

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ARTICULADO EN
UN TRAMO DE VÍA URBANA DEL MUNICIPIO DE LA CALERA
CUNDINAMARCA

SERGIO IVAN RUEDA RINCON

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTA
2017

RESUMEN

El proyecto consiste en la realización de una auscultación de las vías construidas en pavimento articulado del municipio de La Calera para luego determinar su índice de condición de acuerdo al método planteado en un artículo la revista de ingeniería de la universidad de Medellín titulado "PATOLOGIA DE PAVIMENTOS ARTICULADOS" examinando cada uno de los parámetros propuestos para dar una valoración sobre la eficacia del método, teniendo en cuenta los pocos textos y documentos que tratan este tema

Palabras clave.

Conservación vial, pavimento articulado, estado de vías, infraestructura vial, adoquín.

ABSTRACT

The project consists in the realization of an auscultation of the roads built in articulated pavement of the municipality of La Calera and then determine its condition index according to the method proposed in an article the engineering journal of the University of Medellín entitled "PATHOLOGY OF PAVEMENTS ARTICULATED "by examining each of the parameters proposed to give an assessment on the effectiveness of the method, taking into account the few texts and documents that deal with this topic.

Keywords.

Road conservation, articulated pavement, road conditions, road infrastructure, cobblestone.

Tabla de contenido

1.INTRODUCCION	8
2.GENERALIDADES DEL TRABAJO	9
2.1PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
2.1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	9
2.1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	9
2.2 JUSTIFICACIÓN	10
2.3 OBJETIVOS	11
2.3.1 OBJETIVO GENERAL	11
2.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	11
3 MARCOS DE REFERENCIA	12
3.1 MARCO CONCEPTUAL	12
3.1.1 DEFINICION DE PAVIMENTO	12
3.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS	12
3.1.3 CONDICIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE LOS PAVIMENTOS ... 13	
3.1.3.1 Condición estructural de los pavimentos	13
3.1.3.2 Condición funcional de los pavimentos	13
3.2 MARCO TEORICO	13
3.2.1 DESCRIPCION DEL METODO PLANTEADO PARA CALCULAR EL INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO ARTICULADO	13
3.2.2 LOCALIZACIÓN DEL TRAMO A ESTUDIAR	14
3.2.2.1 UBICACIÓN DELTRAMO	15
3.3 PRINCIPALES DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS ARTICULADOS	16
3.4 FORMULAS PLANTEDAS PARA EL CALCULO DEL INDICE DE CONDICION	25
3.4.1 CALCULO DE AREA TOTAL (AT) Y DEL PORCENTAJE DE ÁREA AFECTADA (%Aa)	25
3.4.2 CALCULO DEL PORCENTAJE DE ÁREA EQUIVALENTE AFECTADA, %Ae	25
3.4.3 CALCULO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL	25
3.4.4 CALCULO DE LA CONDICIÓN FUNCIONAL	25
4. METODOLOGIA	26
4.1 Fases del trabajo de grado	26
4.1.1 Fase 1 - Planeación del proyecto	26
4.1.2 Fase 2 - Desarrollo del proyecto	26
4.2 Instrumentos o herramientas utilizadas	26

5. PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO.....	27-28
5.1 CALCULO DEL PORCENTAJE DE AREA AFECTADA SEGÚN EL DAÑO...	29
5.2 CALCULO DEL INDICE DE CONDICION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO ICE.....	30
5.3 CALCULO DEL INDICE DE CONDICION FUNCIONAL DEL PAVIMENTO ICF.....	31
5.4 CALCULO DE INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO.....	32
6 CONCLUSIONES.....	33
7 RECOMENDACIONES.....	34
8 BIBLIOGRAFÍA.....	35

LISTA DE TABLAS

Nº DE TABLA	PAG
TABLA 1 clasificación general de los deterioros de pavimentos articulados..	15
TABLA 2 deformaciones.....	15
TABLA 3 desprendimientos.....	16
TABLA 4 desplazamientos.....	17
TABLA 5 fracturamientos.....	18
TABLA 6 otros deterioros.....	19
TABLA 7 tipo y factor de influencia por clase.....	21
TABLA 8 factores de penalización para el índice de condición estructural, ICE.....	22
TABLA 9 factores de penalización para el índice de condición funcional, ICF.....	23
TABLA 10 nivel de servicio y categorías de acción del ICP.....	24
TABLA 11 levantamiento de daños.....	28-29
TABLA 12 porcentaje de área afectada según daño.....	30
TABLA 13 cálculo del índice de condición estructural.....	31
TABLA 14 cálculo del índice de condición funcional.....	32
TABLA 15 matriz para el cálculo del ICP.....	33

LISTA DE FIGURAS

Nº DE FIGURA	PAG
Figura 1 estructura de diferentes tipos de pavimentos.....	11
Figura 2 Elementos estructurales de un pavimento de adoquines.....	12
Figura 3 El municipio dentro del departamento.....	13
Figura 4 Localización en planta del tramo evaluado	14
Figura 5 Perfil del tramo evaluado.....	14

