>15.15</b>	<b>5.14</b>	<b>1.50</b>	<b>0.22</b>	<b>0.01</b>
<b>AÑO: 7</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	39.84	5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	26.66	5.88	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	11.56	3.59	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	3.51	1.63	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	0.42	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.04
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
<b>TOTAL</b>	<b>39.84</b>	<b>32.25</b>	<b>17.44</b>	<b>7.10</b>	<b>2.72</b>	<b>0.60</b>	<b>0.05</b>
<b>AÑO: 8</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	34.93	4.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	26.42	5.83	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	13.30	4.14	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	4.85	2.26	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	1.96	0.76	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.11
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
<b>TOTAL</b>	<b>34.93</b>	<b>31.33</b>	<b>19.13</b>	<b>8.98</b>	<b>4.22</b>	<b>1.25</b>	<b>0.15</b>
<b>AÑO: 9</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	30.63	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	25.67	5.66	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	14.60	4.54	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	6.13	2.85	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	3.04	1.18	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03	0.22
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
<b>TOTAL</b>	<b>30.63</b>	<b>29.97</b>	<b>20.26</b>	<b>10.67</b>	<b>5.89</b>	<b>2.21</b>	<b>0.37</b>
<b>AÑO: 10</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	26.85	3.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	24.55	5.42	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	15.45	4.81	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	7.28	3.39	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	4.25	1.65	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.82	0.39
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37
<b>TOTAL</b>	<b>26.85</b>	<b>28.32</b>	<b>20.87</b>	<b>12.08</b>	<b>7.64</b>	<b>3.47</b>	<b>0.76</b>



<b>AÑO: 11</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	23.55	3.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	23.20	5.12	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	15.92	4.95	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	8.24	3.84	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	2.13	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.86	0.61
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.76
<b>TOTAL</b>	23.55	26.51	21.04	13.20	9.34	4.99	1.37
<b>AÑO: 12</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	20.64	2.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	21.72	4.79	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	16.05	4.99	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	9.00	4.19	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	6.73	2.61	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.12	0.88
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.37
<b>TOTAL</b>	20.64	24.62	20.84	14.00	10.92	6.73	2.25
<b>AÑO: 13</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	18.10	2.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	20.17	4.45	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	15.90	4.94	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	9.55	4.45	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	7.87	3.05	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.55	1.18
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.25
<b>TOTAL</b>	18.10	22.71	20.35	14.49	12.32	8.60	3.43
<b>AÑO: 14</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	15.87	2.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	18.61	4.11	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	15.52	4.83	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	9.89	4.60	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	8.88	3.44	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.09	1.51
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.43
<b>TOTAL</b>	15.87	20.84	19.63	14.72	13.48	10.53	4.93
<b>AÑO: 15</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	13.92	1.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	17.07	3.77	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	14.97	4.66	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	10.04	4.68	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	9.72	3.77	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.68	1.85
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.93
<b>TOTAL</b>	13.92	19.02	18.74	14.70	14.39	12.45	6.78
<b>AÑO: 16</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	12.20	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	15.58	3.44	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	14.30	4.45	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	10.03	4.67	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	10.37	4.02	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.26	2.18
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.78
<b>TOTAL</b>	12.20	17.30	17.74	14.47	15.04	14.28	8.97



<b>AÑO: 17</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	10.70	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	14.17	3.13	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	13.53	4.21	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	9.88	4.60	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	10.84	4.20	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.78	2.51
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.97
<b>TOTAL</b>	10.70	15.67	16.66	14.08	15.44	15.98	11.47
<b>AÑO: 18</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	9.38	1.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	12.84	2.83	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	12.71	3.95	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	9.61	4.47	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	11.13	4.31	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.17	2.80
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.47
<b>TOTAL</b>	9.38	14.16	15.54	13.56	15.60	17.49	14.28
<b>AÑO: 19</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	8.22	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	11.60	2.56	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	11.85	3.69	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	9.25	4.31	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	11.24	4.36	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.42	3.07
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.28
<b>TOTAL</b>	8.22	12.75	14.41	12.94	15.55	18.77	17.35
<b>AÑO: 20</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	7.21	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	10.45	2.31	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	10.99	3.42	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	8.83	4.11	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	11.21	4.34	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.48	3.29
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.35
<b>TOTAL</b>	7.21	11.46	13.30	12.25	15.32	19.82	20.64
<b>AÑO: 21</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	6.32	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	9.39	2.07	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	10.15	3.15	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	8.36	3.89	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	11.04	4.28	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.34	3.48
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.64
<b>TOTAL</b>	6.32	10.28	12.22	11.51	14.93	20.62	24.12
<b>AÑO: 22</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	5.54	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	8.42	1.86	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	9.32	2.90	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	7.85	3.66	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	10.76	4.17	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.00	3.62
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.12
<b>TOTAL</b>	5.54	9.20	11.18	10.75	14.42	21.17	27.74



<b>AÑO: 23</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	4.86	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	7.54	1.66	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	8.53	2.65	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	7.34	3.42	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	10.39	4.03	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.46	3.72
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.74
<b>TOTAL</b>	4.86	8.22	10.19	9.99	13.81	21.48	31.46

<b>AÑO: 24</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
	4.26	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	6.73	1.49	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	7.77	2.42	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	6.81	3.17	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	9.95	3.86	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.71	3.77
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.46
<b>TOTAL</b>	4.26	7.33	9.26	9.23	13.12	21.57	35.23

<b>AÑO: 25</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<b>A</b>	3.74	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>B</b>	0.00	6.01	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>C</b>	0.00	0.00	7.06	2.20	0.00	0.00	0.00
<b>D</b>	0.00	0.00	0.00	6.30	2.93	0.00	0.00
<b>E</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	9.46	3.67	0.00
<b>F</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.78	3.79
<b>G</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.23
<b>TOTAL</b>	3.74	6.53	8.39	8.49	12.39	21.45	39.01

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En base a la iteración realizada (Tabla 51), y haciendo uso del procedimiento del Subsistema de evaluación del pavimento, se calcula el PCI anual (Tabla 52).

**Tabla 52.** Resumen del PCI anual del Pavimento Rígido nuevo, sin mantenimiento.

Pavimento Rígido nuevo – Sin mantenimiento		
Nº	PCI Total	CONDICIÓN
0	100.00	EXCELENTE
1	90.65	EXCELENTE
2	88.70	EXCELENTE
3	86.63	EXCELENTE
4	84.44	MUY BUENO
5	82.13	MUY BUENO
6	79.69	MUY BUENO
7	77.11	MUY BUENO
8	74.41	MUY BUENO
9	71.61	MUY BUENO
10	68.70	BUENO
11	65.72	BUENO
12	62.69	BUENO
13	59.63	BUENO
14	56.56	BUENO
15	53.50	REGULAR
16	50.49	REGULAR
17	47.53	REGULAR
18	44.65	REGULAR
19	41.85	REGULAR
20	39.16	POBRE
21	36.58	POBRE
22	34.13	POBRE
23	31.80	POBRE
24	29.60	POBRE
25	27.53	POBRE

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Además, analizando el resumen de los resultados obtenidos de la iteración realizada que se muestra en la Tabla 52, se infiere que en el año 20 el PCI será 39.16, valor que demuestra que el año 20 es el límite de la condición D que clasifica al pavimento en una condición “Regular”.

De esta manera, se demuestra que los valores de la MPT para pavimentos rígidos sin mantenimiento (Tabla 50), son correctos.

**Cadenas de Markov en el modelamiento de deterioro – Pavimentos**

**Rígidos**

Operando la MPT (Tabla 50), con los porcentajes de los pavimentos rígidos clasificados por rango de condición (Tabla 22); se ensambla la cadena de matrices de deterioro de los pavimentos rígidos de la muestra tomada para esta investigación, considerando el Escenario 01: Sin Mantenimiento.

Esta cadena de matrices, se realiza para modelar el deterioro de los pavimentos rígidos en los próximos 10 años, considerando que no se realizará ningún tipo de mantenimiento y sólo se esperará el estado “fatal” de pavimento. Esto se aprecia en la Tabla 53.

**Tabla 53.** Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Rígidos, con el Escenario 01: Sin Mantenimiento

2020	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2020
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	0.00
	0.00	15.29	3.37	0.00	0.00	0.00	0.00	B	15.29
	0.00	0.00	9.76	3.04	0.00	0.00	0.00	C	13.14
	0.00	0.00	0.00	11.46	5.34	0.00	0.00	D	14.50
	0.00	0.00	0.00	0.00	15.37	5.96	0.00	E	20.71
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.70	1.64	F	13.65
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.07	G	22.70
<b>TOTAL</b>	0.00	15.29	13.14	14.50	20.71	13.65	22.70		
2021	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2021
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	0.00
	0.00	12.53	2.76	0.00	0.00	0.00	0.00	B	12.53
	0.00	0.00	10.02	3.12	0.00	0.00	0.00	C	12.79
	0.00	0.00	0.00	9.89	4.61	0.00	0.00	D	13.01
	0.00	0.00	0.00	0.00	14.93	5.78	0.00	E	19.53
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.26	2.40	F	17.04
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.70	G	25.10
<b>TOTAL</b>	0.00	12.53	12.79	13.01	19.53	17.04	25.10		
2022	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2022
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	0.00
	0.00	10.26	2.26	0.00	0.00	0.00	0.00	B	10.26
	0.00	0.00	9.75	3.03	0.00	0.00	0.00	C	12.02
	0.00	0.00	0.00	8.88	4.13	0.00	0.00	D	11.91
	0.00	0.00	0.00	0.00	14.08	5.46	0.00	E	18.21
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.05	2.99	F	19.51
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.10	G	28.09
<b>TOTAL</b>	0.00	10.26	12.02	11.91	18.21	19.51	28.09		



2023	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2023
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	0.00
	0.00	8.41	1.86	0.00	0.00	0.00	0.00	B	8.41
	0.00	0.00	9.17	2.85	0.00	0.00	0.00	C	11.02
	0.00	0.00	0.00	8.13	3.78	0.00	0.00	D	10.98
	0.00	0.00	0.00	0.00	13.12	5.09	0.00	E	16.91
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.08	3.42	F	21.17
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.09	G	31.52
<b>TOTAL</b>	0.00	8.41	11.02	10.98	16.91	21.17	31.52		
2024	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2024
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	0.00
	0.00	6.89	1.52	0.00	0.00	0.00	0.00	B	6.89
	0.00	0.00	8.41	2.61	0.00	0.00	0.00	C	9.93
	0.00	0.00	0.00	7.49	3.49	0.00	0.00	D	10.10
	0.00	0.00	0.00	0.00	12.19	4.72	0.00	E	15.67
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.45	3.72	F	22.18
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.52	G	35.23
<b>TOTAL</b>	0.00	6.89	9.93	10.10	15.67	22.18	35.23		
2025	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2025
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	0.00
	0.00	5.64	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	B	5.64
	0.00	0.00	7.57	2.36	0.00	0.00	0.00	C	8.82
	0.00	0.00	0.00	6.89	3.21	0.00	0.00	D	9.25
	0.00	0.00	0.00	0.00	11.30	4.38	0.00	E	14.51
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.29	3.89	F	22.66
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.23	G	39.12
<b>TOTAL</b>	0.00	5.64	8.82	9.25	14.51	22.66	39.12		
2026	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2026
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	0.00
	0.00	4.62	1.02	0.00	0.00	0.00	0.00	B	4.62
	0.00	0.00	6.73	2.09	0.00	0.00	0.00	C	7.75
	0.00	0.00	0.00	6.31	2.94	0.00	0.00	D	8.40
	0.00	0.00	0.00	0.00	10.45	4.05	0.00	E	13.39
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.69	3.98	F	22.74
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.12	G	43.10
<b>TOTAL</b>	0.00	4.62	7.75	8.40	13.39	22.74	43.10		
2027	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2027
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	0.00
	0.00	3.79	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	B	3.79
	0.00	0.00	5.91	1.84	0.00	0.00	0.00	C	6.74
	0.00	0.00	0.00	5.73	2.67	0.00	0.00	D	7.57
	0.00	0.00	0.00	0.00	9.65	3.74	0.00	E	12.32
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.75	3.99	F	22.49
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.10	G	47.09
<b>TOTAL</b>	0.00	3.79	6.74	7.57	12.32	22.49	47.09		

2028	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2028
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	0.00
	0.00	3.10	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	B	3.10
	0.00	0.00	5.15	1.60	0.00	0.00	0.00	C	5.83
	0.00	0.00	0.00	5.17	2.41	0.00	0.00	D	6.77
	0.00	0.00	0.00	0.00	8.88	3.44	0.00	E	11.29
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.54	3.95	F	21.98
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.09	G	51.04
<b>TOTAL</b>	0.00	3.10	5.83	6.77	11.29	21.98	51.04		

2029	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2029
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	0.00
	0.00	2.54	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	B	2.54
	0.00	0.00	4.45	1.38	0.00	0.00	0.00	C	5.01
	0.00	0.00	0.00	4.62	2.15	0.00	0.00	D	6.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	8.13	3.15	0.00	E	10.28
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.12	3.86	F	21.28
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.04	G	54.89
<b>TOTAL</b>	0.00	2.54	5.01	6.00	10.28	21.28	54.89		

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Posteriormente, se calcula el PCI anual, haciendo uso de los porcentajes de los pavimentos rígidos obtenidos de las cadenas de matrices de deterioro (Tabla 53). El resumen de los cálculos se muestra en la Tabla 54.

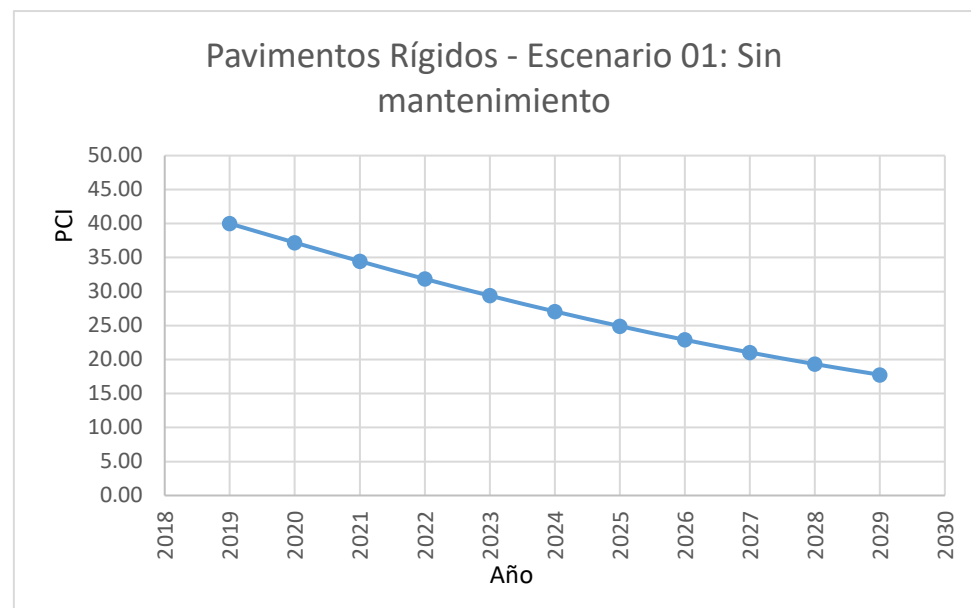
**Tabla 54.** Resumen del PCI anual y del modelamiento de deterioro de los Pavimentos Rígidos Sin Mantenimiento.

Pavimento Rígido - Escenario 01: Sin mantenimiento										
N°	Año	A	B	C	D	E	F	G	PCI	CONDICIÓN
0	2019	0.000	18.67	12.80	16.80	21.33	9.33	21.07	40.00	POBRE
1	2020	0.00	15.29	13.14	14.50	20.71	13.65	22.70	37.21	POBRE
2	2021	0.00	12.53	12.79	13.01	19.53	17.04	25.10	34.47	POBRE
3	2022	0.00	10.26	12.02	11.91	18.21	19.51	28.09	31.86	POBRE
4	2023	0.00	8.41	11.02	10.98	16.91	21.17	31.52	29.39	POBRE
5	2024	0.00	6.89	9.93	10.10	15.67	22.18	35.23	27.08	POBRE
6	2025	0.00	5.64	8.82	9.25	14.51	22.66	39.12	24.91	MUY POBRE
7	2026	0.00	4.62	7.75	8.40	13.39	22.74	43.10	22.90	MUY POBRE
8	2027	0.00	3.79	6.74	7.57	12.32	22.49	47.09	21.04	MUY POBRE
9	2028	0.00	3.10	5.83	6.77	11.29	21.98	51.04	19.33	MUY POBRE
10	2029	0.00	2.54	5.01	6.00	10.28	21.28	54.89	17.76	MUY POBRE

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



Para un mejor análisis, los resultados de la Tabla 54, se muestran gráficamente en la Figura 27, a través de la curva de deterioro de los Pavimentos Rígidos sin mantenimiento pertenecientes a la muestra de investigación. De esta figura se infiere que, al no realizar algún tipo de mantenimiento en los pavimentos, desde el presente año hasta el 2029, los pavimentos rígidos se encontrarán en condiciones por debajo del límite permitido (PCI=40), lo que se traduce en un servicio brindado totalmente deficiente.



**Figura 27.** Curva de deterioro de los Pavimentos Rígidos Sin Mantenimiento.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### **Presupuesto anual**

Con fines de esta investigación, con el objetivo de corroborar o refutar la hipótesis formulada, se realiza el análisis de la comparación de la inversión a realizar en cada uno de los escenarios planteados para un periodo de 10 años. Por lo tanto, es necesario calcular el Presupuesto Anual resultante de la aplicación del Escenario 01 en los pavimentos rígidos.



Asimismo, para el cálculo del Presupuesto Anual a invertir en el modelamiento de deterioro de los pavimentos rígidos sin Mantenimiento, se siguen las bases teóricas descritas en el Marco Teórico.

De esta manera, los resultados del Presupuesto Anual se muestran en la Tabla 55; de donde se infiere que, obedeciendo al Escenario 01, durante el periodo (2019-2029) no se aplicaría ningún tipo de mantenimiento en los pavimentos rígidos. Por consiguiente, en el año 2029 el pavimento rígido tendrá un PCI de 21.36 con una condición de “Muy Pobre”, condición que amerita invertir un presupuesto de S/. 1,403,684.52.

