

## Gestión sostenible del pavimento flexible, rígido y articulado del centro urbano del Cantón Girón

Gonzalo A. Guzmán O. , Daniel E. Mogrovejo C. 

Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Av. 12 de abril s/n, Cuenca, Ecuador.

Autor para correspondencia: gago1902@yahoo.com

Fecha de recepción: 15 de julio de 2017 - Fecha de aceptación: 20 de septiembre de 2017

### ABSTRACT

The pavement condition index for flexible and rigid pavements (PCI) and for articulated pavements (ICP) determines the service level of the pavement and the adequate interventions that can be executed, whether preventive, corrective, reconstruction or zero treatment. Both indices enable to establish the evolution over time of the service level according to the treatment executed. This paper presents the assessment of the PCI and ICP values of the road network in Girón, a small-sized town located in the southern part of the Province of Azuay, Ecuador. The PCI and ICP values for each pavement on the network were derived through a semi-automated process of field data collection and analysis (including, hierarchy, optimization, and prioritization). Analysis of this information permitted to define as a function of the service level the best type of treatment, including the treatment cost for each pavement section on the analyzed network. For the whole network, the pavement condition index shows an average service level of "Very Good" with a value of 72/100 for flexible pavements, "Good" with a value of 61/100 for rigid pavements, and "Good" with a value of 4.52/5 for articulated pavements. By knowing the overall pavement network health, it is possible to manage the assets in a more sustainable way, optimizing resources, and defining the treatment following a prioritization process.

**Keywords:** Pavement condition index, service level, flexible pavement, rigid pavement, articulated pavement, sustainability, sustainable management systems.

### RESUMEN

El índice de condición del pavimento, PCI para pavimentos flexible y rígido, e ICP para pavimento articulado, determina el nivel de servicio de una vía y las acciones operacionales que se pueden ejecutar en ésta, ya sea un tratamiento preventivo, correctivo, de reconstrucción o nulo; además, establece la evolución en el paso del tiempo del nivel de servicio de acuerdo con el tratamiento ejecutado. El estudio fue realizado en la cabecera cantonal del cantón Girón, al sur de la provincia del Azuay. Los valores del PCI e ICP fueron obtenidos mediante sistematización, jerarquización y optimización de procesos de cálculo de datos tomados en campo; los cuales proponen el mejor tipo de tratamiento a realizar en una vía en base a su nivel de servicio, para posteriormente valorar su costo de ejecución. Los valores del índice de condición del pavimento finalmente obtenidos determinan un nivel de servicio promedio de "Muy Bueno" con un valor de 72/100 para el pavimento flexible, "Bueno" con un valor de 61/100 para el pavimento rígido y "Bueno" con un valor de 4.52/5 para el pavimento articulado; concluyendo que el cantón posee niveles de servicio aceptables y los costos para su mantenimiento no son elevados. De esta forma, conociendo la salud general de la red de pavimentos, se puede gestionar la misma de una manera más sostenible, optimizando los recursos y sistematizando las intervenciones de mantenimiento de una manera técnica, priorizando las intervenciones en función a la jerarquización de la condición de los pavimentos.

**Palabras clave:** Índice de condición del pavimento, nivel de servicio, pavimento flexible, pavimento rígido, pavimento articulado, gestión de pavimentos sostenible, sostenibilidad.

## 1. INTRODUCCIÓN

La evolución constante de la estructura del pavimento (flexible, rígido y articulado) permite la correcta estrategia de tratamiento de tal forma que, aplicada en el pavimento, se vuelva rentable y mejore el ciclo de vida del mismo (Yan “Jane” Jiang, 2016). Para identificar qué técnicas de mantenimiento y reparación son las adecuadas para mejorar el nivel de servicio del pavimento, se debe evaluar la vía y conocer el estado real en la que se encuentra. Para ello, se ejecutan dos métodos de evaluación del pavimento mediante inspección visual, con los cuales se determinan el tipo y la severidad de cada uno de los deterioros existentes. En los pavimentos flexible y rígido se emplea el método de Índice de Condición de Pavimento (PCI, por su siglas en inglés), desarrollado por el Centro de Ingeniería de la Fuerza Área de los EEUU (Rodríguez Velásquez, 2012); mientras que, para el pavimento articulado la metodología a seguir es la del Índice de Condición del Pavimento (ICP) desarrollada por Higuera & Pacheco (2010). A través de las metodologías del PCI e ICP se obtienen valores que establecen niveles de servicio, los cuales son ponderados en base a criterios relacionados al estado y funcionamiento de la vía, dando un nivel de servicio más acoplado a la situación real de la vía y permitiendo ejecutar el proceso de mantenimiento más adecuado. Además, estos valores, apoyados en las matrices de Márkov, permiten desarrollar la evolución del nivel de servicio de las vías en un lapso de tiempo, generando así una transición del nivel de servicio, dependiendo del tipo de mantenimiento ejecutado. Una cadena de Márkov es una sucesión de ensayos similares u observaciones, en las cuales cada ensayo tiene el mismo número finito de resultados posibles y en donde la probabilidad de cada resultado para un ensayo dado depende sólo del resultado del ensayo inmediatamente precedente y no de cualquier resultado previo, como lo indica la ecuación 1 (Jacob & Odetti, 2014).

$$P\left(X_{n+1} = \frac{x_{n+1}}{X_n} = X_n, X_{n-1} = x_{n-1}, \dots, X_2 = x_2, X_1 = x_1\right) = P\left(X_{n+1} = \frac{x_{n+1}}{X_n} = X_n\right) \quad (1)$$

donde  $X_n$  es el estado del proceso en el tiempo,  $n$  es el tiempo y  $x_i$  es el estado en del proceso en ese instante.

El objetivo de la determinación del índice de condición del pavimento es la implementación de un catastro vial con valores de PCI, ICP y niveles de servicio que permitan planificar de mejor manera los diferentes procesos de mantenimiento de la red vial a través de seguimientos mensuales, trimestrales, anuales, etc., facilitando la toma de decisiones para mantener de manera adecuada su nivel de servicio con la intervención de recursos mínimos. Con un seguimiento adecuado se pueden ejecutar mantenimientos preventivos, disminuyendo costos de manera sostenible y, a su vez, aumentar la capacidad de servicio de la red vial. A nivel de proyecto, el objetivo es proporcionar decisiones detalladas sobre qué tratamientos correctivos de la construcción son necesarios para cada sección de pavimento, identificado a partir del análisis de necesidades a nivel de la red. El análisis del costo del ciclo de vida puede complementarse con consideraciones de ingeniería de costos específicos del proyecto.

En esta investigación se desarrolla la sistematización del PCI e ICP para el pavimento flexible, articulado y rígido. Se analizó un total de 85 tramos de inspección divididos en 35 de pavimento flexible, 43 de pavimento articulado y 7 de pavimento rígido, en el centro urbano del cantón Girón; siendo las zonas A (color verde) y B (color amarillo) como lo muestra la Figura 1. Para ello se determina los niveles de servicio, a través del PCI e ICP obtenido mediante inspecciones visuales.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El PCI se constituye en la metodología 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 (Vásquez, 2002). La metodología propuesta para ICP 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 (Higuera Sandoval & Pacheco Merchán, 2010). Con la información de campo obtenida durante la auscultación vial y siguiendo la metodología indicada para cada tipo de pavimento, se calcula un índice que cuantifica el estado en el que se encuentra, es decir, señala si el pavimento está fallado, si es malo, muy malo, regular, bueno, muy bueno o excelente (Rodríguez Velásquez, 2012). La investigación recorre cada tramo de vía permitiendo determinar el tipo de deterioro existente para cada clase de pavimento.

Dentro de la metodología para la determinación del PCI e ICP se utilizaron hojas de datos de campo, en las cuales se registra la información obtenida durante la inspección visual, como fecha, ubicación, tramo, sección, tamaño de la unidad de muestra, tipos de fallas, niveles de severidad, y cantidades. Existe un formato diferente para cada tipo de pavimento. Calle y Peñaloza (2017) desarrollaron un formato para la evaluación del pavimento flexible y rígido los cuales fueron empleados en esta investigación. Para el pavimento articulado se desarrolló un formato de acuerdo con las necesidades de campo, entre otros, el área de la zona de inspección, tipo de deterioro, área de influencia de cada deterioro, etc. Se utiliza un odómetro manual para medir distancias en calles, carreteras, caminos; un regla o cordel para medir la deformación longitudinal y transversal del pavimento en estudio; conos de seguridad vial para aislar el área de calle en estudio, ya que el tráfico representa un peligro para el personal que realiza la inspección; y un plano donde se encuentra ubicada cada zona de inspección a ser evaluada.

### 2.1. Zona de estudio

La zona de estudio se encuentra dentro del centro urbano del cantón Girón (ver Fig. 1) y engloba vías de pavimento flexible, rígido y articulado. En la Tabla 1, se presentan las vías que fueron consideradas para la investigación y su tipo de pavimento.