**Tabla 55.** Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Rígidos Sin Mantenimiento (2019 – 2029)

<b>PRESUPUESTO SIN MANTENIMIENTO – PAVIMENTO RÍGIDO</b>											
	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>
<b>PCI</b>	40.00	37.21	34.47	31.86	29.39	27.08	24.91	22.90	21.04	19.33	17.76
<b>A</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>B</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9,601.32
<b>C</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26,849.64
<b>D</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37,297.61
<b>E</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	134,603.26
<b>F</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	300,905.82
<b>G</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	894,426.87
<b>TOTAL</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,403,684.5

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

### 3.5.4.2.2. Escenario 02: Con Mantenimiento.

#### Matriz de Probabilidad de transición

Para la presente investigación, se propone la MPT del deterioro de los pavimentos rígidos en el “Escenario 02” (Tabla 56).

Para ensamblar esta matriz, se toma como criterio que al realizar la conservación del 100% de los pavimentos que se encuentran actualmente en los rangos D, E, F y G; estos subirán al rango A. Además, se establece que durante el periodo de análisis, la calificación del PCI no será menor a 40, lo que significa que ninguna calificación será menor al rango D, y se mantendrá en el rango A, B, C o D.

Además, con esta MPT para pavimentos rígidos en el “Escenario 02”, se procura que la curva de deterioro se mantenga uniforme, con un pavimento en buen estado.

**Tabla 56.** Matriz de Probabilidad de Transición, Escenario 02: Con Mantenimiento, Pavimento rígido.

	A	B	C	D	E	F	G
A	90.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
B	0.00	80.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	0.00	70.00	20.00	10.00	0.00	0.00	0.00
D	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
G	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**Cadenas de Markov en el modelamiento de deterioro – Pavimentos**

**Rígidos**

Operando la MPT (Tabla 56), con los porcentajes de pavimentos rígidos clasificados por rango de condición (Tabla 22); se ensambla la cadena de matrices de deterioro de los pavimentos rígidos de la muestra tomada para esta investigación, considerando el Escenario 02: Con Mantenimiento.

La cadena de matrices que se muestra en la Tabla 57, se realiza para modelar el deterioro de los pavimentos rígidos en los próximos 10 años, considerando que se dispone de todo el presupuesto que se requiera para mantener el 100% de los pavimentos.

**Tabla 57.** Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Rígidos, con el Escenario 02: Con Mantenimiento

2020	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2020
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	68.53
	0.00	14.93	3.73	0.00	0.00	0.00	0.00	B	23.89
	0.00	8.96	2.56	1.28	0.00	0.00	0.00	C	6.29
	16.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D	1.28
	21.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E	0.00
	9.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	F	0.00
	21.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	G	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>68.53</b>	<b>23.89</b>	<b>6.29</b>	<b>1.28</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		
2021	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2021
	61.68	6.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	62.96
	0.00	19.11	4.78	0.00	0.00	0.00	0.00	B	30.37
	0.00	4.41	1.26	0.63	0.00	0.00	0.00	C	6.04
	1.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D	0.63
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	F	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	G	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>62.96</b>	<b>30.37</b>	<b>6.04</b>	<b>0.63</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		
2022	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2022
	56.66	6.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	57.29
	0.00	24.30	6.07	0.00	0.00	0.00	0.00	B	34.82
	0.00	4.23	1.21	0.60	0.00	0.00	0.00	C	7.28
	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D	0.60
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	F	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	G	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>57.29</b>	<b>34.82</b>	<b>7.28</b>	<b>0.60</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		



2023	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2023
	51.56	5.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	52.17
	0.00	27.86	6.96	0.00	0.00	0.00	0.00	B	38.68
	0.00	5.10	1.46	0.73	0.00	0.00	0.00	C	8.42
	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D	0.73
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	F	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	G	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>52.17</b>	<b>38.68</b>	<b>8.42</b>	<b>0.73</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		
2024	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2024
	46.95	5.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	47.68
	0.00	30.95	7.74	0.00	0.00	0.00	0.00	B	42.06
	0.00	5.89	1.68	0.84	0.00	0.00	0.00	C	9.42
	0.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D	0.84
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	F	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	G	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>47.68</b>	<b>42.06</b>	<b>9.42</b>	<b>0.84</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		
2025	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2025
	42.91	4.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	43.75
	0.00	33.65	8.41	0.00	0.00	0.00	0.00	B	45.01
	0.00	6.59	1.88	0.94	0.00	0.00	0.00	C	10.30
	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D	0.94
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	F	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	G	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>43.75</b>	<b>45.01</b>	<b>10.30</b>	<b>0.94</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		
2026	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2026
	39.38	4.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	40.32
	0.00	36.01	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	B	47.59
	0.00	7.21	2.06	1.03	0.00	0.00	0.00	C	11.06
	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D	1.03
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	F	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	G	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>40.32</b>	<b>47.59</b>	<b>11.06</b>	<b>1.03</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		
2027	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2027
	36.29	4.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	37.32
	0.00	38.07	9.52	0.00	0.00	0.00	0.00	B	49.85
	0.00	7.74	2.21	1.11	0.00	0.00	0.00	C	11.73
	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D	1.11
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	F	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	G	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>37.32</b>	<b>49.85</b>	<b>11.73</b>	<b>1.11</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		
2028	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2028
	33.59	3.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	34.69
	0.00	39.88	9.97	0.00	0.00	0.00	0.00	B	51.82
	0.00	8.21	2.35	1.17	0.00	0.00	0.00	C	12.32
	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D	1.17
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	F	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	G	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>34.69</b>	<b>51.82</b>	<b>12.32</b>	<b>1.17</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		

2029	A	B	C	D	E	F	G	PCI	2029
31.22	3.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	A	32.40
0.00	41.46	10.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	B	53.55
0.00	8.62	2.46	1.23	0.00	0.00	0.00	0.00	C	12.83
1.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	D	1.23
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	F	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	G	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>32.40</b>	<b>53.55</b>	<b>12.83</b>	<b>1.23</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>		

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

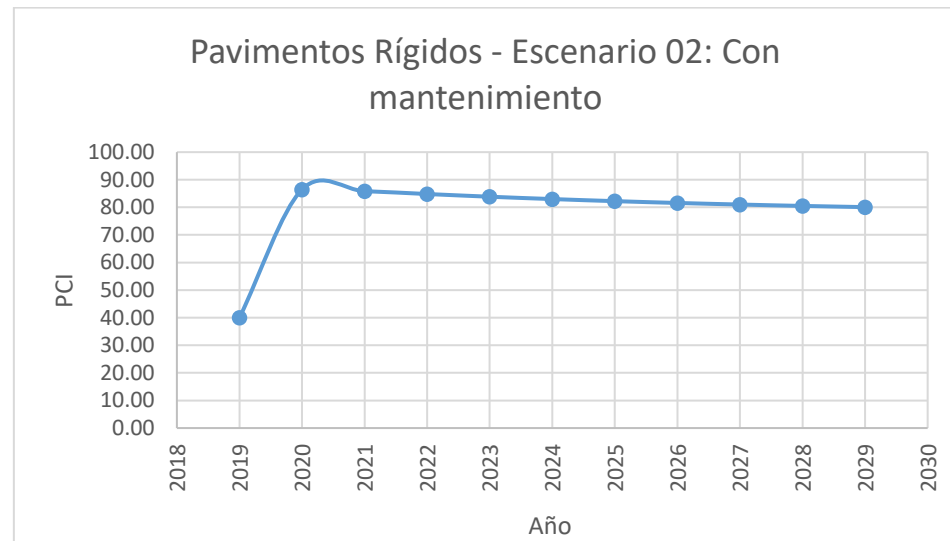
Posteriormente, se calcula el PCI anual haciendo uso de los porcentajes de pavimentos rígidos obtenidos de las cadenas de matrices de deterioro (Tabla 57). El resumen de los cálculos se muestra en la Tabla 58, donde se aprecian los % de pavimentos por condición anual y el PCI anual.

**Tabla 58.** Resumen del PCI anual y del modelamiento de deterioro de los Pavimentos Rígidos Con Mantenimiento.

Pavimento Rígido - Escenario 02: Con mantenimiento										
N°	Año	A	B	C	D	E	F	G	PCI	CONDICIÓN
0	2019	0.00	18.67	12.80	16.80	21.33	9.33	21.07	40.0	POBRE
1	2020	68.53	23.89	6.29	1.28	0.00	0.00	0.00	86.5	EXCELENTE
2	2021	62.96	30.37	6.04	0.63	0.00	0.00	0.00	85.8	EXCELENTE
3	2022	57.29	34.82	7.28	0.60	0.00	0.00	0.00	84.8	MUY BUENO
4	2023	52.17	38.68	8.42	0.73	0.00	0.00	0.00	83.8	MUY BUENO
5	2024	47.68	42.06	9.42	0.84	0.00	0.00	0.00	83.0	MUY BUENO
6	2025	43.75	45.01	10.30	0.94	0.00	0.00	0.00	82.2	MUY BUENO
7	2026	40.32	47.59	11.06	1.03	0.00	0.00	0.00	81.6	MUY BUENO
8	2027	37.32	49.85	11.73	1.11	0.00	0.00	0.00	81.0	MUY BUENO
9	2028	34.69	51.82	12.32	1.17	0.00	0.00	0.00	80.5	MUY BUENO
10	2029	32.40	53.55	12.83	1.23	0.00	0.00	0.00	80.1	MUY BUENO

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Para un mejor análisis, los resultados de la Tabla 58 se muestran gráficamente en la Figura 28, a través de la curva de deterioro de los Pavimentos Rígidos con mantenimiento pertenecientes a la muestra de investigación. De esta Figura se infiere que, desde el año 2020 los pavimentos serán de Rango “Excelente” y “Muy Bueno”, y no bajarán de este rango.



**Figura 28.** Curva de deterioro de los Pavimentos Rígidos, Con Mantenimiento

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

### **Presupuesto anual**

Asimismo, para el cálculo del Presupuesto Anual a invertir durante 10 años, considerando el modelamiento de deterioro de los pavimentos sin Mantenimiento, se siguen las bases teóricas descritas en la presente investigación.

De esta manera, los resultados del Presupuesto Anual se muestran en la Tabla 59; de donde se infiere que, obedeciendo al Escenario 02 en que se aplicaría mantenimiento sin alguna planificación optimizada durante el periodo (2019-2029); se tendrá que, para mantener un PCI entre 86.45 y 80.07 con una condición constante entre “Excelente” y “Muy Bueno”, el presupuesto de inversión durante los 10 años asciende a S/.4,029,015.75.



**Tabla 59.** Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Rígidos Con Mantenimiento (2019 – 2029)

**PRESUPUESTO CON MANTENIMIENTO SIN OPTIMIZACIÓN – PAVIMENTO RÍGIDO**

<b>AÑO</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>
<b>PCI</b>	40.00	86.45	85.85	84.82	83.84	82.99	82.24	81.58	81.01	80.50	80.07
<b>A</b>	0.00	126,425.51	116,144.21	105,690.74	96,235.39	87,955.21	80,713.06	74,379.64	68,840.97	63,997.31	59,761.46
<b>B</b>	70,539.36	90,290.39	114,777.62	131,584.13	146,180.74	158,932.58	170,083.70	179,835.47	188,363.54	195,821.47	202,343.53
<b>C</b>	68,631.91	33,744.02	32,371.38	39,045.84	45,150.07	50,513.14	55,204.47	59,307.19	62,895.09	66,032.77	68,776.71
<b>D</b>	104,456.30	7,958.58	3,912.97	3,753.79	4,527.77	5,235.62	5,857.52	6,401.53	6,877.28	7,293.33	7,657.18
<b>E</b>	279,263.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>F</b>	132,001.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>G</b>	343,250.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>998,142.83</b>	<b>258,418.49</b>	<b>267,206.19</b>	<b>280,074.50</b>	<b>292,093.97</b>	<b>302,636.55</b>	<b>311,858.75</b>	<b>319,923.83</b>	<b>326,976.88</b>	<b>333,144.88</b>	<b>338,538.88</b>
						<b>S/. 4,029,015.75</b>					

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



### 3.5.4.3. Pavimento Articulado

#### 3.5.4.3.1. Escenario 01: Sin Mantenimiento.

##### Matriz de Probabilidad de transición

Para establecer la Matriz de Probabilidad de Transición (MPT) de los pavimentos articulados, sería necesario contar con los datos históricos de deterioro de pavimento en la zona, así se realizaría un modelamiento de deterioro empírico. Sin embargo, en la actualidad la Municipalidad no cuenta dicha información. Por lo tanto, la presente investigación será un punto de partida para el análisis de deterioro de los pavimentos articulados a futuro.

Además, se sabe que los pavimentos articulados tienen altas ventajas como la permeabilidad, durabilidad, y fácil mantenimiento. Sin embargo, el deterioro se ve reflejado por el transcurso del tiempo, por aplicar cargas pesadas, y por la existencia de vegetación en la zona.

En la ciudad de Puno, se ha observado que los pavimentos articulados evaluados en esta investigación, son peatonales y ocasionalmente se permite el ingreso de vehículos livianos

De esta manera, para establecer la MPT de los pavimentos articulados en esta investigación, se consideran que los pavimentos a través de los años tendrán un deterioro de poca magnitud, lo que significa que la probabilidad para que un pavimento baje de rango de condición es mínima.

En base a lo mencionado anteriormente, en la Tabla 60 se aprecia la MPT de deterioro del pavimento articulado en el Escenario 01: Sin Mantenimiento, que nos muestra como resultado el cambio de Condición (AB, C, D, E, FG) que sufrirá el pavimento en el periodo de un año.

**Tabla 60.** Matriz de Probabilidad de Transición, Escenario 01: Sin Mantenimiento, Pavimento Articulado.

	AB	C	D	E	FG
AB	95.42	4.58	0.00	0.00	0.00
C	0.00	87.37	12.63	0.00	0.00
D	0.00	0.00	75.63	24.37	0.00
E	0.00	0.00	0.00	62.49	37.51
FG	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En la Tabla 61, se realiza la iteración hasta 25 años considerando un pavimento articulado nuevo. Esto con el fin de tener una visión amplia, realizar un mejor análisis de la curva de deterioro del pavimento Articulado, y comprobar la veracidad de los valores de la MPT en el “Escenario 01: Sin Mantenimiento”.

**Tabla 61.** Cadenas de Matrices de deterioro para un pavimento articulado nuevo, Sin Mantenimiento

AÑO: 0					AÑO: 1				
AB	C	D	E	FG	AB	C	D	E	FG
95.42	4.58	0.00	0.00	0.00	91.05	4.37	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	0.58	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
95.42	4.58	0.00	0.00	0.00	91.05	8.37	0.58	0.00	0.00

AÑO: 2					AÑO: 3				
AB	C	D	E	FG	AB	C	D	E	FG
86.88	4.17	0.00	0.00	0.00	82.90	3.98	0.00	0.00	0.00
0.00	7.31	1.06	0.00	0.00	0.00	10.03	1.45	0.00	0.00
0.00	0.00	0.44	0.14	0.00	0.00	0.00	1.13	0.36	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.05
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
86.88	11.48	1.49	0.14	0.00	82.90	14.01	2.58	0.45	0.05

AÑO: 4					AÑO: 5				
AB	C	D	E	FG	AB	C	D	E	FG
79.10	3.80	0.00	0.00	0.00	75.48	3.62	0.00	0.00	0.00
0.00	12.24	1.77	0.00	0.00	0.00	14.01	2.03	0.00	0.00
0.00	0.00	1.95	0.63	0.00	0.00	0.00	2.81	0.91	0.00
0.00	0.00	0.00	0.28	0.17	0.00	0.00	0.00	0.57	0.34
0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
79.10	16.04	3.72	0.91	0.22	75.48	17.64	4.84	1.48	0.56



AÑO: 6				
AB	C	D	E	FG
72.02	3.46	0.00	0.00	0.00
0.00	15.41	2.23	0.00	0.00
0.00	0.00	3.66	1.18	0.00
0.00	0.00	0.00	0.92	0.55
0.00	0.00	0.00	0.00	0.56
72.02	18.87	5.89	2.10	1.12

AÑO: 7				
AB	C	D	E	FG
68.73	3.30	0.00	0.00	0.00
0.00	16.48	2.38	0.00	0.00
0.00	0.00	4.45	1.44	0.00
0.00	0.00	0.00	1.31	0.79
0.00	0.00	0.00	0.00	1.12
68.73	19.78	6.84	2.75	1.91

AÑO: 8				
AB	C	D	E	FG
65.58	3.15	0.00	0.00	0.00
0.00	17.28	2.50	0.00	0.00
0.00	0.00	5.17	1.67	0.00
0.00	0.00	0.00	1.72	1.03
0.00	0.00	0.00	0.00	1.91
65.58	20.43	7.67	3.38	2.94

AÑO: 9				
AB	C	D	E	FG
62.57	3.00	0.00	0.00	0.00
0.00	17.85	2.58	0.00	0.00
0.00	0.00	5.80	1.87	0.00
0.00	0.00	0.00	2.11	1.27
0.00	0.00	0.00	0.00	2.94
62.57	20.85	8.38	3.98	4.21

AÑO: 10				
AB	C	D	E	FG
59.71	2.87	0.00	0.00	0.00
0.00	18.22	2.63	0.00	0.00
0.00	0.00	6.34	2.04	0.00
0.00	0.00	0.00	2.49	1.49
0.00	0.00	0.00	0.00	4.21
59.71	21.09	8.97	4.53	5.70

AÑO: 11				
AB	C	D	E	FG
56.97	2.73	0.00	0.00	0.00
0.00	18.42	2.66	0.00	0.00
0.00	0.00	6.79	2.19	0.00
0.00	0.00	0.00	2.83	1.70
0.00	0.00	0.00	0.00	5.70
56.97	21.16	9.45	5.02	7.40

AÑO: 12				
AB	C	D	E	FG
54.36	2.61	0.00	0.00	0.00
0.00	18.49	2.67	0.00	0.00
0.00	0.00	7.15	2.30	0.00
0.00	0.00	0.00	3.14	1.88
0.00	0.00	0.00	0.00	7.40
54.36	21.10	9.82	5.44	9.28