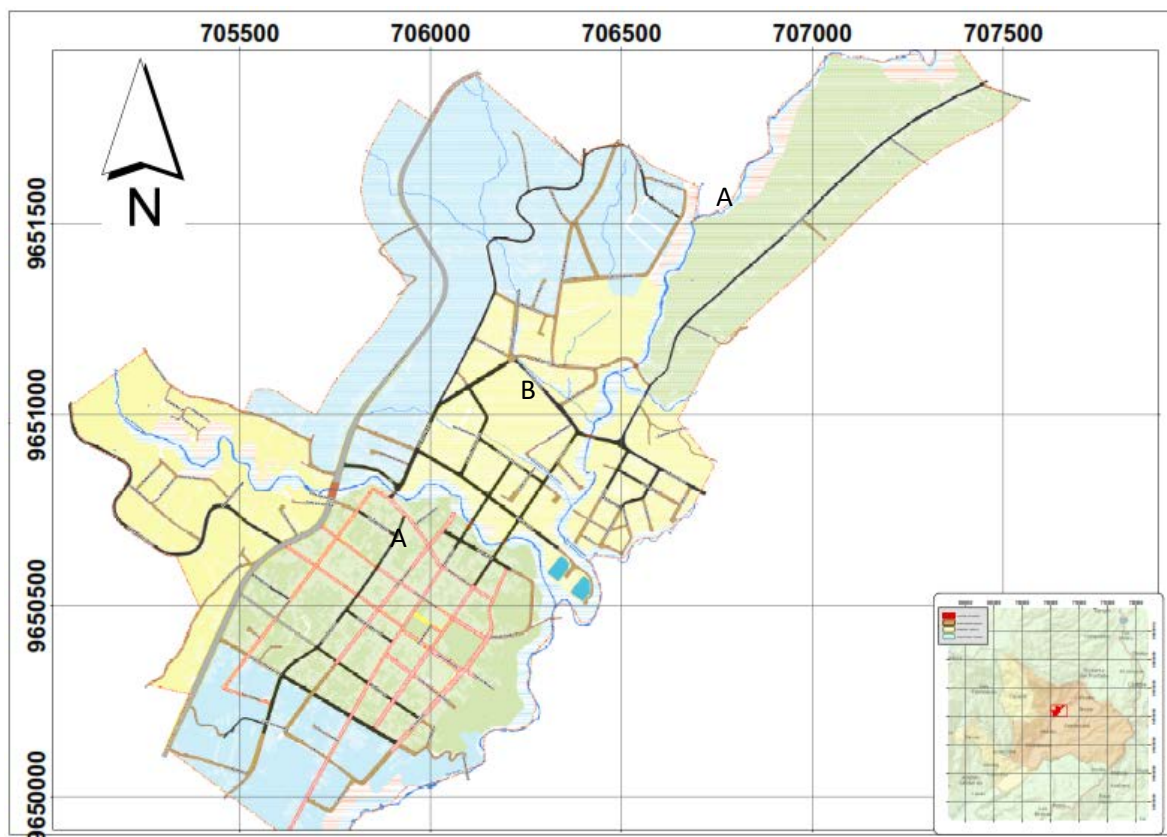


Figura 1. Mapa del centro urbano del cantón Girón.

**Tabla 1.** Clasificación de las vías inspeccionadas del cantón Girón.

Vías inspeccionadas	F	A	R	Vías inspeccionadas	F	A	R
Antonio Flor	X	X		Julio Calle	X		
Simón Bolívar	X	X		Jorge Araujo	X		
Juan Vintimilla		X		Humberto Salamea	X		
Calle 3 de Noviembre	X	X		Guayas	X		
Luciano Vallejo		X		Chimborazo	X		
Arturo Sandez	X	X		Sucumbíos	X		
Eloy Alfaro			X	Esmeraldas	X		
Calle Abraham Barzallo		X		Vía San Vicente	X		
Calle García Moreno		X		Vía Cuenca Girón Pasaje			X
Andrés Córdova		X					

Leyenda: F = Flexible, A = Articulado, R = Rígido

### 2.2. Tipos de deterioros en los pavimentos flexibles, rígidos y articulados

Cada tipo de pavimento presenta una serie de deterioros que puede ocurrir en un tramo de inspección, estos se clasifican de acuerdo a su nivel de gravedad (García Saavedra, 2015). A continuación, se presentan los deterioros para los tres tipos de pavimentos (ver Tabla 2).

**Tabla 2.** Deterioros del pavimento flexible, rígido e articulado.

Pavimento flexible		Pavimento rígido		Pavimento articulado	
Descripción	U	Descripción	U	Clase / Deterioro / Unidad = m <sup>2</sup>	Símbolo
Piel de cocodrilo	m <sup>2</sup>	Rotura por pandeo	u	Deformaciones	
Exudación	m <sup>2</sup>	Grieta de esquina	u	Abultamiento	BA
Agrietamiento en bloque	m <sup>2</sup>	Losa divide	u	Ahuellamiento	AH
Abultamientos y hundimientos	m	Grieta de durabilidad "D"	u	Depresiones	DA
Corrugación	m <sup>2</sup>	Escalonamiento	u	Desprendimientos	
Depresión	m <sup>2</sup>	Daño del Sello de Junta	u	Desgaste superficial	DS
Grieta de borde	m	Desnivel carril/berma	u	Perdida de arena	PA
Grieta de reflexión de junta	m	Grieta lineal	u	Desplazamientos	
Desnivel carril/berma	m	Parqueo (grande)	u	Desplazamiento de borde	DB
Grietas longitudinales y transversales	m	Parqueo (pequeño)	u	Desplazamiento de juntas	DJ
Parqueo	m <sup>2</sup>	Pulimento de agregados	u	Fracturamientos	
Pulimiento de agregados	m <sup>2</sup>	Desprendimientos	u	Fracturamiento	FA
Huecos	un	Bombeo	u	Fracturamiento de confinamientos externos	CE
Cruce de vía férrea	m <sup>2</sup>	Punzonamiento	u	Fracturamiento de confinamientos internos	CI
Ahuellamiento	m <sup>2</sup>	Cruce de vía férrea	u	Otros deterioros	
Desplazamiento	m <sup>2</sup>	Descascaramiento por grietas	u	Escalonamiento entre adoquines	EA
Grieta parabólica	m <sup>2</sup>	Grietas de retracción	u	Escalonamiento entre adoquines y confinamientos	EC
Hinchamiento	m <sup>2</sup>	Descascaramiento de esquina	u	Juntas abiertas	JA
Desprendimiento de agregados	m <sup>2</sup>	Descascaramiento de junta	u	Vegetación en la calzada	VC

### 2.3. Grado de severidad de los deterioros del pavimento

En la inspección de daños, debe evaluarse la calidad de tránsito (o calidad del viaje) para determinar el nivel de severidad de daños (Vásquez, 2002). El grado de severidad establecido es igualmente aplicable para pavimento flexible, rígido, articulado (Mero, 2015):

- L (Low: Bajo): se perciben las vibraciones en el vehículo, pero no es necesaria una reducción de velocidad;

- M (Medium: Medio): las vibraciones en el vehículo son significativas y se requiere alguna reducción de la velocidad; y
- H (High: Alto): las vibraciones en el vehículo son tan excesivas que debe reducirse la velocidad de forma considerable.

#### 2.4. Índice de condición del pavimento

El índice de condición del pavimento para los pavimentos flexible y rígido, PCI, es un índice numérico que varía desde cero (0) hasta cien (100) (ver Tabla 3) (Rodríguez Velásquez, 2012); mientras que, para el pavimento articulado, el ICP es un número entero que varía en una escala de uno a cinco (ver Tabla 4) (Higuera Sandoval & Pacheco Merchán, 2010).

**Tabla 3.** Valores de calificación del PCI e ICP.

PCI						
Excelente	Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy malo	Fallado
85-100	70-85	55-70	40-55	25-40	10-25	0-10

ICP				
Muy bueno	Bueno	Regular	Malo	Muy malo
5	4	3	2	1

#### 2.5. Cálculo del PCI para pavimentos flexible y rígido

##### Cálculo de valores deducidos

El valor deducido para cada tipo de daño se obtiene a través de las curvas de “Valor Deducido de Daño”, desarrollado por el Centro de Ingeniería de la Fuerza Área de los EE. UU., donde la densidad de daño es obtenida de la división de cada daño para el área total de muestreo.

##### Cálculo del número máximo admisible de valores deducidos

Para valores deducidos mayores a dos se usará el valor deducido total (suma de valores deducidos); caso contrario, se determina el número máximo de valores deducidos mediante la ecuación 2:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} * (100 - HDV_i) \quad (2)$$

donde  $m_i$ : número máximo admisible de valores deducidos para la unidad de muestreo  $i$ ;  $HDV_i$ : el mayor valor deducido individual para las unidades de muestreo  $i$  (Macías, 2016).

##### Cálculo del máximo valor deducido corregido

Los valores deducidos mayores a dos y el valor deducido total permiten obtener el valor deducido corregido, este proceso se repite hasta que los valores sean iguales a 1. El máximo valor deducido corregido es el mayor de los valores obtenidos en este proceso de iteración.

#### 2.6. Cálculo del ICP para pavimento articulado

##### Cálculo del porcentaje área afectada y factores de penalización

El porcentaje de área afectada es la relación entre el área afectada por el deterioro y el área total del tramo de inspección, como se muestra en la ecuación 3. Según el grado de influencia de cada deterioro, se le asignan pesos y valores de penalización (ver Tablas 4 y 5).

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

donde  $\%Aa_i$  es el porcentaje de área afectada por el deterioro  $i$ ;  $Aa_i$  es el área afectada por el deterioro  $i$ ;  $A_T$ : área total del tramo;  $i$ : tipo de deterioro.

Cálculo del porcentaje de área equivalente afectada

El porcentaje de área equivalente afectada es un porcentaje mayor o igual que cero, cuando su valor supera el 15% simplemente se debe anotar que dio mayor a 15, ecuación 4.

$$\%Ae_i = \sum (PI_j \times \%Aa_j \times FNS_j) \tag{4}$$

donde  $\%Ae_i$  : es el porcentaje de área equivalente afectada por los deterioros de clase  $i$ ;  $i$ : es el tipo de deterioro; PI: Peso del deterioro  $j$  en su clase  $i$ ;  $\%Aa_j$ : porcentaje de área afectada por el deterioro  $j$ ; FNS: factor de penalización por nivel de severidad del deterioro  $j$ ;  $j$ : deterioro.

Cálculo del factor de penalización por área afectada y cálculo de los índices ICE y ICF

Para encontrar los factores de penalización se utilizan la Tabla 4 para el ICF y la Tabla 5 para el ICE. Los índices varían entre cero (0) y cien (100), estos están en función del factor de penalización (FA) y del factor de influencia por clase (FC) (ver Tabla 6) como lo define las ecuaciones 5 y 6.

$$ICE = 100 - \sum (FC_i \times FA_i) \tag{5}$$

$$ICF = 100 - \sum (FC_i \times FA_i) \tag{6}$$

donde ICE es el índice de condición estructural; ICF el índice de condición funcional; FC el factor de influencia por clase de deterioro; FA el factor de penalización por área afectada;  $i$  la clase de deterioro.