AÑO: 13				
AB	C	D	E	FG
51.87	2.49	0.00	0.00	0.00
0.00	18.43	2.66	0.00	0.00
0.00	0.00	7.43	2.39	0.00
0.00	0.00	0.00	3.40	2.04
0.00	0.00	0.00	0.00	9.28
51.87	20.92	10.09	5.79	11.32

AÑO: 14				
AB	C	D	E	FG
49.50	2.38	0.00	0.00	0.00
0.00	18.28	2.64	0.00	0.00
0.00	0.00	7.63	2.46	0.00
0.00	0.00	0.00	3.62	2.17
0.00	0.00	0.00	0.00	11.32
49.50	20.65	10.27	6.08	13.50

AÑO: 15				
AB	C	D	E	FG
47.23	2.27	0.00	0.00	0.00
0.00	18.05	2.61	0.00	0.00
0.00	0.00	7.77	2.50	0.00
0.00	0.00	0.00	3.80	2.28
0.00	0.00	0.00	0.00	13.50
47.23	20.31	10.38	6.30	15.78

AÑO: 16				
AB	C	D	E	FG
45.07	2.16	0.00	0.00	0.00
0.00	17.75	2.57	0.00	0.00
0.00	0.00	7.85	2.53	0.00
0.00	0.00	0.00	3.94	2.36
0.00	0.00	0.00	0.00	15.78
45.07	19.91	10.41	6.47	18.14

AÑO: 17				
AB	C	D	E	FG
43.00	2.06	0.00	0.00	0.00
0.00	17.40	2.51	0.00	0.00
0.00	0.00	7.88	2.54	0.00
0.00	0.00	0.00	4.04	2.43
0.00	0.00	0.00	0.00	18.14
43.00	19.46	10.39	6.58	20.57

AÑO: 18				
AB	C	D	E	FG
41.03	1.97	0.00	0.00	0.00
0.00	17.00	2.46	0.00	0.00
0.00	0.00	7.86	2.53	0.00
0.00	0.00	0.00	4.11	2.47
0.00	0.00	0.00	0.00	20.57
41.03	18.97	10.32	6.64	23.03

AÑO: 19				
AB	C	D	E	FG
39.16	1.88	0.00	0.00	0.00
0.00	16.58	2.40	0.00	0.00
0.00	0.00	7.80	2.51	0.00
0.00	0.00	0.00	4.15	2.49
0.00	0.00	0.00	0.00	23.03
39.16	18.45	10.20	6.67	25.53



AÑO: 20					AÑO: 21				
AB	C	D	E	FG	AB	C	D	E	FG
37.36	1.79	0.00	0.00	0.00	35.65	1.71	0.00	0.00	0.00
0.00	16.12	2.33	0.00	0.00	0.00	15.65	2.26	0.00	0.00
0.00	0.00	7.71	2.49	0.00	0.00	0.00	7.60	2.45	0.00
0.00	0.00	0.00	4.17	2.50	0.00	0.00	0.00	4.16	2.49
0.00	0.00	0.00	0.00	25.53	0.00	0.00	0.00	0.00	28.03
37.36	17.92	10.04	6.65	28.03	35.65	17.37	9.86	6.60	30.52

AÑO: 22					AÑO: 23				
AB	C	D	E	FG	AB	C	D	E	FG
34.02	1.63	0.00	0.00	0.00	32.46	1.56	0.00	0.00	0.00
0.00	15.17	2.19	0.00	0.00	0.00	14.68	2.12	0.00	0.00
0.00	0.00	7.46	2.40	0.00	0.00	0.00	7.30	2.35	0.00
0.00	0.00	0.00	4.13	2.48	0.00	0.00	0.00	4.08	2.45
0.00	0.00	0.00	0.00	30.52	0.00	0.00	0.00	0.00	33.00
34.02	16.81	9.65	6.53	33.00	32.46	16.24	9.42	6.43	35.45

AÑO: 24					AÑO: 25				
AB	C	D	E	FG	AB	C	D	E	FG
30.97	1.49	0.00	0.00	0.00	29.55	1.42	0.00	0.00	0.00
0.00	14.19	2.05	0.00	0.00	0.00	13.70	1.98	0.00	0.00
0.00	0.00	7.12	2.30	0.00	0.00	0.00	6.94	2.24	0.00
0.00	0.00	0.00	4.02	2.41	0.00	0.00	0.00	3.95	2.37
0.00	0.00	0.00	0.00	35.45	0.00	0.00	0.00	0.00	37.86
30.97	15.68	9.18	6.32	37.86	29.55	15.11	8.92	6.18	40.23

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En base a la iteración realizada (Tabla 61), y haciendo uso del procedimiento del Subsistema de evaluación del pavimento, se calcula el ICP anual (Tabla 62).

**Tabla 62.** Resumen del ICP anual del Pavimento Articulado nuevo, sin mantenimiento.

Pavimento Articulado nuevo – Sin mantenimiento		
N°	ICP Total	CONDICIÓN
0	5.00	MUY BUENO
1	5.00	MUY BUENO
2	5.00	MUY BUENO
3	5.00	MUY BUENO
4	5.00	MUY BUENO
5	5.00	MUY BUENO
6	5.00	MUY BUENO
7	5.00	MUY BUENO
8	5.00	MUY BUENO
9	4.00	BUENO
10	4.00	BUENO
11	4.00	BUENO
12	4.00	BUENO
13	4.00	BUENO
14	4.00	BUENO
15	4.00	BUENO
16	4.00	BUENO
17	4.00	BUENO
18	4.00	BUENO
19	3.00	BUENO
20	3.00	REGULAR
21	3.00	REGULAR
22	3.00	REGULAR
23	3.00	REGULAR
24	3.00	REGULAR
25	3.00	REGULAR

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**Cadenas de Markov en el modelamiento de deterioro – Pavimentos Articulados**

Operando la MPT (Tabla 60), con los porcentajes de los pavimentos articulados clasificados por rango de condición (Tabla 22); se ensambla la cadena de matrices de deterioro de los pavimentos articulados de la muestra de esta investigación, considerando el Escenario 01: Sin Mantenimiento.

Esta cadena de matrices, se realiza para modelar el deterioro de los pavimentos articulados en los próximos 10 años, considerando que no se realizará ningún tipo de mantenimiento y sólo se esperará el estado “fatal” de pavimento. Esto se aprecia en la Tabla 63.

**Tabla 63.** Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Articulados, con el Escenario 01: Sin Mantenimiento

<b>2020</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2020</b>
	24.84	1.19	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	24.84
	0.00	47.90	6.92	0.00	0.00	<b>C</b>	49.09
	0.00	0.00	14.48	4.67	0.00	<b>D</b>	21.41
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	4.67
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>FG</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	24.84	49.09	21.41	4.67	0.00		100.00
<b>2021</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2021</b>
	23.70	1.14	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	23.70
	0.00	42.89	6.20	0.00	0.00	<b>C</b>	44.03
	0.00	0.00	16.19	5.22	0.00	<b>D</b>	22.39
	0.00	0.00	0.00	2.92	1.75	<b>E</b>	8.13
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>FG</b>	1.75
<b>TOTAL</b>	23.70	44.03	22.39	8.13	1.75		100.00
<b>2022</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2022</b>
	22.61	1.09	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	22.61
	0.00	38.47	5.56	0.00	0.00	<b>C</b>	39.55
	0.00	0.00	16.93	5.46	0.00	<b>D</b>	22.49
	0.00	0.00	0.00	5.08	3.05	<b>E</b>	10.54
	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75	<b>FG</b>	4.80
<b>TOTAL</b>	22.61	39.55	22.49	10.54	4.80		100.00
<b>2023</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2023</b>
	21.58	1.04	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	21.58
	0.00	34.56	5.00	0.00	0.00	<b>C</b>	35.59
	0.00	0.00	17.01	5.48	0.00	<b>D</b>	22.01
	0.00	0.00	0.00	6.59	3.95	<b>E</b>	12.07
	0.00	0.00	0.00	0.00	4.80	<b>FG</b>	8.75
<b>TOTAL</b>	21.58	35.59	22.01	12.07	8.75		100.00



<b>2024</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2024</b>
	20.59	0.99	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	20.59
	0.00	31.10	4.50	0.00	0.00	<b>C</b>	32.08
	0.00	0.00	16.64	5.36	0.00	<b>D</b>	21.14
	0.00	0.00	0.00	7.54	4.53	<b>E</b>	12.90
	0.00	0.00	0.00	0.00	8.75	<b>FG</b>	13.28
<b>TOTAL</b>	20.59	32.08	21.14	12.90	13.28		100.00
<b>2025</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2025</b>
	19.65	0.94	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	19.65
	0.00	28.03	4.05	0.00	0.00	<b>C</b>	28.98
	0.00	0.00	15.99	5.15	0.00	<b>D</b>	20.04
	0.00	0.00	0.00	8.06	4.84	<b>E</b>	13.22
	0.00	0.00	0.00	0.00	13.28	<b>FG</b>	18.12
<b>TOTAL</b>	19.65	28.98	20.04	13.22	18.12		100.00
<b>2026</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2026</b>
	18.75	0.90	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	18.75
	0.00	25.32	3.66	0.00	0.00	<b>C</b>	26.22
	0.00	0.00	15.16	4.88	0.00	<b>D</b>	18.82
	0.00	0.00	0.00	8.26	4.96	<b>E</b>	13.14
	0.00	0.00	0.00	0.00	18.12	<b>FG</b>	23.08
<b>TOTAL</b>	18.75	26.22	18.82	13.14	23.08		100.00
<b>2027</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2027</b>
	17.89	0.86	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	17.89
	0.00	22.90	3.31	0.00	0.00	<b>C</b>	23.76
	0.00	0.00	14.23	4.59	0.00	<b>D</b>	17.54
	0.00	0.00	0.00	8.21	4.93	<b>E</b>	12.80
	0.00	0.00	0.00	0.00	23.08	<b>FG</b>	28.01
<b>TOTAL</b>	17.89	23.76	17.54	12.80	28.01		100.00
<b>2028</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2028</b>
	17.07	0.82	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	17.07
	0.00	20.76	3.00	0.00	0.00	<b>C</b>	21.58
	0.00	0.00	13.27	4.27	0.00	<b>D</b>	16.27
	0.00	0.00	0.00	8.00	4.80	<b>E</b>	12.27
	0.00	0.00	0.00	0.00	28.01	<b>FG</b>	32.81
<b>TOTAL</b>	17.07	21.58	16.27	12.27	32.81		100.00
<b>2029</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2029</b>
	16.29	0.78	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	16.29
	0.00	18.86	2.73	0.00	0.00	<b>C</b>	19.64
	0.00	0.00	12.30	3.96	0.00	<b>D</b>	15.03
	0.00	0.00	0.00	7.67	4.60	<b>E</b>	11.63
	0.00	0.00	0.00	0.00	32.81	<b>FG</b>	37.41
<b>TOTAL</b>	16.29	19.64	15.03	11.63	37.41		100.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Posteriormente, se calcula el ICP anual, haciendo uso de los porcentajes de los pavimentos articulados obtenidos de las cadenas de matrices de deterioro (Tabla 63). El resumen de los cálculos se muestra en la Tabla 64.

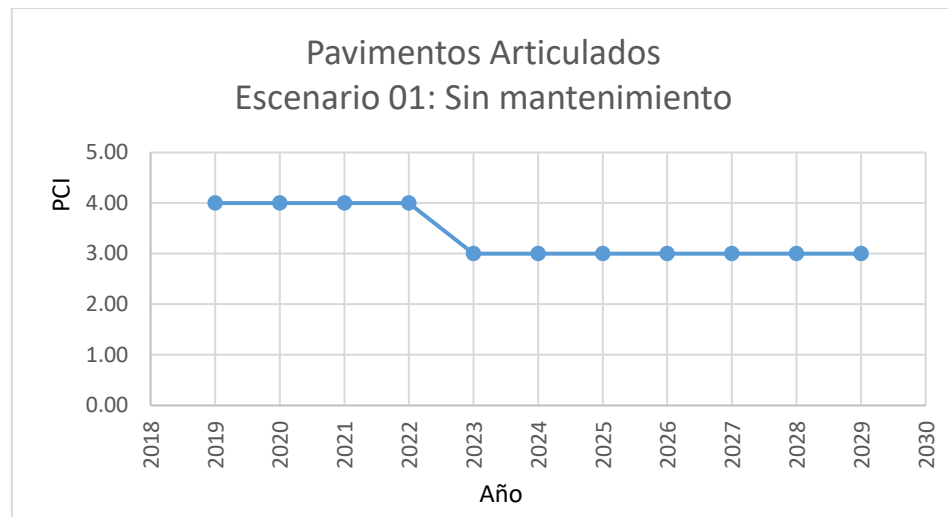


**Tabla 64.** Resumen del ICP anual y del modelamiento de deterioro de los Pavimentos Articulados, Sin Mantenimiento.

Pavimentos Articulados – Escenario 01: Sin mantenimiento								
N°	Año	AB	C	D	E	FG	ICP	CONDICIÓN
0	2019	26.03	54.82	19.15	0.00	0.00	4.00	BUENO
1	2020	24.84	49.09	21.41	4.67	0.00	4.00	BUENO
2	2021	23.70	44.03	22.39	8.13	1.75	4.00	BUENO
3	2022	22.61	39.55	22.49	10.54	4.80	4.00	BUENO
4	2023	21.58	35.59	22.01	12.07	8.75	3.00	REGULAR
5	2024	20.59	32.08	21.14	12.90	13.28	3.00	REGULAR
6	2025	19.65	28.98	20.04	13.22	18.12	3.00	REGULAR
7	2026	18.75	26.22	18.82	13.14	23.08	3.00	REGULAR
8	2027	17.89	23.76	17.54	12.80	28.01	3.00	REGULAR
9	2028	17.07	21.58	16.27	12.27	32.81	3.00	REGULAR
10	2029	16.29	19.64	15.03	11.63	37.41	3.00	REGULAR

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Para un mejor análisis, los resultados de la Tabla 64, se muestran gráficamente en la Figura 29, a través de la curva de deterioro de los Pavimentos Articulados sin mantenimiento, pertenecientes a la muestra de investigación. De esta figura se infiere que, al no realizar ningún tipo de mantenimiento en los pavimentos, desde el año 2023 el pavimento se encontrará en la condición Regular (ICP=3), y su condición, será constante hasta el año 2029, puesto que los pavimentos articulados, son de alta durabilidad.



**Figura 29.** Curva de deterioro de los Pavimentos Articulados, Sin Mantenimiento.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### **Presupuesto anual**

Con fines de esta investigación, con el objetivo de corroborar o refutar la hipótesis formulada, se realiza el análisis de la comparación de la inversión a realizar en cada uno de los escenarios planteados para un periodo de 10 años. Por lo tanto, es necesario calcular el Presupuesto Anual resultante de la aplicación del Escenario 01 en los pavimentos articulados.

Asimismo, para el cálculo del Presupuesto Anual a invertir en el modelamiento de deterioro de los pavimentos sin Mantenimiento, se siguen las bases teóricas descritas en el Marco Teórico.

De esta manera, los resultados del Presupuesto Anual se muestran en la Tabla 65; de donde se infiere que, obedeciendo al Escenario 01, durante el periodo (2019-2029) no se aplicaría ningún tipo de mantenimiento en los pavimentos articulados. Por consiguiente, en el año 2029 este pavimento tendrá un ICP = 3, con una condición de “Regular”, condición que amerita invertir un presupuesto de S/. 19,694.79.

**Tabla 65.** Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Articulado Sin Mantenimiento (2019 – 2029)

PRESUPUESTO SIN MANTENIMIENTO - PAVIMENTO ARTICULADOS											
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
PCI	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
AB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,439.37
C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,354.32
D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,848.91
E	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2,357.81
FG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8,694.38
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>19,694.79</b>

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

### 3.5.4.3.2. Escenario 02: Con Mantenimiento.

#### Matriz de Probabilidad de transición

Para la presente investigación, se propone la MPT del deterioro de los pavimentos articulados en el “Escenario 02” (Tabla 66).

Para ensamblar esta matriz, se toma como criterio que el pavimento no tendrá una calificación de ICP menor a 3, por lo tanto no debiera bajar del rango D.

**Tabla 66.** Matriz de Probabilidad de Transición, Escenario 02: Con Mantenimiento, Pavimento articulados.

AB	C	D	E	FG
75.00	25.00	0.00	0.00	0.00
0.00	90.00	10.00	0.00	0.00
0.00	70.00	20.00	0.00	0.00
100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

#### Cadenas de Markov en el modelamiento de deterioro – Pavimentos Articulados

Operando la MPT (Tabla 66), con los porcentajes de pavimentos articulados clasificados por rango de condición (Tabla 24); se ensambla la cadena de matrices de deterioro de los pavimentos articulados de la muestra tomada para esta investigación, considerando el Escenario 02: Con Mantenimiento.

La cadena de matrices que se muestra en la Tabla 67, se realiza para modelar el deterioro de los pavimentos articulados en los próximos 10 años, considerando que se dispone de todo el presupuesto que se requiera para mantener el 100% de los pavimentos, sin considerar alguna panificación optimizada.