**Tabla 4.** Factores de penalización de condición funcional (ICF = índice de condición funcional).

Clase	Deterioro	Peso en clase, PI	Nivel de severidad FNS			%Área equivalente afectada FA				
			Bajo	Medio	Alto	0	5	10	15	>15
Deformaciones	Abultamiento	1.20	1.00	1.25	1.50					
	Ahuellamiento	1.20	1.00	1.15	1.30	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00
	Depresiones	1.00	1.00	1.20	1.40					
Desprendimientos	Desgaste superficial	1.10	1.00	1.20	1.40	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00
	Pérdida de área	1.00	1.00	1.15	1.30					
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	1.00	1.00	1.15	1.30	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00
	Desplazamiento de juntas	1.00	1.00	1.10	1.20					
Fracturamientos	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	Escalonamiento entre adoquines	1.20	1.00	1.25	1.50					
	Escalonamiento de 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 de la calzada	1.10	1.00	1.15	1.30					

**Tabla 5.** Factores de penalización de condición estructural (ICE = índice de condición estructural).

Clase	Deterioro	Peso en clase, PI	Nivel de 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					
Desprendimientos	Pérdida de área	1.00	1.00	1.15	1.30	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	1.00	1.00	1.15	1.30	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00
Fracturamientos	Fracturamiento	1.10	1.00	1.10	1.20					
	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	Vegetación de la calzada	1.00	0.80	1.00	1.20	0.00	0.50	0.60	0.76	1.00

**Tabla 6.** Factor de influencia por clase, FC.

Clase	Deterioro	Símbolo	Afecta parámetro		Influencia por clase, FC	
			Estructural	Funcional	Estructural	Funcional
Deformaciones	Abultamiento	BA		U		
	Ahuellamiento	AH		U	48.00	48.00
	Depresiones	DA		U		
Desprendimientos	Desgaste superficial	DS		U		
	Pérdida de área	PA		U	6.00	9.00
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	DB		U		
	Desplazamiento de juntas	DJ		U	10.00	10.00
Fracturamientos	Fracturamiento	FA		U		
	Fracturamiento de confinamientos externos	CE		U	28.00	10.00
	Fracturamiento de confinamientos internos	CI		U		
Otros deterioros	Escalonamiento entre adoquines	EA		U		
	Escalonamiento entre adoquines y confinamiento	EC		U	8.00	23.00
	Juntas abiertas	JA		U		
	Vegetación de la calzada	VC		U		

Cálculo del índice de condición del pavimento

El ICP es la combinación del ICF e ICE, su cálculo viene dado a través de la matriz de la Tabla 7 y su valor es un número que varía entre cero (0) y cinco (5).

**Tabla 7.** Matriz de cálculo del ICP.

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

**2.7. Ponderación de los valores del ICP**

En la ponderación del ICP se toman los mismos criterios que toma Calle y Peñaloza (2017) en la determinación del PCI tales como: valor del PCI, puntuación de expertos, importancia, año de bacheo, año de sellado, uso, periodo de diseño, opinión del usuario; cada uno de estos criterios pueden tener una calificación entre cero (0) y uno (1), y la suma de todos estos deben dar uno (1). El peso asignado a cada criterio depende del conocimiento de la red vial.

### 2.8. Matriz de Markov

Los valores con los que se ejecuta la matriz de Márkov fueron impuestos de acuerdo a la zona de estudio, los tipos de tratamientos manejados en la localidad, y el desarrollo de la red vial; la implementación de la ecuación 1 permite obtener valores de desarrollo del índice de condición del pavimento, partiendo de parámetros como el tiempo  $n$ , la condición inicial en la que se encuentra el pavimento; permitiendo obtener la evolución de la condición del pavimento hasta cumplir el tiempo establecido; para esta investigación se trabajó con un tiempo de 12 años y las condiciones iniciales del estado del pavimento se obtuvieron en base al levantamiento de campo para cada una de las vías analizadas; esta ecuación se implementó para cada tipo de tratamiento que puede ejecutarse en una vía.

### 2.9. Sistematización de los datos

La sistematización del ICP fue implementado en Microsoft Office Excel 2013 a través de MACROS (Acosta, 2010), basándose en los procesos establecidos por Higuera y Pacheco (2010). Para el PCI se empleó una sistematización previamente desarrollada por parte de Calle y Peñaloza (2017).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Tabla 8 se pueden observar los niveles de servicio de las vías más representativas por su número de tramos de inspección de cada tipo de pavimento que se obtuvieron del procesamiento de los datos. La vía a San Vicente presentó 10 tramos de inspección, posee pavimento flexible y su nivel de servicio promedio es de 92/100. La calle Juan Vintimilla de pavimento articulado, se la inspeccionó en 7 tramos y presenta un nivel de servicio promedio de 4/5. La vía Girón Pasaje que presenta pavimento rígido fue inspeccionada en 6 tramos exhibiendo un nivel de servicio promedio de 25/100.

**Tabla 8.** Valores de PCI e ICP de tramos vías inspeccionadas.

Pavimento flexible			Pavimento articulado			Pavimento rígido					
Descripción de tramos	PCI	Nivel de servicio	Descripción de tramos	ICP	Nivel de servicio	Descripción de tramos	PCI	Nivel de servicio			
San Vicente	1	90	Excelente	Juan Vintimilla	1	3	Regular	Girón Pasaje	1	17	Muy pobre
	2	82	Muy bueno		2	4	Bueno		2	25	Pobre
	3	91	Excelente		3	3	Regular		3	27	Pobre
	4	92	Excelente		4	4	Bueno		4	21	Muy pobre
	5	93	Excelente		5	5	Muy bueno		5	26	Pobre
	6	100	Excelente		6	4	Bueno		6	34	Pobre
	7	85	Muy bueno		7	5	Muy bueno				
	8	100	Excelente								
	9	93	Excelente								
	10	94	Excelente								

**Tabla 9.** Valores de calificación de PCI, ICP de vías inspeccionadas.

Pavimento flexible		Pavimento articulado		Pavimento rígido	
Vía inspeccionada	PCI	Vía inspeccionada	ICP	Vía inspeccionada	PCI
San Vicente	92/100	3 de Noviembre	4.67/5	Vía Girón Pasaje	25/100
Sucumbios	73/100	Abraham Barzallo	4.5/5	Eloy Alfaro	96/100
Julfo Calle	100/100	Andrés Cordova	4.5/5		
Jorge Araujo	76/100	Antonio Flor	4.4/5		
Humberto Salamea	82/100	Arturo Sandez	4.4/5		
Guayas	62/100	Calle Bolivar	4.4/5		
Esmeraldas	88/100	García Moreno	4.8/5		
Chimborazo	85/100	Juan Vintimilla	4.0/5		

Todos los tramos inspeccionados obtuvieron diferentes valoraciones del estado del pavimento que derivó en distintos niveles de servicio, tanto para el pavimento flexible, rígido y articulado. En treinta y cuatro tramos inspeccionados de pavimento flexible se obtuvo un nivel de servicio promedio de



“Muy Bueno” con un PCI de 72/100; el pavimento articulado muestra un nivel de servicio “Bueno” con un ICP de 4.52/5 (ver Tablas 9 y 10); el pavimento rígido no presenta un promedio debido a que las vías inspeccionadas pertenecen a jurisdicciones diferentes, tal es el caso de la vía Girón-Pasaje, bajo control estatal, y la vía Eloy Alfaro, bajo control municipal.

**Tabla 10.** Valores de PCI e ICP promedios del cantón.

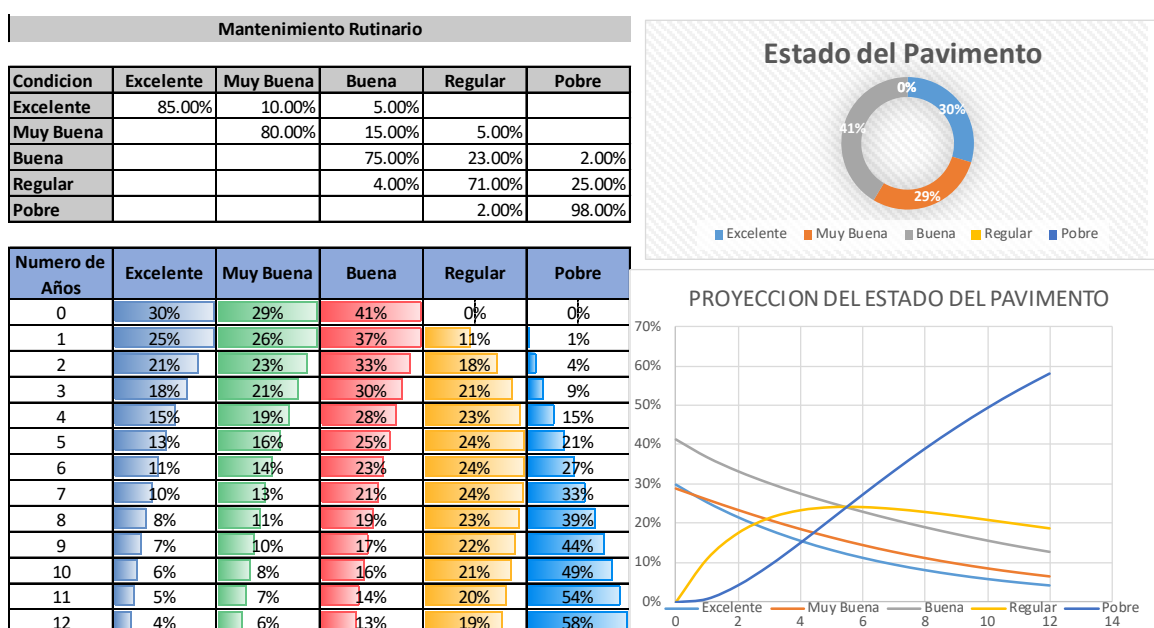
Pavimento flexible	Pavimento articulado
72/100	4.52/5
Muy bueno	Bueno

Cada tipo de tratamiento a ejecutar en la vía involucra un costo, para el pavimento flexible y rígido se tomaron los mismos costos expuestos por Calle y Peñaloza (2017), y, para el pavimento articulado, se determinaron de acuerdo con los costos del Cantón en donde se ejecutó la investigación (ver Tabla 11).