**Tabla 67.** Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Articulados, con el Escenario 02: Con Mantenimiento

<b>2020</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2020</b>
	19.52	6.51	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	19.52
	0.00	49.34	5.48	0.00	0.00	<b>C</b>	69.25
	0.00	13.41	3.83	0.00	0.00	<b>D</b>	9.31
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>FG</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	19.52	69.25	9.31	0.00	0.00		100.00
<b>2021</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2021</b>
	14.64	4.88	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	14.64
	0.00	62.33	6.93	0.00	0.00	<b>C</b>	73.73
	0.00	6.52	1.86	0.00	0.00	<b>D</b>	8.79
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>FG</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	14.64	73.73	8.79	0.00	0.00		100.00
<b>2022</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2022</b>
	10.98	3.66	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	10.98
	0.00	66.35	7.37	0.00	0.00	<b>C</b>	76.16
	0.00	6.15	1.76	0.00	0.00	<b>D</b>	9.13
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>FG</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	10.98	76.16	9.13	0.00	0.00		100.00
<b>2023</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2023</b>
	8.24	2.75	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	8.24
	0.00	68.55	7.62	0.00	0.00	<b>C</b>	77.68
	0.00	6.39	1.83	0.00	0.00	<b>D</b>	9.44
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>FG</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	8.24	77.68	9.44	0.00	0.00		100.00
<b>2024</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2024</b>
	6.18	2.06	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	6.18
	0.00	69.92	7.77	0.00	0.00	<b>C</b>	78.58
	0.00	6.61	1.89	0.00	0.00	<b>D</b>	9.66
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>FG</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	6.18	78.58	9.66	0.00	0.00		100.00
<b>2025</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2025</b>
	4.63	1.54	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	4.63
	0.00	70.73	7.86	0.00	0.00	<b>C</b>	79.03
	0.00	6.76	1.93	0.00	0.00	<b>D</b>	9.79
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>FG</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	4.63	79.03	9.79	0.00	0.00		100.00
<b>2026</b>	<b>AB</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>FG</b>	<b>ICP</b>	<b>2026</b>
	3.47	1.16	0.00	0.00	0.00	<b>AB</b>	3.47
	0.00	71.13	7.90	0.00	0.00	<b>C</b>	79.14
	0.00	6.85	1.96	0.00	0.00	<b>D</b>	9.86
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>E</b>	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>FG</b>	0.00
<b>TOTAL</b>	3.47	79.14	9.86	0.00	0.00		100.00



2027	AB	C	D	E	FG	ICP	2027
	2.61	0.87	0.00	0.00	0.00	AB	2.61
	0.00	71.22	7.91	0.00	0.00	C	79.00
	0.00	6.90	1.97	0.00	0.00	D	9.89
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	FG	0.00
<b>TOTAL</b>	2.61	79.00	9.89	0.00	0.00		100.00
2028	AB	C	D	E	FG	ICP	2028
	1.95	0.65	0.00	0.00	0.00	AB	1.95
	0.00	71.10	7.90	0.00	0.00	C	78.67
	0.00	6.92	1.98	0.00	0.00	D	9.88
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	FG	0.00
<b>TOTAL</b>	1.95	78.67	9.88	0.00	0.00		100.00
2029	AB	C	D	E	FG	ICP	2029
	1.47	0.49	0.00	0.00	0.00	AB	1.47
	0.00	70.80	7.87	0.00	0.00	C	78.20
	0.00	6.91	1.98	0.00	0.00	D	9.84
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	E	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	FG	0.00
<b>TOTAL</b>	1.47	78.20	9.84	0.00	0.00		100.00

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

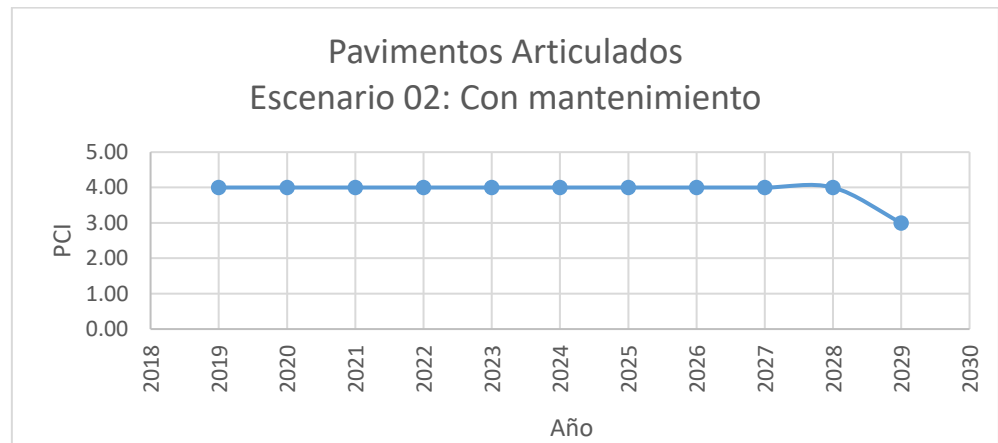
Posteriormente, se calcula el PCI anual haciendo uso de los porcentajes de pavimentos articulados obtenidos de las cadenas de matrices de deterioro (Tabla 67). El resumen de los cálculos se muestra en la Tabla 68, donde se aprecian los % de pavimentos por condición anual y el PCI anual.

**Tabla 68.** Resumen del PCI anual y del modelamiento de deterioro de los Pavimentos Articulados Con Mantenimiento.

Pavimento Articulado - Escenario 02: Con mantenimiento								
N°	Año	A	B	C	D	E	PCI	CONDICIÓN
0	2019	26.03	54.82	19.15	0.00	0.00	4.00	BUENO
1	2020	19.52	69.25	9.31	0.00	0.00	4.00	BUENO
2	2021	14.64	73.73	8.79	0.00	0.00	4.00	BUENO
3	2022	10.98	76.16	9.13	0.00	0.00	4.00	BUENO
4	2023	8.24	77.68	9.44	0.00	0.00	4.00	BUENO
5	2024	6.18	78.58	9.66	0.00	0.00	4.00	BUENO
6	2025	4.63	79.03	9.79	0.00	0.00	4.00	BUENO
7	2026	3.47	79.14	9.86	0.00	0.00	4.00	BUENO
8	2027	2.61	79.00	9.89	0.00	0.00	4.00	BUENO
9	2028	1.95	78.67	9.88	0.00	0.00	4.00	BUENO
10	2029	1.47	78.20	9.84	0.00	0.00	3.00	REGULAR

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Para un mejor análisis, los resultados de la Tabla 68 se muestran gráficamente en la Figura 30, a través de la curva de deterioro de los Pavimentos Articulados con mantenimiento pertenecientes a la muestra de investigación. De esta Figura se infiere que, durante los años 2019-2028 los pavimentos se encuentran en el rango “Bueno, y en el año 2029 los pavimentos llegan al rango “Regular”.



**Figura 30.** Curva de deterioro de los Pavimentos Articulados, Con Mantenimiento

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

### **Presupuesto anual**

Asimismo, para el cálculo del Presupuesto Anual a invertir durante 10 años, considerando el modelamiento de deterioro de los pavimentos sin Mantenimiento, se siguen las bases teóricas descritas en la presente investigación.

De esta manera, los resultados del Presupuesto Anual se muestran en la Tabla 69; de donde se infiere que, obedeciendo al Escenario 02 en que se aplicaría mantenimiento sin alguna planificación optimizada durante el periodo (2019-2029); se tendrá que, para mantener un ICP entre 4 y 3 con una condición constante entre “Muy Bueno” y “Bueno”, el presupuesto de inversión durante los 10 años asciende a S/. 177,480.74

**Tabla 69.** Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Articulado con Mantenimiento (2019 – 2029)

PRESUPUESTO CON MANTENIMIENTO - PAVIMENTO ARTICULADOS											
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
PCI	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00
<b>AB</b>	3,898.38	2,923.78	2,192.84	1,644.63	1,233.47	925.10	693.83	520.37	390.28	292.71	219.53
<b>C</b>	9,364.16	11,829.20	12,593.39	13,010.02	13,269.62	13,423.38	13,499.49	13,517.94	13,493.59	13,437.58	13,358.24
<b>D</b>	3,630.32	1,765.23	1,665.76	1,730.68	1,789.89	1,830.54	1,855.74	1,869.22	1,873.97	1,872.21	1,865.65
<b>E</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>FG</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>16,892.86</b>	<b>16,518.22</b>	<b>16,452.00</b>	<b>16,385.32</b>	<b>16,292.98</b>	<b>16,179.03</b>	<b>16,049.05</b>	<b>15,907.53</b>	<b>15,757.83</b>	<b>15,602.50</b>	<b>15,443.42</b>
											<b>Sl. 177,480.74</b>

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.





### 3.5.5. Sub sistema de Optimización

En este subsistema, se busca obtener el valor más alto posible del PCI anual, haciendo una inversión mínima disponible. Es decir, conseguir como resultado el mayor porcentaje de pavimentos con una condición aceptable, haciendo una inversión económica optimizada en la aplicación de estrategias de mantenimiento.

De esta manera, para optimizar el SGCOPU se plantea la programación lineal mencionada en el marco teórico, que posee los siguientes elementos:

- La función objetivo a maximizar será el PCI anual.
- Las variables de decisión serán los “Porcentajes de Pavimentos Con Mantenimiento” (%CM) y los “Porcentajes de Pavimentos Sin Mantenimiento” (%SM).
- Las restricciones serán que: los porcentajes de pavimentos %CM y %SM sumen 100%; el valor de %SM sea mayor o igual que 0 y menor o igual que 100; y que el costo de mantenimiento anual sea menor al presupuesto disponible anual.

Para tal fin, se utilizan los valores que fueron calculados en los subsistemas anteriores, tales como:

- La condición actual del pavimento (PCI anual) y los porcentajes de los pavimentos por cada rango. (Apartado 3.5.2)
- Los costos de mantenimiento por m<sup>2</sup> para cada uno de los rangos de PCI o ICP (Apartado 3.5.3)
- La Matriz de Probabilidad de Transición de deterioro, en el Escenario 01: Sin Mantenimiento y en el Escenario 02: Con Mantenimiento (Apartado 3.5.4).
- El presupuesto disponible para el mantenimiento de los pavimentos (Apartado 3.5.3).

Por lo tanto en la presente tesis, para dar solución al problema de programación lineal planteado, se utilizará la herramienta Solver que es un complemento de Ms Excel que hace uso del método Simplex.



### **3.5.5.1.1. Pavimento mixto - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.**

El objetivo de este subsistema es obtener el presupuesto anual optimizado a invertir en conservación de pavimentos en un periodo de 10 años (2019-2029).

Por lo tanto, se requiere obtener el PCI anual máximo, con los porcentajes de pavimentos mixtos priorizados que se podrán mantener (%CM) con el presupuesto disponible anual y los pavimentos mixtos que no se pudieron mantener (%SM) y quedan destinados para el próximo año.

Para obtener los valores de %CM y %SM, se debe realizar el modelamiento probabilístico de deterioro, a través del ensamblaje de la cadena de matrices de Markov.

El Modelamiento probabilístico de deterioro de los pavimentos mixtos, se realizará operando los porcentajes actuales de los pavimentos mixtos clasificados por rango de condición (Tabla 20); con las Matrices de Probabilidad de Transición de deterioro pavimentos mixtos con mantenimiento y sin mantenimiento, que fueron comprobadas en el “Apartado 3.5.4.1”.

Finalmente, para obtener el PCI anual máximo, se hace uso de la herramienta Solver, ingresando la celda objetivo, las celdas que indican las variables de decisión, y las restricciones respectivas a la función objetivo. De esta manera, la cadena de matrices de transición de deterioro de pavimentos mixtos, se muestra en la Tabla 70; el resumen del % de los pavimentos con mantenimiento (%CM) y sin mantenimiento (%SM), se muestra en la Tabla 71; y el resumen del PCI optimizado se muestra en la Tabla 72.

Tabla 70. Cadena de Matriz de deterioro de los Pavimentos Mixtos, con el Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado

%PAV	CM	SM	CON MANTENIMIENTO												SIN MANTENIMIENTO												% PAV OPTIMIZADOS						PCI OPTIMIZADO						
			MPT (Con Mantenimiento)						% Pav Con Mantenimiento						MPT (Sin Mantenimiento)						% Pav. Sin Mantenimiento						%CM	%SM	%Pav	PCI									
			2019	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	2019	A	B	C	D	E	F	G	2019					A	B	C	D	E	F	G	2019	2020
6.62	0.0	100.0	0.00	75	25	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.32	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.62	18.47	4.32	6.62	22.79	6.12	21.08							
31.83	0.0	100.0	0.00	90	10	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.17	8.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.83	0.00	25.47	31.83	25.47	24.67	19.74						
29.33	0.0	100.0	0.00	70	20	10	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.71	9.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.33	0.00	28.36	29.33	28.36	18.33	17.73						
16.46	100.0	0.0	16.46	100	0	0	0	0	16.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.46	0.00	0.00	9.63	16.46	9.63	7.82	4.57						
7.88	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.44	2.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.88	0.00	5.44	7.88	5.44	2.56	1.77							
7.88	25.6	74.4	2.01	100	0	0	0	0	2.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.95	0.92	0.00	0.00	0.00	2.01	5.87	0.00	7.39	7.88	7.39	1.38	1.29						
0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	18.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.32	25.47	28.36	9.63	5.44	7.39	0.92	0.00	18.47	81.53	18.47	81.53	0.00	0.92	0.00	0.05						
									100.00																	100.00								66.23					
2020	CM	SM	2020	A	B	C	D	E	F	G	2020	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	2020	A	B	C	D	E	F	G	2020	2021	2020	2021	2020	2021
22.79	0.0	100.0	0.00	75	25	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.87	7.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.79	16.07	14.87	22.79	30.94	21.08	28.62						
25.47	0.0	100.0	0.00	90	10	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.54	6.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.47	0.00	26.46	25.47	26.46	19.74	20.51						
28.36	0.0	100.0	0.00	70	20	10	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.06	9.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.36	0.00	25.98	28.36	25.98	17.73	16.24						
9.63	100.0	0.0	9.63	100	0	0	0	0	9.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.63	0.00	0.00	9.31	9.63	9.31	4.57	4.42						
5.44	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.75	1.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.44	0.00	3.75	5.44	3.75	1.77	1.22						
7.39	87.2	12.8	6.45	100	0	0	0	0	6.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.15	0.00	0.00	6.45	0.94	0.00	2.48	7.39	2.48	1.29	0.43						
0.92	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	16.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.87	26.46	25.98	9.31	3.75	2.48	1.07	0.00	16.07	83.93	16.07	83.93	0.00	0.92	1.07	0.05					
									100.00																		100.00								66.23	71.50			
2021	CM	SM	2021	A	B	C	D	E	F	G	2021	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	2021	A	B	C	D	E	F	G	2021	2022	2021	2022	2021	2022
30.94	0.0	100.0	0.00	75	25	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.19	10.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.94	15.63	20.19	30.94	35.82	28.62	33.14						
26.46	0.0	100.0	0.00	90	10	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.26	7.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.46	0.00	30.02	26.46	30.02	20.51	23.26						
25.98	0.0	100.0	0.00	70	20	10	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.46	8.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.98	0.00	24.65	25.98	24.65	16.24	15.41						
9.31	100.0	0.0	9.31	100	0	0	0	0	9.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.31	0.00	0.00	8.53	9.31	8.53	4.42	4.05						
3.75	73.8	26.2	2.77	100	0	0	0	0	2.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.30	0.00	0.00	0.00	2.77	0.98	0.00	0.68	3.75	0.68	1.22	0.22						
2.48	100.0	0.0	2.48	100	0	0	0	0	2.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.48	0.00	0.30	2.48	0.30	0.43	0.05							
1.07	100.0	0.0	1.07	100	0	0	0	0	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07	0.00	0.00	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
									15.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.19	30.02	24.65	8.53	0.68	0.30	0.00	0.00	15.63	84.37	15.63	84.37	0.00	1.07	0.00	0.00	71.50	76.13			
									100.00																		100.00												
2022	CM	SM	2022	A	B	C	D	E	F	G	2022	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	2022	A	B	C	D	E	F	G	2022	2023	2022	2023	2022	2023
35.82	0.0	100.0	0.00	75	25	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.38	12.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.82	9.51	23.38	35.82	32.88	33.14	30.42						
30.02	0.0	100.0	0.00	90	10	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.85	8.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.02	0.00	34.30	30.02	50.80	23.26	39.37						
24.65	95.6	4.4	23.56	70	20	10	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.50	4.72	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.56	1.08	4.72	8.89	13.60	15.41	8.50						
8.53	100.0	0.0	8.53	100	0	0	0	0	8.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.53	0.00	2.36	0.35	8.53	2.71	4.05	1.29						
0.68	100.0	0.0	0.68	100	0	0	0	0	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00						
0.30	100.0	0.0	0.30	100	0	0	0	0	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
									9.51	16.50	4.72	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.38	34.30	8.89	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	33.08	66.92	33.08	66.92	0.00	0.00	0.00	0.00	76.13	79.58			
									100.00																		100.00												



2023	CM	SM	2023	A	B	C	D	E	F	G	2023	A	B	C	D	E	F	G	2023	2024	2023	2024	2023	2024
A	32.88	0.0	100.0	0.00	75	25	0	0	0	0	0.00	32.88	65	35	0	0	0	0	0.00	32.88	2.71	21.46	32.88	24.17
B	50.80	64.9	35.1	0.00	90	10	0	0	0	0	0.00	17.82	73	27	0	0	0	0	32.98	17.82	39.20	24.40	50.80	63.60
C	13.60	100.0	0.0	0.00	70	20	10	0	0	0	0.00	9.52	67	33	0	0	0	0	13.60	0.00	6.02	4.85	13.60	10.87
D	2.71	100.0	0.0	2.71	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	49	51	0	0	2.71	0.00	1.36	0.00	2.71	1.36
E	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	69	31	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	84	16	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
G	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	100	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				2.71	39.20	6.02	1.36	0.00	0.00	0.00		21.46	24.40	4.85	0.00	0.00	0.00	0.00	49.29	50.71	49.29	50.71	79.58	79.09
											-100.00								-100.00					

2024	CM	SM	2024	A	B	C	D	E	F	G	2024	A	B	C	D	E	F	G	2024	2025	2024	2025	2024	2025
A	24.17	0.0	100.0	0.00	75	25	0	0	0	0	0.00	24.17	65	35	0	0	0	0	0.00	24.17	1.36	15.77	24.17	17.13
B	63.60	63.1	36.9	0.00	90	10	0	0	0	0	0.00	36.11	4.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.12	23.49	43.71	25.50	63.60	69.21
C	10.87	100.0	0.0	0.00	70	20	10	0	0	0	0.00	7.61	2.17	1.09	0.00	0.00	0.00	0.00	10.87	0.00	6.19	6.39	10.87	12.57
D	1.36	100.0	0.0	1.36	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	49	51	0	0	1.36	0.00	1.09	0.00	1.36	1.09
E	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	69	31	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	84	16	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
G	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	100	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				1.36	43.71	6.19	1.09	0.00	0.00	0.00		15.77	25.50	6.39	0.00	0.00	0.00	0.00	52.34	47.66	52.34	47.66	79.09	77.86
											-100.00								-100.00					

2025	CM	SM	2025	A	B	C	D	E	F	G	2025	A	B	C	D	E	F	G	2025	2026	2025	2026	2025	2026
A	17.13	0.0	100.0	0.00	75	25	0	0	0	0	0.00	17.13	65	35	0	0	0	0	0.00	17.13	1.09	11.18	17.13	12.27
B	69.21	56.2	43.8	0.00	90	10	0	0	0	0	0.00	35.02	3.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.91	30.30	43.82	28.01	69.21	71.83
C	12.57	100.0	0.0	0.00	70	20	10	0	0	0	0.00	8.80	2.51	1.26	0.00	0.00	0.00	0.00	12.57	0.00	6.41	8.24	12.57	14.65
D	1.09	100.0	0.0	1.09	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	49	51	0	0	1.09	0.00	1.26	0.00	1.09	1.26
E	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	69	31	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	84	16	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
G	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	100	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				1.09	43.82	6.41	1.26	0.00	0.00	0.00		11.18	28.01	8.24	0.00	0.00	0.00	0.00	52.57	47.43	52.57	47.43	77.86	76.77
											-100.00								-100.00					

2026	CM	SM	2026	A	B	C	D	E	F	G	2026	A	B	C	D	E	F	G	2026	2027	2026	2027	2026	2027
A	12.27	0.0	100.0	0.00	75	25	0	0	0	0	0.00	12.27	65	35	0	0	0	0	0.00	12.27	1.26	8.00	12.27	9.26
B	71.83	50.1	49.9	0.00	90	10	0	0	0	0	0.00	32.38	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.98	35.85	42.63	30.36	71.83	73.00
C	14.65	100.0	0.0	0.00	70	20	10	0	0	0	0.00	10.25	2.93	1.46	0.00	0.00	0.00	0.00	14.65	0.00	6.53	9.75	14.65	16.28
D	1.26	100.0	0.0	1.26	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	49	51	0	0	1.26	0.00	1.46	0.00	1.26	1.46
E	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	69	31	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	84	16	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
G	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	100	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
				1.26	42.63	6.53	1.46	0.00	0.00	0.00		8.00	30.36	9.75	0.00	0.00	0.00	0.00	51.88	48.12	51.88	48.12	76.77	76.01
											-100.00								-100.00					



2027	CM	SM	2027	A	B	C	D	E	F	G	2027	A	B	C	D	E	F	G	2027	2028	2027	2028	2027	2028	2027	2028											
A	9.26	0.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.04	3.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.26	1.46	6.04	9.26	7.51	8.57	6.94								
B	73.00	45.8	54.2	0.00	30.11	3.35	0.00	0.00	0.00	0.00	39.54	0	73	27	0	0	0	0	0.00	28.78	10.75	0.00	0.00	33.46	39.54	41.51	32.00	73.51	56.57	56.97							
C	16.28	100.0	0.0	0.00	11.40	3.26	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0	67	33	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	16.28	0.00	6.60	10.75	16.28	17.36	10.17	10.85							
D	1.46	100.0	0.0	1.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	49	51	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	1.46	0.00	1.63	0.00	1.46	1.63	0.70	0.77							
E	0.00	0.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	69	31	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00						
F	0.00	0.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	84	16	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
G	0.00	0.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	100	0	6.04	32.00	10.75	0.00	0.00	51.20	48.80	51.20	48.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.01	75.53			
				1.46	41.51	6.60	1.63	0.00	0.00	0.00		6.04	32.00	10.75	0.00	0.00	0.00	0.00					51.20	48.80	51.20	48.80											
																							100.00		100.00												
2028	CM	SM	2028	A	B	C	D	E	F	G	2028	A	B	C	D	E	F	G	2028	2029	2028	2029	2028	2029	2028	2029	2028	2029	2028	2029	2028	2029					
A	7.51	0.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.51	65	35	0	0	0	0	0	4.90	2.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.94	6.04	
B	73.51	43.2	56.8	0.00	28.55	3.17	0.00	0.00	0.00	0.00	41.79	0	73	27	0	0	0	0	0.00	30.42	11.37	0.00	0.00	31.72	41.79	40.70	33.03	73.51	73.73	56.97	57.14	56.97	57.14	56.97	57.14		
C	17.36	100.0	0.0	0.00	12.15	3.47	1.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0	67	33	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	17.36	0.00	6.64	11.37	17.36	18.01	10.85	11.26	10.85	11.26	10.85	11.26	10.85	11.26	
D	1.63	100.0	0.0	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	49	51	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	1.63	0.00	1.74	0.00	1.63	1.74	0.77	0.82	0.77	0.82	0.77	0.82			
E	0.00	0.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	69	31	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
F	0.00	0.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	84	16	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
G	0.00	0.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	100	0	4.90	33.03	11.37	0.00	0.00	50.70	49.30	50.70	49.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
				1.63	40.70	6.64	1.74	0.00	0.00	0.00		4.90	33.03	11.37	0.00	0.00	0.00	0.00					50.70	49.30	50.70	49.30											
																							100.00		100.00												
2029	CM	SM	2029	A	B	C	D	E	F	G	2029	A	B	C	D	E	F	G	2029	2030	2029	2030	2029	2030	2029	2030	2029	2030	2029	2030	2029	2030	2029	2030			
A	6.53	0.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.53	65	35	0	0	0	0	0	4.26	2.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.04	5.55	
B	73.73	41.6	58.4	0.00	27.58	3.06	0.00	0.00	0.00	0.00	43.09	0	73	27	0	0	0	0	0.00	31.37	11.72	0.00	0.00	30.64	43.09	40.18	33.64	73.73	73.82	57.14	57.21	57.14	57.21	57.14	57.21		
C	18.01	100.0	0.0	0.00	12.61	3.60	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0	67	33	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	18.01	0.00	6.67	11.72	18.01	18.39	11.26	11.49	11.26	11.49	11.26	11.49	11.26	11.49	
D	1.74	100.0	0.0	1.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	49	51	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	1.74	0.00	1.80	0.00	1.74	1.80	0.82	0.86	0.82	0.86	0.82	0.86			
E	0.00	0.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	69	31	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
F	0.00	0.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	84	16	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
G	0.00	0.0	100.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	100	0	4.26	33.64	11.72	0.00	0.00	50.38	49.62	50.38	49.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
				1.74	40.18	6.67	1.80	0.00	0.00	0.00		4.26	33.64	11.72	0.00	0.00	0.00	0.00					50.38	49.62	50.38	49.62											
																							100.00		100.00												

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 71.** Porcentajes de pavimentos Mixtos con mantenimiento y sin mantenimiento - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.

AÑO	Porcentajes de pavimentos Mixtos con mantenimiento y sin mantenimiento - Escenario 03																							
	2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027		2028		2029			
	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM		
A	0.00	6.62	18.47	4.32	16.07	14.87	15.63	20.19	9.51	23.38	2.71	21.46	1.36	15.77	1.09	11.18	1.26	8.00	1.46	6.04	1.63	4.90		
B	0.00	31.83	0.00	25.47	0.00	26.46	0.00	30.02	16.50	34.30	39.20	24.40	43.71	25.50	43.82	28.01	42.63	30.36	41.51	32.00	40.70	33.03		
C	0.00	29.33	0.00	28.36	0.00	25.98	0.00	24.65	4.72	8.89	6.02	4.85	6.19	6.39	6.41	8.24	6.53	9.75	6.60	10.75	6.64	11.37		
D	16.46	0.00	0.00	9.63	0.00	9.31	0.00	8.53	2.36	0.35	1.36	0.00	1.09	0.00	1.26	0.00	1.46	0.00	1.63	0.00	1.74	0.00		
E	0.00	7.88	0.00	5.44	0.00	3.75	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
F	2.01	5.87	0.00	7.39	0.00	2.48	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
G	0.00	0.00	0.00	0.92	0.00	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
<b>PARCIAL</b>	18.47	81.53	18.47	81.53	16.07	83.93	15.63	84.37	33.08	66.92	49.29	50.71	52.34	47.66	52.57	47.43	51.88	48.12	51.20	48.80	50.70	49.30		
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>		

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 72.** Resumen de Modelamiento de deterioro de pavimentos Mixtos - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.

N°	Año	Pavimentos Mixtos - Escenario 03: Con mantenimiento Optimizado										PCI	CONDICIÓN
		A	B	C	D	E	F	G					
0	2019	6.62	31.83	29.33	16.46	7.88	7.88	0.00	61.00	BUENO			
1	2020	22.79	25.47	28.36	9.63	5.44	7.39	0.92	66.23	BUENO			
2	2021	30.94	26.46	25.98	9.31	3.75	2.48	1.07	71.50	MUY BUENO			
3	2022	35.82	30.02	24.65	8.53	0.68	0.30	0.00	76.13	MUY BUENO			
4	2023	32.88	50.80	13.60	2.71	0.00	0.00	0.00	79.58	MUY BUENO			
5	2024	24.17	63.60	10.87	1.36	0.00	0.00	0.00	79.09	MUY BUENO			
6	2025	17.13	69.21	12.57	1.09	0.00	0.00	0.00	77.86	MUY BUENO			
7	2026	12.27	71.83	14.65	1.26	0.00	0.00	0.00	76.77	MUY BUENO			
8	2027	9.26	73.00	16.28	1.46	0.00	0.00	0.00	76.01	MUY BUENO			
9	2028	7.51	73.51	17.36	1.63	0.00	0.00	0.00	75.53	MUY BUENO			
10	2029	6.53	73.73	18.01	1.74	0.00	0.00	0.00	75.26	MUY BUENO			

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



### *Presupuesto anual*

Con fines de esta investigación, con el objetivo de corroborar o refutar la hipótesis formulada, se realiza el análisis de la comparación de la inversión a realizar en cada uno de los escenarios planteados para un periodo de 10 años.

Por lo tanto, es necesario calcular el Presupuesto Anual resultante de la aplicación del “Escenario 03” en los pavimentos mixtos.

Asimismo, para el cálculo del Presupuesto Anual a invertir en el modelamiento de deterioro de los pavimentos sin Mantenimiento, se siguen las bases teóricas descritas en el Marco Teórico.

De esta manera, los resultados del Presupuesto Anual se muestran en la Tabla 73. De donde se infiere que, al aplicar un mantenimiento optimizado de manera oportuna, en los años 2021 al 2029 el pavimento mixto mantendrá una condición de “Muy Bueno”, condición que amerita invertir por un periodo de 10 años, un presupuesto total que asciende a S/. 718,250.92

**Tabla 73.** Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Mixtos Con Mantenimiento Optimizado (2019 – 2029)

<b>PRESUPUESTO CON MANTENIMIENTO CON OPTIMIZACIÓN – PAVIMENTO MIXTOS</b>											
<b>Año</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>
PCI	61.00	66.23	71.50	76.13	79.58	79.09	77.86	76.77	76.01	75.53	75.26
<b>A</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>B</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	37,891.44	46,093.69	44,704.11	41,336.44	38,442.48	36,445.32	35,203.71
<b>C</b>	0.00	0.00	0.00	31,810.31	18,355.21	14,661.79	16,964.91	19,762.93	21,964.81	23,417.35	24,299.68
<b>D</b>	54,932.89	32,124.91	31,063.79	28,457.00	9,048.89	4,540.06	3,626.51	4,196.17	4,888.25	5,432.87	5,792.15
<b>E</b>	0.00	0.00	14,167.81	3,462.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>F</b>	10,362.65	33,170.62	12,776.53	1,566.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>G</b>	0.00	0.00	7,287.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>65,295.54</b>	<b>65,295.54</b>	<b>65,295.54</b>	<b>65,295.54</b>	<b>65,295.54</b>	<b>65,295.54</b>	<b>65,295.54</b>	<b>65,295.54</b>	<b>65,295.54</b>	<b>65,295.54</b>	<b>65,295.54</b>

S/. 718,250.92

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.





### 3.5.5.1.2. Pavimento Rígido - Escenario 03: Con Mantenimiento

#### Optimizado.

El objetivo de este subsistema es obtener el presupuesto anual optimizado a invertir en conservación de pavimentos en un periodo de 10 años (2019-2029).

Por lo tanto, se requiere obtener el PCI anual máximo, con los porcentajes de pavimentos rígidos priorizados que se podrán mantener (%CM) con el presupuesto disponible anual y los pavimentos rígidos que no se pudieron mantener (%SM) y quedan destinados para el próximo año.

Para obtener los valores de %CM y %SM, se debe realizar el modelamiento probabilístico de deterioro, a través del ensamblaje de la cadena de matrices de Markov.

El Modelamiento probabilístico de deterioro, se realizará operando los porcentajes actuales de los pavimentos rígidos clasificados por rango de condición (Tabla 22); con las Matrices de Probabilidad de Transición de deterioro pavimentos rígidos con mantenimiento y sin mantenimiento, que fueron comprobadas en el “Apartado 3.5.4.2”.

Finalmente, para obtener el PCI anual máximo, se hace uso de la herramienta Solver, ingresando la celda objetivo, las celdas que indican las variables de decisión, y las restricciones respectivas a la función objetivo. De esta manera, la cadena de matrices de transición de deterioro de pavimentos rígidos, se muestra en la Tabla 74; el resumen del % de los pavimentos con mantenimiento (%CM) y sin mantenimiento (%SM), se muestra en la Tabla 75; y el resumen del PCI optimizado se muestra en la Tabla 76.





2022	CM	SM	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	2022	2023	2022	2023	PCI prom	2022	2023									
A	46.16	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.16	14.54	40.47	46.16	55.01	92.5	42.70	50.88							
B	17.05	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.05	17.05	0.0	17.05	19.66	77.5	13.21	15.23							
C	12.54	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.54	12.54	0.0	12.54	12.65	62.5	7.84	7.91							
D	3.03	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.03	3.03	0.0	3.03	2.98	47.5	1.44	1.41							
E	7.99	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.99	7.99	0.0	7.99	5.76	32.5	2.60	1.87							
F	3.09	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.09	3.09	0.0	3.09	2.23	17.5	0.54	0.39							
G	10.13	83.0	17.0	8.41	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.72	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.41	10.13	1.72	10.13	1.72	5	0.51	0.09							
																	40.47	19.66	12.65	2.98	5.76	2.23	1.72	14.54	85.46	14.54	85.46			2023	68.84	77.78
																	100.00	100.00														

2023	CM	SM	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	2023	2024	2023	2024	PCI prom	2023	2024									
A	55.01	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.01	55.01	60.92	55.01	60.92	92.5	50.88	56.35							
B	19.66	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.66	19.66	28.91	19.66	28.91	77.5	15.23	22.40							
C	12.65	68.1	31.9	8.61	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.61	12.65	8.36	12.65	8.36	62.5	7.91	5.22							
D	2.98	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.98	2.98	1.82	2.98	1.82	47.5	1.41	0.86							
E	5.76	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.76	5.76	0.0	5.76	0.0	32.5	1.87	0.0							
F	2.23	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.23	2.23	0.0	2.23	0.0	17.5	0.39	0.0							
G	1.72	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.72	1.72	0.0	1.72	0.0	5	0.09	0.0							
																	48.23	22.88	6.63	0.96	0.00	0.00	0.00	21.30	78.70	21.30	78.70			2024	77.78	84.84
																	100.00	100.00														

2024	CM	SM	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	2024	2025	2024	2025	PCI prom	2024	2025										
A	60.92	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.92	60.92	56.64	60.92	56.64	92.5	56.35	52.40								
B	28.91	28.5	71.5	8.24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.67	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.24	28.91	35.46	28.91	35.46	77.5	22.40	27.48								
C	8.36	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.36	8.36	7.06	8.36	7.06	62.5	5.22	4.41								
D	1.82	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.82	1.82	0.84	1.82	0.84	47.5	0.86	0.40								
E	0.00	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.5	0.00	0.00								
F	0.00	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	0.00	0.00								
G	0.00	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5	0.00	0.00								
																	79.33	20.67	3.74	0.00	0.00	0.00	0.00	79.33	20.67	3.74	0.00	0.00			2025	84.84	84.89
																	100.00	100.00															

2025	CM	SM	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	2025	2026	2025	2026	PCI prom	2025	2026										
A	56.64	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.64	56.64	51.82	56.64	51.82	92.5	52.40	47.93								
B	35.46	38.9	61.1	13.79	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.68	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.79	35.46	39.39	35.46	39.39	77.5	27.48	30.53								
C	7.06	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.06	7.06	8.09	7.06	8.09	62.5	4.41	5.05								
D	0.84	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.84	0.84	0.71	0.84	0.71	47.5	0.40	0.34								
E	0.00	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.5	0.00	0.00								
F	0.00	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	0.00	0.00								
G	0.00	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5	0.00	0.00								
																	78.32	21.68	3.92	0.00	0.00	0.00	0.00	78.32	21.68	3.92	0.00	0.00			2026	84.69	83.85
																	100.00	100.00															



**Tabla 75.** Porcentajes de pavimentos Rígidos con mantenimiento y sin mantenimiento - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.

Porcentajes de pavimentos Rígidos con mantenimiento y sin mantenimiento - Escenario 03																						
AÑO	2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027		2028		2029	
	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM
A	0.00	0.00	23.53	0.00	15.20	20.63	14.75	31.42	14.54	40.47	12.68	48.23	56.64	0.00	51.82	0.00	47.34	0.00	43.41	0.00	39.98	0.00
B	0.00	18.67	0.00	15.29	0.00	15.43	0.00	17.05	0.00	19.66	6.03	22.88	18.53	16.93	21.63	17.76	22.76	20.07	23.52	22.32	24.18	24.30
C	0.00	12.80	0.00	13.14	0.00	12.79	0.00	12.54	0.00	12.65	1.72	6.63	3.32	3.74	4.17	3.92	4.60	4.43	4.92	4.93	5.20	5.36
D	16.80	0.00	0.00	3.04	0.00	3.12	0.00	3.03	0.00	2.98	0.86	0.96	0.84	0.00	0.71	0.00	0.81	0.00	0.90	0.00	0.98	0.00
E	0.00	21.33	0.00	15.37	0.00	11.08	0.00	7.99	0.00	5.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	6.73	2.60	0.00	8.11	0.00	4.29	0.00	3.09	0.00	2.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
G	0.00	21.07	0.00	21.52	0.00	17.47	0.00	10.13	0.00	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>PARCIAL</b>	23.53	76.47	23.53	76.47	15.20	84.80	14.75	85.25	14.54	85.46	21.30	78.70	79.33	20.67	78.32	21.68	75.50	24.50	72.75	27.25	70.34	29.66
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 76.** Resumen de Modelamiento de deterioro de pavimentos Rígidos - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.