**Tabla 11.** Tipos de tratamiento del pavimento articulado.

Nivel de servicio	Tipo de mantenimiento	Tipo de tratamiento	Costo (\$)	U
Muy bueno	Mantenimiento rutinario	Limpieza de vegetación	16.20	m <sup>2</sup>
Bueno		Relleno de juntas con arena	84.21	m <sup>2</sup>
Regular	Mantenimiento recurrente	Bacheo de adoquín	84.21	m <sup>2</sup>
Malo	Refuerzo	Estabilización de estructura	131.67	m <sup>2</sup>
Muy malo	Reconstrucción	Reconstrucción general	224.91	m <sup>2</sup>

Realizada la implementación de las matrices de Márkov para la vía Juan Vintimilla, de pavimento articulado, se presentaron tres escenarios de evolución del nivel de servicio. El primero, ejecutando un “Mantenimiento Rutinario”, el segundo, elaborando una “Reconstrucción”, y, el tercero, cuando se decide “No intervenir”, ver las Figuras 2, 3, y 4. Estos resultados nos permiten comparar como los niveles de servicio varían, dependiendo de la acción escogida para el mantenimiento de la vía.



**Figura 2.** Proyección de nivel de servicio con mantenimiento “Mantenimiento Rutinario”.

Reconstrucción					
Condición	Excelente	Muy Buena	Buena	Regular	Pobre
Excelente	95.00%	5.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Muy Buena	10.00%	80.00%	5.00%	0.00%	0.00%
Buena	3.00%	5.00%	80.00%	2.00%	0.00%
Regular	25.00%	15.00%	10.00%	45.00%	5.00%
Pobre	50.00%	0.00%	0.00%	0.00%	50.00%

Numero de Años	Excelente	Muy Buena	Buena	Regular	Pobre
0	30%	29%	41%	0%	0%
1	32%	27%	35%	1%	0%
2	35%	25%	29%	1%	0%
3	37%	23%	25%	1%	0%
4	38%	22%	21%	1%	0%
5	39%	21%	18%	1%	0%
6	40%	19%	15%	1%	0%
7	41%	18%	13%	1%	0%
8	41%	18%	12%	1%	0%
9	41%	17%	10%	0%	0%
10	41%	16%	9%	0%	0%
11	41%	15%	8%	0%	0%
12	41%	15%	7%	0%	0%

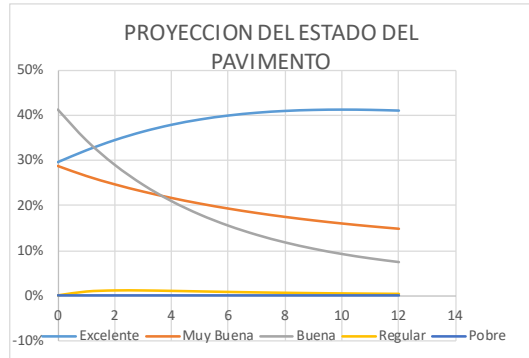
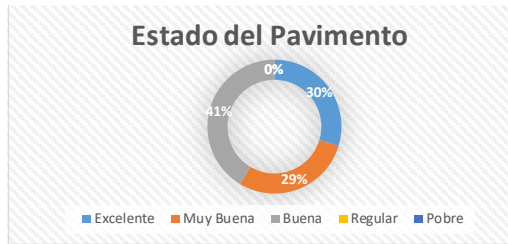


Figura 3. Proyección de nivel de servicio con mantenimiento "Reconstrucción".

Sin Intervención					
Condición	Excelente	Muy Buena	Buena	Regular	Pobre
Excelente	85.00%	6.00%	5.00%	3.00%	1.00%
Muy Buena	0.00%	72.00%	15.00%	8.00%	5.00%
Buena	0.00%	0.00%	64.00%	20.00%	16.00%
Regular	0.00%	0.00%	0.00%	50.00%	60.00%
Pobre	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

Numero de Años	Excelente	Muy Buena	Buena	Regular	Pobre
0	30%	29%	41%	0%	0%
1	25%	23%	32%	11%	8%
2	21%	18%	25%	15%	22%
3	18%	14%	20%	15%	36%
4	15%	11%	16%	13%	49%
5	13%	9%	13%	11%	60%
6	11%	7%	10%	9%	69%
7	10%	6%	8%	7%	76%
8	8%	5%	7%	6%	83%
9	7%	4%	5%	5%	88%
10	6%	3%	4%	4%	92%
11	5%	3%	4%	3%	95%
12	4%	2%	3%	3%	98%