Pavimentos Rígidos - Escenario 03: Con mantenimiento Optimizado										
N°	Año	A	B	C	D	E	F	G	PCI	CONDICIÓN
0	2019	0.00	18.67	12.80	16.80	21.33	9.33	21.07	40.00	POBRE
1	2020	23.53	15.29	13.14	3.04	15.37	8.11	21.52	50.76	REGULAR
2	2021	35.83	15.43	12.79	3.12	11.08	4.29	17.47	59.80	BUENO
3	2022	46.16	17.05	12.54	3.03	7.99	3.09	10.13	68.84	BUENO
4	2023	55.01	19.66	12.65	2.98	5.76	2.23	1.72	77.78	MUY BUENO
5	2024	60.92	28.91	8.36	1.82	0.00	0.00	0.00	84.84	MUY BUENO
6	2025	56.64	35.46	7.06	0.84	0.00	0.00	0.00	84.69	MUY BUENO
7	2026	51.82	39.39	8.09	0.71	0.00	0.00	0.00	83.85	MUY BUENO
8	2027	47.34	42.83	9.03	0.81	0.00	0.00	0.00	83.00	MUY BUENO
9	2028	43.41	45.84	9.85	0.90	0.00	0.00	0.00	82.26	MUY BUENO
10	2029	39.98	48.47	10.57	0.98	0.00	0.00	0.00	81.62	MUY BUENO

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



### *Presupuesto anual*

Con fines de esta investigación, con el objetivo de corroborar o refutar la hipótesis formulada, se realiza el análisis de la comparación de la inversión a realizar en cada uno de los escenarios planteados para un periodo de 10 años.

Por lo tanto, es necesario calcular el Presupuesto Anual resultante de la aplicación del “Escenario 03” en los pavimentos rígidos.

Asimismo, para el cálculo del Presupuesto Anual a invertir en el modelamiento de deterioro de los pavimentos sin Mantenimiento, se siguen las bases teóricas descritas en el Marco Teórico.

De esta manera, los resultados del Presupuesto Anual se muestran en la Tabla 77. De donde se infiere que, al aplicar un mantenimiento optimizado de manera oportuna, en los años 2023 al 2029 el pavimento rígido mantendrá una condición de “Muy Bueno”, que amerita invertir por un periodo de 10 años, un presupuesto total que asciende a S/. 2,195,914.22.

**Tabla 77.** Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Rígidos Con Mantenimiento Optimizado (2019 – 2029)

<b>PRESUPUESTO CON MANTENIMIENTO CON OPTIMIZACIÓN – PAVIMENTO RÍGIDOS</b>											
<b>Año</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>
<b>PCI</b>	40.00	50.76	59.80	68.84	77.78	84.84	84.69	83.85	83.00	82.26	81.62
<b>A</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	112,375.06	104,493.24	95,585.44	87,328.54	80,087.68	73,743.87
<b>B</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31,137.41	52,106.28	56,289.88	58,877.80	61,129.59	63,102.27
<b>C</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	46,179.44	44,805.79	37,833.35	43,366.07	48,393.48	52,799.57	56,659.77
<b>D</b>	104,456.30	18,877.74	19,377.37	18,858.57	18,498.58	11,310.31	5,195.69	4,387.17	5,028.74	5,611.72	6,122.65
<b>E</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	75,341.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>F</b>	95,172.26	114,635.50	60,733.23	43,770.44	31,545.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>G</b>	0.00	66,115.32	119,517.97	136,999.56	28,064.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	199,628.57	199,628.57	199,628.57	199,628.57	199,628.57	199,628.57	199,628.57	199,628.57	199,628.57	199,628.57	199,628.57

S/. 2,195,914.22

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



### **3.5.5.1.3. Pavimento Articulado - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.**

El objetivo de este subsistema es obtener el presupuesto anual optimizado a invertir en conservación de pavimentos en un periodo de 10 años (2019-2029).

Por lo tanto, se requiere obtener el ICP anual máximo, con los porcentajes de pavimentos articulados priorizados que se podrán mantener (%CM) con el presupuesto disponible anual y los pavimentos articulados que no se pudieron mantener (%SM) y quedan destinados para el próximo año.

Para obtener los valores de %CM y %SM, se debe realizar el modelamiento probabilístico de deterioro, a través del ensamblaje de la cadena de matrices de Markov.

El Modelamiento probabilístico de deterioro de los pavimentos articulados, se realizará operando los porcentajes actuales de los pavimentos articulados clasificados por rango de condición (Tabla 20); con las Matrices de Probabilidad de Transición de deterioro pavimentos articulados con mantenimiento y sin mantenimiento, que fueron comprobadas en el “Apartado 3.5.4.3”.

Finalmente, para obtener el ICP anual máximo, se hace uso de la herramienta Solver, ingresando la celda objetivo, las celdas que indican las variables de decisión, y las restricciones respectivas a la función objetivo. De esta manera, la cadena de matrices de transición de deterioro de pavimentos articulados, se muestra en la Tabla 78; y el resumen del % de los pavimentos con mantenimiento (%CM) y sin mantenimiento (%SM), se muestra en la Tabla 79; y el resumen del ICP optimizado se muestra en la Tabla 80.









2027	CM	SM	2027	AB	C	D	E	FG	2027	AB	C	D	E	FG	2027	AB	C	D	E	FG	2027	2028	2027	2028	2027	2028	PCI	2027	2028	2028	PCI	2027	2028
AB	24.52	0.0	100.0	0.00	75	25	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.40	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.52	0.96	23.40	24.52	24.36	5.00	1.23	1.22			
C	64.89	27.6	72.4	17.91	0	90	10	0	0.00	16.12	1.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.05	5.93	0.00	0.00	0.00	17.91	46.99	22.85	42.17	64.89	65.03	4.00	2.60	2.60			
D	9.63	100.0	0.0	9.63	0	70	20	10	0.00	6.74	1.93	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.63	0.00	3.72	5.93	9.63	9.65	3.00	0.29	0.29			
E	0.96	100.0	0.0	0.96	100	0	0	0	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	0.96	0.00	0.96	0.96	2.00	0.02	0.02			
FG	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00			
				0.96	22.85	3.72	0.96	0.00								23.40	42.17	5.93	0.00	0.00	0.00	28.49	71.51	28.49	71.51			2028	4.13	4.13			
																100.00						100.00											

2028	CM	SM	2028	AB	C	D	E	FG	2028	AB	C	D	E	FG	2028	AB	C	D	E	FG	2028	2029	2028	2029	2028	2029	PCI	2028	2029	2029	PCI	2028	2029
AB	24.36	0.0	100.0	0.00	75	25	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.24	1.12	0.00	0.00	0.00	0.00	24.36	0.96	23.24	24.36	24.21	5.00	1.22	1.21				
C	65.03	27.5	72.5	17.87	0	90	10	0	0.00	16.08	1.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.20	5.96	0.00	0.00	0.00	17.87	47.16	22.84	42.32	65.03	65.16	4.00	2.60	2.61			
D	9.65	100.0	0.0	9.65	0	70	20	10	0.00	6.75	1.93	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.65	0.00	3.72	5.96	9.65	9.67	3.00	0.29	0.29				
E	0.96	100.0	0.0	0.96	100	0	0	0	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	0.96	0.00	0.96	0.96	2.00	0.02	0.02				
FG	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00				
				0.96	22.84	3.72	0.96	0.00								23.24	42.32	5.96	0.00	0.00	0.00	28.48	71.52	28.48	71.52			2029	4.13	4.13			
																100.00						100.00											

2029	CM	SM	2029	AB	C	D	E	FG	2029	AB	C	D	E	FG	2029	AB	C	D	E	FG	2029	2030	2029	2030	2029	2030	PCI	2029	2030	2030	PCI	2029	2030
AB	24.21	0.0	100.0	0.00	75	25	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.10	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	24.21	0.96	23.10	24.21	24.06	5.00	1.21	1.20				
C	65.16	27.4	72.6	17.84	0	90	10	0	0.00	16.05	1.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.34	5.98	0.00	0.00	0.00	17.84	47.32	22.83	42.45	65.16	65.27	4.00	2.61	2.61			
D	9.67	100.0	0.0	9.67	0	70	20	10	0.00	6.77	1.93	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.67	0.00	3.72	5.98	9.67	9.69	3.00	0.29	0.29				
E	0.96	100.0	0.0	0.96	100	0	0	0	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96	0.00	0.97	0.00	0.96	0.97	2.00	0.02	0.02				
FG	0.00	0.0	100.0	0.00	100	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00				
				0.96	22.83	3.72	0.97	0.00								23.10	42.45	5.98	0.00	0.00	0.00	28.48	71.52	28.48	71.52			2030	4.13	4.13			
																100.00						100.00											

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 79.** Porcentajes de pavimentos Articulados con mantenimiento y sin mantenimiento - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.

Porcentajes de pavimentos Articulados con mantenimiento y sin mantenimiento - Escenario 03																						
AÑO	2019		2020		2021		2022		2023		2024		2025		2026		2027		2028		2029	
	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM
<b>AB</b>	0.00	26.03	0.00	24.84	1.92	23.70	1.05	24.44	0.96	24.33	0.95	24.13	0.95	23.93	0.95	23.74	0.96	23.56	0.96	23.40	0.96	23.24
<b>C</b>	8.67	46.15	21.21	41.51	21.63	42.09	22.80	41.25	22.92	41.33	22.92	41.51	22.90	41.69	22.89	41.86	22.87	42.02	22.85	42.17	22.84	42.32
<b>D</b>	19.15	0.00	4.70	5.83	3.69	5.92	3.71	5.79	3.71	5.81	3.71	5.83	3.71	5.86	3.71	5.89	3.71	5.91	3.72	5.93	3.72	5.96
<b>E</b>	0.00	0.00	1.92	0.00	1.05	0.00	0.96	0.00	0.95	0.00	0.95	0.00	0.95	0.00	0.96	0.00	0.96	0.00	0.96	0.00	0.97	0.00
<b>FG</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>PARCIAL</b>	27.83	72.17	27.83	72.17	28.29	71.71	28.52	71.48	28.54	71.46	28.53	71.47	28.52	71.48	28.51	71.49	28.50	71.50	28.49	71.51	28.48	71.52
<b>TOTAL</b>	<b>100.00</b>		<b>100.00</b>		<b>100.00</b>		<b>100.00</b>		<b>100.00</b>		<b>100.00</b>		<b>100.00</b>		<b>100.00</b>		<b>100.00</b>		<b>100.00</b>		<b>100.00</b>	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 80.** Resumen de Modelamiento de deterioro de pavimentos Articulados - Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado.

Pavimentos Articulados – Escenario 03: Con mantenimiento Optimizado									
N°	Año	AB	C	D	E	FG	PCI	CONDICIÓN	
0	2019	26.03	54.82	19.15	0.00	0.00	4.00	BUENO	
1	2020	24.84	62.72	10.53	1.92	0.00	4.10	BUENO	
2	2021	25.61	63.72	9.61	1.05	0.00	4.14	BUENO	
3	2022	25.49	64.04	9.50	0.96	0.00	4.14	BUENO	
4	2023	25.29	64.25	9.51	0.95	0.00	4.14	BUENO	
5	2024	25.08	64.43	9.54	0.95	0.00	4.14	BUENO	
6	2025	24.88	64.59	9.57	0.95	0.00	4.13	BUENO	
7	2026	24.70	64.75	9.60	0.96	0.00	4.13	BUENO	
8	2027	24.52	64.89	9.63	0.96	0.00	4.13	BUENO	
9	2028	24.36	65.03	9.65	0.96	0.00	4.13	BUENO	
10	2029	24.21	65.16	9.67	0.96	0.00	4.13	BUENO	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



### *Presupuesto anual*

Con fines de esta investigación, con el objetivo de corroborar o refutar la hipótesis formulada, se realiza el análisis de la comparación de la inversión a realizar en cada uno de los escenarios planteados para un periodo de 10 años.

Por lo tanto, es necesario calcular el Presupuesto Anual resultante de la aplicación del “Escenario 03” en los pavimentos articulados.

Asimismo, para el cálculo del Presupuesto Anual a invertir en el modelamiento de deterioro de los pavimentos sin Mantenimiento, se siguen las bases teóricas descritas en el Marco Teórico.

De esta manera, los resultados del Presupuesto Anual se muestran en la Tabla 81. De donde se infiere que, al aplicar un mantenimiento optimizado de manera oportuna, en los años 2019 al 2029 el pavimento articulado mantendrá una condición de “Bueno”, condición que amerita invertir por un periodo de 10 años, un presupuesto total que asciende a S/. 55,838.54.

**Tabla 81.** Presupuesto Anual de conservación de los Pavimentos Articulados Con Mantenimiento Optimizado (2019 – 2029)

**PRESUPUESTO CON MANTENIMIENTO CON OPTIMIZACIÓN – PAVIMENTO ARTICULADOS**

Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
PCI	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
AB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	1,437.54	2,683.14	3,031.88	3,087.12	3,085.79	3,079.01	3,071.85	3,065.03	3,058.62	3,052.60	3,046.96
D	3,630.32	1,996.57	1,822.50	1,801.51	1,803.42	1,808.80	1,814.35	1,819.62	1,824.58	1,829.23	1,833.59
E	0.00	388.15	213.47	194.86	192.61	192.82	193.39	193.99	194.55	195.08	195.58
FG	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>5,067.86</b>	<b>5,067.86</b>	<b>5,067.86</b>	<b>5,083.49</b>	<b>5,081.82</b>	<b>5,080.63</b>	<b>5,079.59</b>	<b>5,078.64</b>	<b>5,077.75</b>	<b>5,076.91</b>	<b>5,076.13</b>
											<b>S/. 55,838.54</b>

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

### 3.5.6. Evaluación de la Serviciabilidad (PSI)

En esta investigación, además de la evaluación del PCI realizada en los anteriores apartados, se realiza el análisis de la serviciabilidad. Por tal motivo, del marco teórico según Chávez & Pañarreta (2019) se tiene una correlación entre PCI – IRI y según Hirpahuanca (2016) se tiene la correlación de Sayers IRI –PSI.

Por lo tanto, haciendo uso de las ecuaciones (19) y (20) especificadas en el marco teórico de esta investigación, en la Tabla 82 se muestra el resultado de la correlación PCI-IRI-PSI

**Tabla 82.** Correlación PCI – IRI- PSI

TIPO DE PAVIMENTO	PCI	IRI	Serviciabilidad (PSI)
<b>2019 (Actualidad)</b>			
Pavimento Mixto	61.00	3.67	2.57
Pavimento Rígido	40.00	4.30	2.29
Pavimento Articulado	4.00	-	4
<b>2029 (Escenario 02: Con Mantenimiento)</b>			
Pavimento Mixto	76.63	3.33	2.73
Pavimento Rígido	80.07	3.26	2.76
Pavimento Articulado	3.00	-	3
<b>2029 (Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado)</b>			
Pavimento Mixto	75.26	3.35	2.72
Pavimento Rígido	81.62	3.23	2.78
Pavimento Articulado	4.00	-	4

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

### 3.5.7. Respecto a la evaluación Estructural

Para el desarrollo de esta investigación, cuyo objetivo principal es el de Sistematizar la gestión de conservación de pavimentos urbanos para optimizar el ciclo de vida y serviciabilidad, no se ha visto indispensable la evaluación estructural del pavimento, puesto que se ha planteado un sistema a nivel de red, mas no a nivel de proyecto. Asimismo según Vásquez (2002), dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad, la condición superficial



del pavimento (PCI), es la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos.

Por lo tanto, la metodología del PCI al ser de fácil aplicación y no requerir de herramientas especializadas, se amolda muy bien a la zona urbana, para no disturbar el tránsito vehicular, ni las actividades de los ciudadanos.

Sin embargo, se tuvo la intención de realizar una evaluación estructural, y se ha elegido la Viga Benkelman para medir la deflexión de los pavimentos, por ser un ensayo no destructivo.

Para tal fin, se solicitó a la Municipalidad el permiso para el ingreso del camión de 8.2 Ton a las vías pertenecientes a la muestra, y así efectuar el ensayo. La respuesta a esta solicitud fue negativa, argumentando que está prohibido el ingreso de vehículos pesados a la zona; además que, por ser una zona de alto tránsito vehicular, al aceptar la solicitud, se estaría permitiendo obstaculizar o paralizar el tránsito, generando tráfico vehicular. Por lo tanto, se ha permitido solamente el ingreso al Jr Tacna en la cuadra 3, por tener mayor ancho de calzada y así no generar los inconvenientes mencionados.

De esta manera, el ensayo sólo se pudo realizar en la 3ra cuadra del Jr. Tacna. Asimismo, se efectuó utilizando la Viga Benkelman (Relación de brazo 2:1, y dial de precisión 0.002 mm), un volquete de 8,172 kg, un termómetro en escala °C, un cronómetro, un Flexómetro 5m, y un vibrador. Las lecturas se realizaron cada 20 m. Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 83.

**Tabla 83.** Resultados del ensayo de Viga Benkelman en la 3ra cuadra del Jr. Tacna.

PROG.	Temperatura	Lecturas de dial		Deflexiones	
	T° (°C)	Lo (10 <sup>-2</sup> mm)	L25(10 <sup>-2</sup> mm)	Do(10 <sup>-2</sup> mm)	D25(10 <sup>-2</sup> mm)
0+000	16.2	2.629	3.629	5.258	7.258
0+020	22.5	4.7	4.788	9.4	9.576
0+040	26.2	0.88	0.979	1.76	1.958
0+060	28.8	4.27	4.389	8.54	8.778
0+080	26.8	4.85	4.925	9.7	9.85



Por lo tanto, de acuerdo a lo detallado en párrafos anteriores, el ensayo se considera inválido, puesto que evaluar sólo una cuadra, no representa a toda la muestra de los pavimentos propuestos de esta investigación. Asimismo, se verifica que el SGCOPU continúa operando y otorga resultados para el análisis y objetivos de esta tesis, los que se describen en el CAPÍTULO IV.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Finalmente, para validar la hipótesis se realiza el análisis de la comparación entre los tres Escenarios (Sin Mantenimiento, Con Mantenimiento, Con Mantenimiento Optimizado) planteado para esta investigación.

De esta manera, se toman como indicadores: el % de optimización del ciclo de vida de los pavimentos evaluados, y el presupuesto de inversión en conservación.

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. Pavimentos Mixtos

La optimización del ciclo de vida de los pavimentos mixtos, se analiza haciendo la comparación entre el PCI anual del Escenario 01, Escenario 02 y del Escenario 03 (Tabla 84).

**Tabla 84.** Comparación del PCI anual de los pavimentos mixtos en los 3 Escenarios.

Pavement Condition Index (PCI)							
N°	Año	Escenario 01: Sin mantenimiento		Escenario 02: Con mantenimiento		Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado	
0	2019	61.00	BUENO	61.00	BUENO	61.00	BUENO
1	2020	56.02	BUENO	80.84	MUY BUENO	66.23	BUENO
2	2021	51.19	REGULAR	80.82	MUY BUENO	71.50	MUY BUENO
3	2022	46.47	REGULAR	79.77	MUY BUENO	76.13	MUY BUENO
4	2023	41.96	REGULAR	78.84	MUY BUENO	79.58	MUY BUENO
5	2024	37.70	POBRE	78.14	MUY BUENO	79.09	MUY BUENO
6	2025	33.76	POBRE	77.62	MUY BUENO	77.86	MUY BUENO
7	2026	30.15	POBRE	77.25	MUY BUENO	76.77	MUY BUENO
8	2027	26.88	POBRE	76.97	MUY BUENO	76.01	MUY BUENO
9	2028	23.96	MUY POBRE	76.77	MUY BUENO	75.53	MUY BUENO
10	2029	21.36	MUY POBRE	76.63	MUY BUENO	75.26	MUY BUENO

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

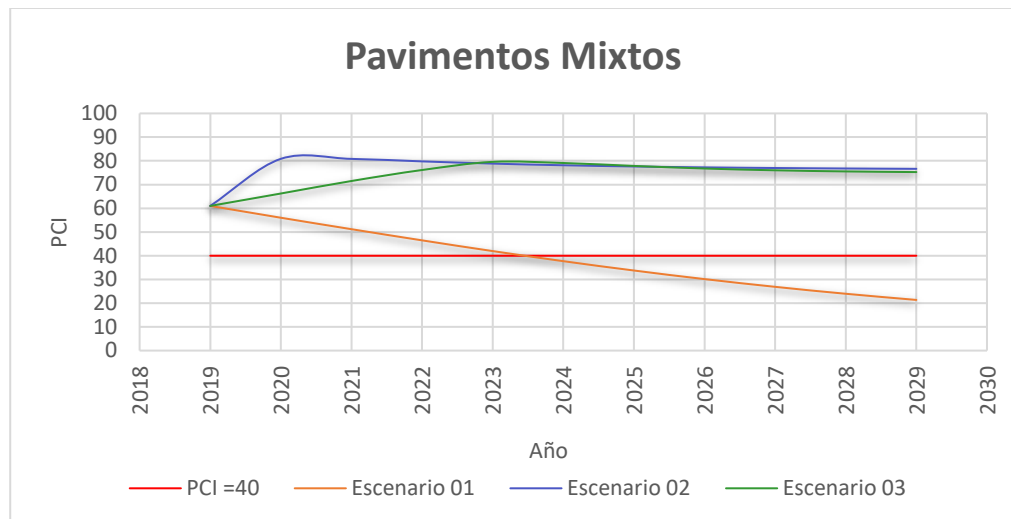


De acuerdo al *Escenario 01*, durante el horizonte de investigación (2019-2029), no se realizará ningún tipo de mantenimiento en los pavimentos mixtos evaluados, y sólo se esperará el estado “fatal” del pavimento. Por lo tanto, era de esperarse que en el año 2029 el PCI será de 21.36, que se clasifica en el rango F “Muy Pobre”.

De acuerdo al *Escenario 02*, durante el horizonte de investigación (2019-2029), se aplicará mantenimiento a los pavimentos mixtos evaluados, sin alguna planificación optimizada, y considerando que no se tiene límite en el presupuesto. Por lo tanto, desde el año 2020 el PCI se clasifica en el rango B “Muy bueno”.

De acuerdo al *Escenario 03*, durante el horizonte de investigación (2019-2029), se aplicará mantenimiento a los pavimentos mixtos evaluados, optimizando los recursos económicos disponibles, considerando un límite de presupuesto, el 30% del presupuesto total necesario para mantener los pavimentos. Por lo tanto, desde el año 2021 el PCI se clasifica en el rango B “Muy bueno”.

En la Figura 31, se observa la comparación de la curva del ciclo de vida de los pavimentos en cada uno de los Escenarios. En donde se verifica que, con el Escenario 02 y 03, el ciclo de vida de los pavimentos se prolongará; puesto que en ambos casos, desde el año 2021 se mantendrán en un rango “Muy Bueno”, brindando un buen servicio vial.



**Figura 31.** Comparación de la curva de ciclo de vida de los pavimentos mixtos en los 3 escenarios.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En resumen, de la comparación del Escenario 01 con los otros dos se infiere que, a lo largo del ciclo de vida de los pavimentos, es necesario aplicar estrategias de mantenimiento periódicamente, y no dejar que el pavimento llegue a un estado fatal. Puesto que con el Escenario 01, se observa que desde el año 2024 los pavimentos se encuentran en un rango por debajo del rango aceptable (Rango Regular). Por lo tanto, el pavimento tendrá un corto ciclo de vida, brindando una mala calidad de servicio vial, sin confort, ni seguridad.

De la comparación del Escenario 02 con el Escenario 03 se deduce que, desde el año 2021 en ambos escenarios, los pavimentos tendrán una calificación PCI en el rango “Muy Bueno”, por lo tanto, tendrán un ciclo de vida largo. La diferencia está en que, con el Escenario 03 se aplica estrategias de mantenimiento de manera oportuna, optimizando el presupuesto disponible, que de acuerdo a la realidad es limitado.

Adicionalmente, comparando el Escenario 01 y el Escenario 02, el ciclo de vida de los pavimentos mixtos se optimiza en un 258.74%; asimismo, comparando el Escenario 01 y el Escenario 03, el ciclo de vida de los pavimentos mixtos se optimiza en un 252.33%.

### Presupuesto Anual

Respecto al presupuesto resultante de cada uno de los escenarios. De la Tabla 85 se infiere que, comparando los 3 escenarios el menor presupuesto es el del Escenario 01 con 530,407.01. Sin embargo, al realizar un análisis más profundo, se observa que al brindar un servicio de mala calidad durante 10 años, los costos indirectos asociados a la mala condición del pavimento serán elevados, tales como los elevados costos de operación vehicular, accidentes, mayor tiempo de transporte, menor confort, problemas sociales, etc.

Por lo tanto, a través del tiempo, el dejar que los pavimentos se deterioren al no aplicar ningún tipo de mantenimiento, será aún más costoso que aplicando mantenimiento de forma periódica (Escenario 02 y 03).

Asimismo, realizando la comparación entre el Escenario 02 y Escenario 03 se tiene que, con un mantenimiento oportuno, planificado y optimizado de los pavimentos mixtos durante los años 2019-2029, el presupuesto se reduce en S/. 641,236.81. Por lo tanto, se infiere que es más económico aplicar el SGCOPU optimizado.

**Tabla 85.** Comparación del PCI anual de los pavimentos mixtos en los 3 Escenarios.

Presupuesto Anual				
N°	Año	Escenario 01: Sin mantenimiento	Escenario 02: Con mantenimiento	Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado
0	2019	0.00	217,651.79	65,295.54
1	2020	0.00	112,369.48	65,295.54
2	2021	0.00	109,339.77	65,295.54
3	2022	0.00	110,960.39	65,295.54
4	2023	0.00	112,787.95	65,295.54
5	2024	0.00	114,211.20	65,295.54
6	2025	0.00	115,261.57	65,295.54
7	2026	0.00	116,028.84	65,295.54
8	2027	0.00	116,588.18	65,295.54
9	2028	0.00	116,995.78	65,295.54
10	2029	530,407.01	117,292.77	65,295.54
<b>TOTAL</b>		530,407.01	1,359,487.72	718,250.92

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

De lo descrito en los párrafos anteriores, se concluye que es importante la implementación del SGCOPU optimizado, tanto para optimizar el ciclo de vida en un 252.33%, así como para optimizar el presupuesto y reducirlo en S/. 641,236.81. Obteniendo como resultado que desde el 2021, los pavimentos mixtos se encuentren en la condición “Muy Bueno”.

#### 4.1.2. Pavimento Rígido

La optimización del ciclo de vida de los pavimentos rígidos, se analiza haciendo la comparación entre el PCI anual del Escenario 01, Escenario 02 y del Escenario 03 (Tabla 86).

**Tabla 86.** Comparación del PCI anual de los pavimentos rígidos en los 3 Escenarios.

Pavement Condition Index (PCI)							
N°	Año	Escenario 01: Sin mantenimiento		Escenario 02: Con mantenimiento		Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado	
0	2019	40.00	POBRE	40.00	POBRE	40.00	POBRE
1	2020	37.21	POBRE	86.45	EXCELENTE	50.76	REGULAR
2	2021	34.47	POBRE	85.85	EXCELENTE	59.80	BUENO
3	2022	31.86	POBRE	84.82	MUY BUENO	68.84	BUENO
4	2023	29.39	POBRE	83.84	MUY BUENO	77.78	MUY BUENO
5	2024	27.08	POBRE	82.99	MUY BUENO	84.84	MUY BUENO
6	2025	24.91	MUY POBRE	82.24	MUY BUENO	84.69	MUY BUENO
7	2026	22.90	MUY POBRE	81.58	MUY BUENO	83.85	MUY BUENO
8	2027	21.04	MUY POBRE	81.01	MUY BUENO	83.00	MUY BUENO
9	2028	19.33	MUY POBRE	80.50	MUY BUENO	82.26	MUY BUENO
10	2029	17.76	MUY POBRE	80.07	MUY BUENO	81.62	MUY BUENO

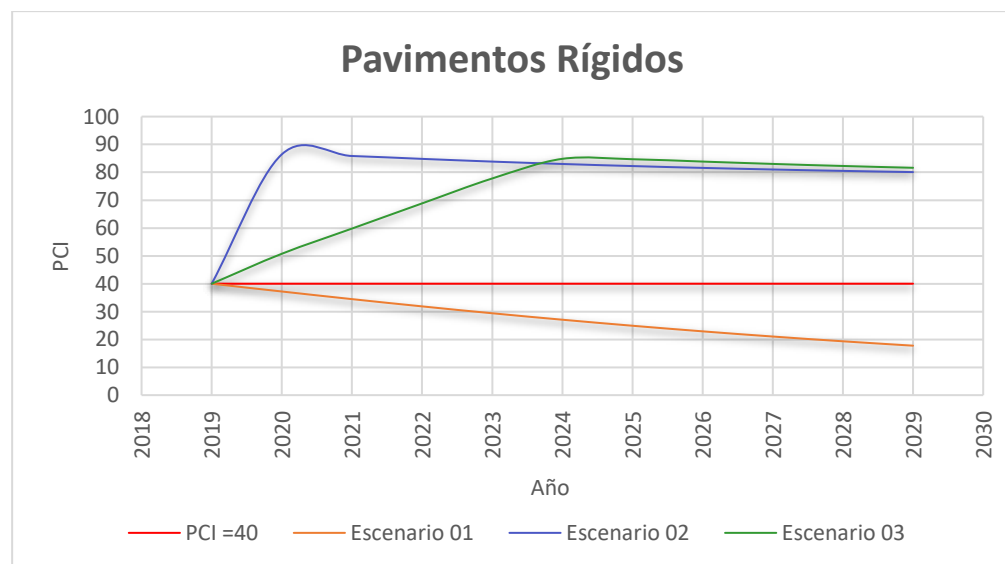
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

De acuerdo al *Escenario 01*, durante el horizonte de investigación (2019-2029), no se realizará ningún tipo de mantenimiento en los pavimentos rígidos evaluados, y sólo se esperará el estado “fatal” del pavimento. Por lo tanto, era de esperarse que en el año 2029 el PCI se clasifica en el rango F “Muy Pobre”.

De acuerdo al **Escenario 02**, durante el horizonte de investigación (2019-2029), se aplicará mantenimiento a los pavimentos rígidos evaluados, sin alguna planificación optimizada, y considerando que no se tiene límite en el presupuesto. Por lo tanto, desde el año 2020 el PCI se clasifica en el rango A “Excelente”, para que luego desde el año 2022 el PCI se clasifique en el rango B “Muy bueno”

De acuerdo al **Escenario 03**, durante el horizonte de investigación (2019-2029), se aplicará mantenimiento a los pavimentos rígidos evaluados, optimizando los recursos económicos disponibles, considerando un límite de presupuesto, el 20% del presupuesto anual total necesario para mantener los pavimentos. Por lo tanto, la calificación del pavimento, subirá paulatinamente de acuerdo al presupuesto disponible; obteniendo que, desde el año 2021 el PCI se clasifica en el rango C “Bueno”, y posteriormente, desde el año 2022 el PCI se clasifica en el rango B “Muy Bueno”.

En la Figura 32, se observa la comparación de la curva del ciclo de vida de los pavimentos en cada uno de los Escenarios. En donde se verifica que, con el Escenario 02 y 03, el ciclo de vida de los pavimentos se prolongará; puesto que en ambos casos, desde el año 2023 se mantendrán en un rango “Muy Bueno”, brindando un buen servicio vial.



**Figura 32.** Comparación de la curva de ciclo de vida de los pavimentos rígidos en los 3 escenarios.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.





En resumen, de la comparación del Escenario 01 con los otros dos se infiere que, a lo largo del ciclo de vida de los pavimentos, es necesario aplicar estrategias de mantenimiento periódicamente, y no dejar que el pavimento llegue a un estado fatal. Puesto que con el Escenario 01, se observa que desde el presente año 2019, los pavimentos se encuentran en un rango por debajo del rango aceptable (Rango Regular). Por lo tanto, el pavimento tendrá un corto ciclo de vida, brindando una mala calidad de servicio vial, sin confort, ni seguridad.

De la comparación del Escenario 02 con el Escenario 03 se deduce que, desde el año 2023 en ambos escenarios, los pavimentos tendrán una calificación PCI en el rango “Muy Bueno”, por lo tanto, tendrán un ciclo de vida largo. La diferencia está en que, con el Escenario 03 se aplica estrategias de mantenimiento de manera oportuna, optimizando el presupuesto disponible, que de acuerdo a la realidad es limitado.

Adicionalmente, comparando el Escenario 01 y el Escenario 02, el ciclo de vida de los pavimentos rígidos se optimiza en un 350.87%; asimismo, comparando el Escenario 01 y el Escenario 03, el ciclo de vida de los pavimentos rígidos se optimiza en un 359.60%.

### **Presupuesto Anual**

Respecto al presupuesto resultante de cada uno de los escenarios. De la Tabla 87 se infiere que, comparando los 3 escenarios el menor presupuesto es el del Escenario 01 con S/.1,403,684.52. Sin embargo, al realizar un análisis más profundo, se observa que al brindar un servicio de mala calidad durante 10 años, los costos indirectos asociados a la mala condición del pavimento serán elevados, tales como los elevados costos de operación vehicular, accidentes, mayor tiempo de transporte, menor confort, problemas sociales, etc.

Por lo tanto, a través del tiempo, el dejar que los pavimentos se deterioren al no aplicar ningún tipo de mantenimiento, será aún más costoso que aplicando mantenimiento de forma periódica (Escenario 02 y 03).

Asimismo, realizando la comparación entre el Escenario 02 y Escenario 03 se tiene que, con un mantenimiento oportuno, planificado y optimizado de los pavimentos rígidos durante los años 2019-2029, el presupuesto se reduce en S/1,833,101.53. Por lo tanto, se infiere que es más económico y conveniente aplicar el SGCOPU optimizado.

**Tabla 87.** Comparación del PCI anual de los pavimentos rígidos en los 3 Escenarios.

Presupuesto Anual				
N°	Año	Escenario 01: Sin mantenimiento	Escenario 02: Con mantenimiento	Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado
0	2019	0.00	998,142.83	199,628.57
1	2020	0.00	258,418.49	199,628.57
2	2021	0.00	267,206.19	199,628.57
3	2022	0.00	280,074.50	199,628.57
4	2023	0.00	292,093.97	199,628.57
5	2024	0.00	302,636.55	199,628.57
6	2025	0.00	311,858.75	199,628.57
7	2026	0.00	319,923.83	199,628.57
8	2027	0.00	326,976.88	199,628.57
9	2028	0.00	333,144.88	199,628.57
10	2029	1,403,684.52	338,538.88	199,628.57
<b>TOTAL</b>		1,403,684.52	4,029,015.75	2,195,914.22

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

De lo descrito en los párrafos anteriores, se concluye que es importante la implementación del SGCOPU optimizado, tanto para optimizar el ciclo de vida en un 359.60%, así como para optimizar el presupuesto y reducirlo en S/1,833,101.53. Obteniendo como resultado que desde el 2021, los pavimentos rígidos se encuentren en la condición “Muy Bueno”.

#### 4.1.3. Pavimentos Articulado

La optimización del ciclo de vida de los pavimentos articulados, se analiza haciendo la comparación entre el ICP anual del Escenario 01, Escenario 02 y del Escenario 03 (Tabla 88).