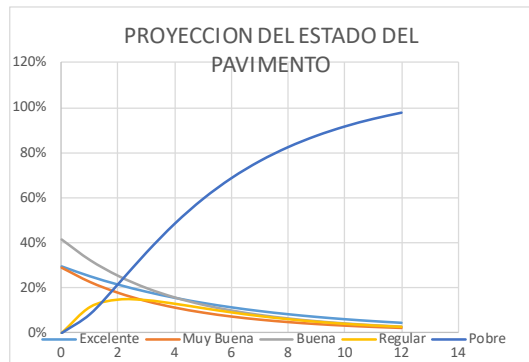
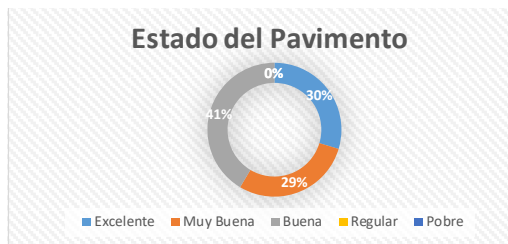


Figura 4. Proyección de nivel de servicio con mantenimiento "Sin Intervención".

Los porcentajes que permiten obtener las curvas de evolución de los niveles de servicio de las vías, de acuerdo a cada tipo de mantenimiento, son establecidas mediante tres factores; el primero, en base a las curvas de deterioro que estas presentan y la evolución de los deterioros con el paso del tiempo, seguido de la información brindada por parte de los expertos quienes realizan los mantenimientos a las vías en donde se involucran procesos de construcción, y, por último, el criterio del investigador. Permitiendo obtener valores que varien de acuerdo con la zona de estudio y del criterio del investigador.

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha presentado en este trabajo la determinación del PCI e ICP con el fin de obtener un nivel de servicio que permita tomar la mejor decisión sobre el tipo de mantenimiento a ejecutar, de tal forma que se pueda mejorar o mantener el nivel de servicio actual de las vías del centro urbano del cantón Girón, las cuales se han tomado como muestra para la aplicación de esta investigación.

A través de la sistematización de la metodología del ICP y los valores aplicados para la matriz de Márkov, se agilitó el proceso de obtención de resultados del nivel de servicio, valores ponderados y evolución del nivel de servicio en el tiempo; esto, junto a la interpretación de los resultados de la red vial, permiten tomar las decisiones adecuadas referentes a los mantenimientos que se deben ejecutar y/o que se ejecutarán. La evolución de un nivel de servicio es un factor importante para planificar a futuro mantenimientos preventivos, correctivos o reconstrucciones, los cuales, ejecutados de manera adecuada, aminoran costos.

Finalmente, los niveles de servicio de la zona de estudio reflejan que, en promedio, el estado de los diferentes tipos de pavimentos es bueno, y se sugiere que los mantenimientos a ejecutar sean el preventivo y el recurrente; sin embargo, haciendo un análisis exhaustivo se puede verificar que existen tramos aislados donde su nivel de servicio es malo o regular y la única opción de mantenimiento es la reconstrucción. En particular, el tipo de pavimento rígido presenta condiciones regulares debido al alto tráfico que soporta y lo más recomendable es la ejecución de mantenimientos correctivos, antes que su nivel de servicio disminuya y la única opción sea la reconstrucción. Adicionalmente, se promueve y recomienda ejecutar un catastro vial; el cual permita mantener actualizados los niveles de servicio de la red vial mediante constantes evaluaciones.

#### REFERENCIAS

- Acosta. (2010). *MS Excel 2007 con Programación de Macros en VBA*. Retrieved from <http://www.aulaexcelavanzado.blogspot.com/>
- García Saavedra, H. I. (2015). *Evaluación de las patologías de la superficie de rodadura del pavimento flexible de la Av. Andrés Razuri (Cuadras 1 a la cuadra 5)*. Tambo Grande, Piura, Perú. Retrieved from <http://repositorio.uladech.edu.pe/handle/123456789/260>
- Higuera Sandoval, C. H., Pacheco Merchán, Ó. F. (2010). Patología de pavimentos articulados. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 75-94.
- Jacob, Odetti. (2014). *Cadenas de Márkov*. Retrieved from <http://www.bioingenieria.edu.ar/academica/catedras/metestad/Cadenas%20de%20Markov-1.pdf>
- Macías, D. (2016). *Estudio de fallas que presenta la carpeta asfáltica con alternativas solución-diagnostico PCI en la vía Sasay Cantón Santa Ana*. Universidad Estatal del sur de Manabí, Manabí, Ecuador.
- Mero, C. (2015). *Evaluación de deterioros en el pavimento flexible de la calle Tungurahua Ciudad Jipijapa.pdf*. Universidad Estatal del sur de Manabí, Manabí, Ecuador.
- Rodríguez Velásquez, E. (2012). *Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla*. Retrieved from <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1350>
- Vásquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*. 90 p. Disponible en <https://snavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>
- Yan “Jane” Jiang. (2016). *Long-term pavement performance program - Pavement performance measures and forecasting and the effects of maintenance and rehabilitation strategy on treatment effectiveness*. US Department of Transportation, FHWA Publication No.: FHWA-HRT-16-046, 16 p. Disponible en <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/16046/16046.pdf>