**Tabla 88.** Comparación del ICP anual de los pavimentos articulados en los 3 Escenarios.

Pavement Condition Index (ICP)							
N°	Año	Escenario 01: Sin mantenimiento		Escenario 02: Con mantenimiento		Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado	
0	2019	4.00	BUENO	4.00	BUENO	4.00	BUENO
1	2020	3.94	BUENO	4.03	BUENO	4.14	BUENO
2	2021	3.80	BUENO	3.94	BUENO	4.14	BUENO
3	2022	3.65	BUENO	3.87	BUENO	4.14	BUENO
4	2023	3.49	REGULAR	3.80	BUENO	4.14	BUENO
5	2024	3.34	REGULAR	3.74	BUENO	4.13	BUENO
6	2025	3.19	REGULAR	3.69	BUENO	4.13	BUENO
7	2026	3.04	REGULAR	3.64	BUENO	4.13	BUENO
8	2027	2.91	REGULAR	3.59	BUENO	4.13	BUENO
9	2028	2.78	REGULAR	3.54	BUENO	4.13	BUENO
10	2029	2.66	REGULAR	3.50	REGULAR	4.12	BUENO

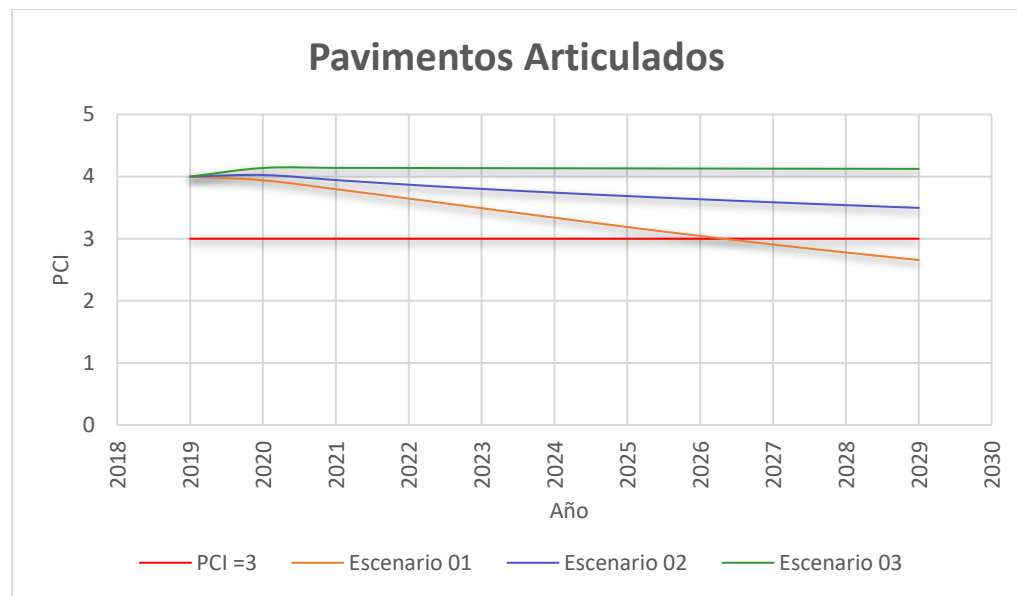
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

De acuerdo al *Escenario 01*, durante el horizonte de investigación (2019-2029), no se realizará ningún tipo de mantenimiento en los pavimentos articulados evaluados, y sólo se esperará el estado “fatal” del pavimento. Por lo tanto, era de esperarse que en el año 2029 el ICP se clasifica en el rango “Regular”, y así a través de los años empeore su condición.

De acuerdo al *Escenario 02*, durante el horizonte de investigación (2019-2029), se aplicará mantenimiento a los pavimentos articulados evaluados, sin alguna planificación optimizada, y considerando que no se tiene límite en el presupuesto. Por lo tanto, desde el año 2019-2028 el ICP se clasifica en el rango “Bueno”, para que luego desde el año 2029 el ICP se clasifique en el rango “Regular”

De acuerdo al *Escenario 03*, durante el horizonte de investigación (2019-2029), se aplicará mantenimiento a los pavimentos articulados evaluados, optimizando los recursos económicos disponibles, considerando un límite de presupuesto, el 30% del presupuesto anual total necesario para mantener los pavimentos. Por lo tanto, la calificación del pavimento, desde el año 2019 al 2029 se mantendrá en el rango “Bueno”.

En la Figura 33, se observa la comparación de la curva del ciclo de vida de los pavimentos en cada uno de los Escenarios. En donde se verifica que, con el Escenario 02 y 03, el ciclo de vida de los pavimentos se prolongará; puesto que en ambos casos, desde se mantendrán en un rango “Bueno”, brindando un buen servicio vial.



**Figura 33.** Comparación de la curva de ciclo de vida de los pavimentos articulados en los 3 escenarios.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

En resumen, de la comparación del Escenario 01 con los otros dos se infiere que, a lo largo del ciclo de vida de los pavimentos, es necesario aplicar estrategias de mantenimiento periódicamente, y no dejar que el pavimento llegue a un estado fatal. Puesto que con el Escenario 01, se observa que desde el presente año 2023, los pavimentos se encuentran en un rango aceptable (Rango Regular), sin embargo la tendencia es a continuar reduciendo su nivel



de condición. Por lo tanto, el pavimento tendrá un corto ciclo de vida, brindando una mala calidad de servicio vial, sin confort, ni seguridad.

De la comparación del Escenario 02 con el Escenario 03 se deduce que, en ambos escenarios los pavimentos mantendrán una calificación ICP en el rango “Bueno”, por lo tanto, tendrán un ciclo de vida largo. La diferencia está en que, con el Escenario 03 se aplica estrategias de mantenimiento de manera oportuna, optimizando el presupuesto disponible, que de acuerdo a la realidad es limitado.

Adicionalmente, comparando el Escenario 01 y el Escenario 02, el ciclo de vida de los pavimentos articulados se optimiza en un 31.58%; asimismo, comparando el Escenario 01 y el Escenario 03, el ciclo de vida de los pavimentos articulados se optimiza en un 55.20%.

### **Presupuesto Anual**

Respecto al presupuesto resultante de cada uno de los escenarios. De la Tabla 89 se infiere que, comparando los 3 escenarios el menor presupuesto es el del Escenario 01 con S/.19,694.79. Sin embargo, al realizar un análisis más profundo, se observa que al brindar un servicio de mala calidad durante 10 años, los costos indirectos asociados a la mala condición del pavimento serán elevados, tales como los elevados costos de operación vehicular, accidentes, mayor tiempo de transporte, menor confort, problemas sociales, etc.

Por lo tanto, a través del tiempo, el dejar que los pavimentos se deterioren al no aplicar ningún tipo de mantenimiento, será aún más costoso que aplicando mantenimiento de forma periódica (Escenario 02 y 03).

Asimismo, realizando la comparación entre el Escenario 02 y Escenario 03 se tiene que, con un mantenimiento oportuno, planificado y optimizado de los pavimentos articulados durante los años 2019-2029, el presupuesto se reduce en S/.121,642.20. Por lo tanto, se infiere que es más económico y conveniente aplicar el SGCOPU optimizado.

**Tabla 89.** Comparación del ICP anual de los pavimentos articulados en los 3 Escenarios.

Presupuesto Anual				
N°	Año	Escenario 01: Sin mantenimiento	Escenario 02: Con mantenimiento	Escenario 03: Con Mantenimiento Optimizado
0	2019	0.00	16,892.86	5,067.86
1	2020	0.00	16,518.22	5,067.86
2	2021	0.00	16,452.00	5,067.86
3	2022	0.00	16,385.32	5,083.49
4	2023	0.00	16,292.98	5,081.82
5	2024	0.00	16,179.03	5,080.63
6	2025	0.00	16,049.05	5,079.59
7	2026	0.00	15,907.53	5,078.64
8	2027	0.00	15,757.83	5,077.75
9	2028	0.00	15,602.50	5,076.91
10	2029	19,694.79	15,443.42	5,076.13
<b>TOTAL</b>		19,694.79	177,480.74	55,838.54

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

De lo descrito en los párrafos anteriores, se concluye que es importante la implementación del SGCOPU optimizado, tanto para optimizar el ciclo de vida en un 55.20%, así como para optimizar el presupuesto y reducirlo en S/.121,642.20. Obteniendo como resultado que desde el 2019, los pavimentos articulados se mantienen en la condición “Bueno”.

#### 4.2. DISCUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

De las conclusiones obtenidas en el trabajo de investigación “Aplicación de un sistema de gestión de pavimentos urbano local a nivel de red mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) como variable de condición en la red vial del Distrito de Concepción – Junín” (Pillpe, 2018), el autor sostiene que, el uso adecuado y optimizado de los recursos al 50% mantienen los pavimentos con las mismas condiciones que al invertir el 100% del presupuesto, lo que conlleva a un beneficio directo para la Municipalidad, pues permite mantener toda la red vial urbana y prolongar el tiempo de vida de los pavimentos con menores costos de inversión.



En contraste, en la presente investigación se establece que invertir anualmente el 30% de los recursos, mantienen los pavimentos en las mismas condiciones que al invertir el 100% del presupuesto.

Del análisis de ambas investigaciones, se concluye que aplicar el Sistema de Gestión de Conservación de Pavimentos Urbanos – SGCOPU, permite prolongar el tiempo de vida de los pavimentos y optimizar positivamente los recursos económicos a invertir.

De lo expuesto, se analiza que la variación de los porcentajes de optimización de los recursos, se relaciona con el estado actual del pavimento (PCI actual).

Adicionalmente, de las conclusiones presentadas en la investigación “Desarrollo de un Sistema de Gestión de Pavimentos para el Municipio de Santa Tecla” (Flores, 2008), el autor sostiene que, el Sistema de Gestión de Pavimentos “SGP-ST” es una herramienta que permite optimizar recursos disponibles, aplicando las estrategias de conservación en el momento oportuno; también permite proveer información confiable del estado de la infraestructura; y permite evaluar y analizar en diferentes escenarios.

En contraste, en la presente investigación de acuerdo a los resultados obtenidos y analizados en el presente capítulo, se llegan a las mismas conclusiones. Puesto que, al aplicar el Sistema de Gestión de Conservación de Pavimentos Urbanos SGCOPU, durante el horizonte de investigación de 10 años (2019-2029), el presupuesto de la conservación de los pavimentos mixtos se redujo en S/. 641,236.81, de los pavimentos rígidos se redujo en S/.1,833,101.53, y de los pavimentos articulados se redujo en S/.121,642.20. Asimismo, es una herramienta que permite evaluar y analizar diferentes escenarios, que da mayor visión y ayuda en la toma de decisiones para que la aplicación de mantenimiento sea más oportuna.



## V. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se infiere que el Sistema de Gestión de Conservación de Pavimentos Urbanos a nivel de red, optimiza el ciclo de vida y serviciabilidad de los pavimentos de la muestra propuesta para esta investigación, obteniendo un PCI en el rango “Muy bueno” para en los años 2023 al 2029. Haciendo una inversión anual del 30% de los recursos para mantener en las mismas condiciones los pavimentos, que al invertir el 100% del presupuesto anual.

De esta manera se infiere que, la aplicación del SGCOPU optimizado mejora el estado del pavimento reduciendo los costos de inversión en conservación de pavimentos urbanos. Además, que al ser un programa basado en modelos matemáticos, y al poder proponer distintos escenarios, sirve como apoyo a las decisiones sobre mantenimiento de vías urbanas.

Del análisis realizado en el Capítulo 04, se infiere que el SGCOPU optimizado a nivel de red, respecto a la situación actual optimiza el ciclo de vida de los pavimentos mixtos en un 252.33%, para los pavimentos rígidos se optimiza en un 359.60 %, y para los pavimentos articulados se optimiza en un 55.20%.

Del análisis realizado en el Capítulo 03 se infiere que, con la aplicación del SGCOPU no existe gran variación en el valor de serviciabilidad, y no se puede realizar comparaciones, porque se mantienen en el mismo rango de serviciabilidad. De lo que se deduce que la serviciabilidad teniendo un rango de 1-5, no es un buen indicador para el desarrollo del Sistema de Gestión de Pavimentos.

Del análisis de resultados en el Capítulo 04, se infiere que, es importante la implementación del SGCOPU, tanto para optimizar el ciclo de vida de los pavimentos, así como para optimizar el presupuesto para los pavimentos mixtos y reducirlo en S/. 641,236.81, para pavimentos rígidos reducirlo en S/.1,833,101.53, y para pavimentos articulados reducirlo en S/.121,642.20.

En este sentido se afirma que, es factible y necesaria la implementación del SGCOPU en la ciudad de Puno, para la aplicación de mantenimiento oportuno brindando un mejor servicio y confort a la ciudadanía. Además, que realizaría un mejor manejo de los recursos económicos, obteniendo un ahorro significativo.





## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar el SGCOPU lo más pronto posible, en toda red de pavimentos de la ciudad de Puno puesto que, se obtendría un mejor manejo de los recursos económicos, y acorde a los resultados obtenidos en esta investigación, se obtendría un ahorro significativo en el presupuesto.

En esta investigación se ha planteado que presupuesto a invertir sea el 30% del requerido anualmente, por ello se recomienda obtener el porcentaje óptimo, considerando en el análisis los costos indirectos, tales como, los elevados costos de operación vehicular, accidentes, mayor tiempo de transporte, menor confort, mayor contaminación.

Para agilizar la recolección de datos de condición de pavimentos, se recomienda la adquisición de equipos de medición y auscultación más sofisticados de clase 1 o 2.

Para realizar un modelamiento de deterioro de pavimentos a nivel empírico, se recomienda realizar el inventario de fallas en los pavimentos anualmente utilizando la metodología PCI. Obteniendo así, una data histórica de la condición funcional del pavimento, para que los porcentajes de probabilidad en las matrices de transición, sean más cercanos a la realidad.

Se recomienda continuar la investigación a nivel nacional, con respecto a los Sistemas de Gestión de Conservación Vial en pavimentos urbanos. Puesto que, por las calles transitan los peatones, las bicicletas, las motos, los vehículos privados y el transporte público, entonces por las calles transita la vida de la ciudad.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARA, Inc.ERES Consultants Division. (2014). Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Illinois, EEUU.
- Arsham, H. (25 de Febrero de 1994). *University of Baltimore*. Obtenido de Linear Programming: Methods and Applications:  
<http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640S/SpanishD.htm>
- ASTM D6433-07. (2007). *Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys*.
- Avila, T., Badilla, G., Aguiar, J., Barrantes, R. (2013). *Calibración del Modelo de Serviciabilidad de pavimentos flexibles de AASHTO para Costa Rica*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Betanzo E. , Zavala R. (2008). *El mantenimiento de pavimentos en vialidades urbanas: El caso de la Zona Metropolitana de Querétano*. Merida, México: Universidad Autónoma de Yucatan.
- Castro, D. (2003). *Propuesta de Gestión de Pavimentos para la ciudad de Piura*. Piura: Universidad de Piura.
- Chávez, A., & Peñarreta, L. (2019). *Desarrollo de la correlación entre dos indicadores de la condición de la superficie del pavimento*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Fernández C, Mojica J, Martínez J. (2007). *Sistemas de Gestión Pavimentos Urbanos*. Chile: Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno.
- Flores, R. (2008). *Desarrollo de un Sistema de Gestión de Pavimentos para el Municipio de Santa Tecla*. El Salvador: Universidad de El Salvador.



- FONDEF. (2015). *Sistema de Gestión de Pavimentos Urbanos*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Garnica, P., Correa A. (2014). *CONCEPTOS MECANICISTAS EN PAVIMENTOS*. Sanfandila: Instituto mexicano del transporte.
- Higuera, C., Pacheco, O. (2010). *Patologías de Pavimentos Articulados*. Medellín, Colombia: Revista Ingenierías Universidad de Medellín.
- Humpiri, K. (2015). *Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la Región de Puno*. Juliaca: Universidad Andina Nestor Cáceres Velasquez.
- Lara, A. (2014). La Conservación Correctiva de los Firmes Urbanos. *Carreteras*, 98-106.
- Leiva, F. (2005). *Sistemas de soporte para la toma de decisiones en la administración de carreteras*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia, Sistema de Estudios de Posgrado.
- *Manual de Carreteras. Suelos, geología, geotécnica y pavimentos*. (2014). Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Martínez, C. A. (2015). *Análisis del Ciclo de Vida de los Pavimentos Asfálticos*. Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada.
- Menéndez, J. (2003). *Mantenimiento Rutinario de Caminos con Microempresas*. Lima: Oficina Internacional del Trabajo- Oficina Subregional para los Países Andinos.
- Menéndez, J. R. (2013). *Ingeniería de pavimentos, diseño y gestión de pavimento*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.



- Miranda, R. J. (2010). *Deterioros en Pavimentos Flexibles y Rígidos*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Montoya, J. (2007). *Implementación del Sistema de Gestión de Pavimentos con Herramienta HDM-4 para la Red Vial Nro. 5 Tramo Ancón – Huacho – Pativilca*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Pérez, F. (2007). *Introducción a las Series de Tiempo*. Medellín: Universidad de Medellín.
- Pillpe, L. (2018). *Aplicación de un sistema de gestión de pavimentos urbano local a nivel de red mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) como variable de condición en la red vial del distrito de Concepción-Junín*. Huancayo: Universidad Continental.
- Rama, F. (2013). *Manual De Conservación De Los Pavimentos En La Red Viaria Urbana*. España: Bellisco Ediciones.
- Ramos, A., Begoña, V. (2001). *Modelos matemáticos de optimización*. España: Universidad Pontificia de Comillas de El Salvador.
- *Reglamento Nacional de Edificaciones*. (2010). Lima: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento-SENCICO.
- Rodríguez, E. (2009). *Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla*. Piura.
- Solminihac, H. (2001). *Gestión de Infraestructura Vial*. Chile: Universidad Católica de Chile.



- Solorio, J., Márquez, Z., Montoya, M.,. (2014). *Aplicación de métodos markovianos en el modelado del deterioro de carreteras*. Sanfandila: Instituto Mexicano del Transporte.
- Sotil, A. (2011). *Sistematización de información sobre diseño, gestión, construcción y reparación de pavimentos urbanos*. Lima: SENCICO.
- Valeriano, J. (2000). *Degradación en lo pavimentos revestidos con asfaltos en Lima y Callao,, alternativas de solución para su rehabilitación y mantenimiento*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Vásquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para Pavimento Asfálticos de concreto en carreteras*. Manizales: INGEPAV Ingeniería de pavimentos.
- Vergara, A. (2015). *Evaluación del estado funcional y estructural del pavimento flexible mediante la metodología PCI Tramo Quichuay - Ingenio del KM 0+000 al KM 1+000 2014*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- *Wheater Spark*. (2019). Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/26593/Clima-promedio-en-Puno-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>