1 INTRODUCCIÓN

Los pavimentos articulados han sido por mucho tiempo la solución a la movilidad, sin embargo no se les ha dado la importancia suficiente. Es así como se presenta la oportunidad de investigar sobre el estado de los métodos propuestos en Colombia para realizar una evaluación de un pavimento en adoquín. Alemania y los países bajos desarrollaron los adoquines de concreto al finalizar la segunda guerra mundial, con el paso del tiempo los pavimentos articulados han venido evolucionando presentando una serie de ventajas con respecto a los flexibles y los rígidos, como su duración y vida útil indefinida ya que los adoquines se pueden utilizar varias veces, son útiles en vías que no tengan instaladas las redes de servicios públicos, pues es sencillo levantarlos y volverlos a instalar, su construcción es económica ya que requiere poca maquinaria además mano de obra no calificada, los adoquines llegan con control de calidad previo, se puede construir y dar servicio inmediatamente, entre otros factores que lo hacen muy atractivo, sin embargo presenta la desventaja de producir demasiado ruido al paso de los vehículos.

2. GENERALIDADES DEL TRABAJO

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Los documentos y textos que se encuentran en el país sobre el tema de los pavimentos articulados son limitados, existe un trabajo de grado de la universidad tecnológica y pedagógica de Colombia y un artículo de la universidad de Medellín basado en este mismo trabajo de grado. Los pavimentos articulados deben ser estudiados ya que son una solución práctica y económica.

2.1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál es la metodología para obtener el índice de condición de los pavimentos articulados en Colombia?

2.2 JUSTIFICACIÓN

La conservación del patrimonio vial es parte primordial en la economía de un país departamento o municipio, puesto que el transporte terrestre es el principal medio de comunicación entre las diferentes regiones. Sin embargo, pese a que en los últimos años se han realizado grandes avances en la conservación y construcción de la red vial, no se han constituido sistemas de gestión de pavimentos adecuados que permitan llevar un monitoreo para elaborar planes de mantenimiento constante y reparaciones puntuales de los pavimentos, que detengan su deterioro y le den un periodo de vida más largo.

En el caso de los pavimentos articulados no contamos en el país con una metodología normalizada para llevar a cabo una auscultación y posterior cálculo del índice de condición del pavimento, por lo tanto es necesario llevar a cabo este tipo de trabajos que permitan aproximarnos a los daños que se ocasionan en la estructura de un pavimento articulado y propiamente en el adoquín, lo cual es fundamental a la hora de tomar decisiones sobre el procedimiento que se debe llevar a cabo, ya sea la reparación, la reconstrucción, el reforzamiento o el reciclaje del pavimento.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 OBJETIVO GENERAL

OBTENER EL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ARTICULADO EN UN TRAMO DE VÍA URBANA DEL MUNICIPIO DE LA CALERA CUNDINAMARCA MEDIANTE LA METODOLOGIA PLANTEADA EN EL ARTÍCULO PUBLICADO POR LA REVISTA DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN TITULADO “PATOLOGIA DE PAVIMENTOS ARTICULADOS”

2.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Realizar la auscultación a un tramo de vía construido en pavimento articulado en el municipio de la Calera Cundinamarca.
- ✓ Calcular el índice de condición funcional del pavimento articulado
- ✓ Calcular el índice de condición estructural del pavimento articulado
- ✓ Plantear las recomendaciones de las medidas a tomar en el tramo de vía

3 MARCOS DE REFERENCIA

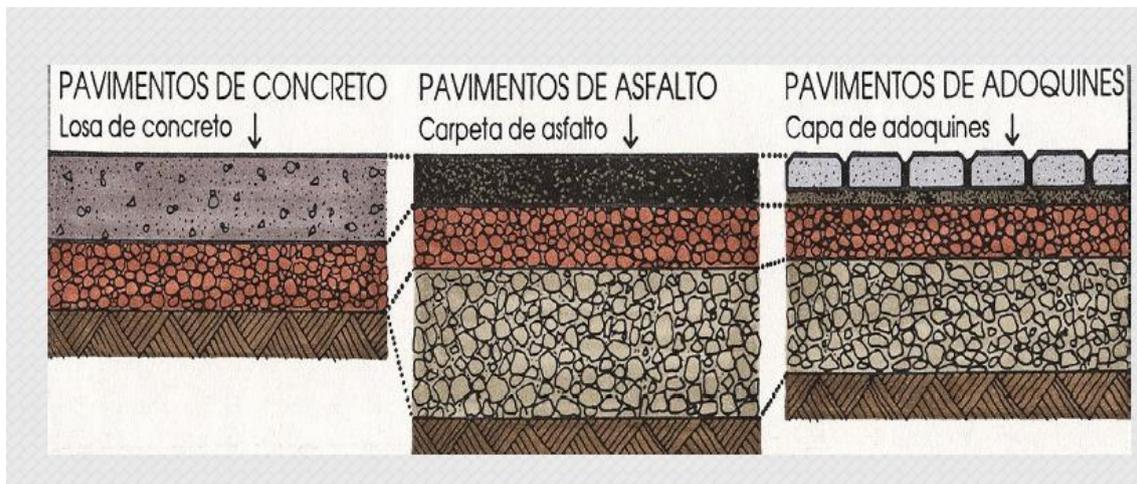
3.1 MARCO CONCEPTUAL

3.1.1 DEFINICION DE PAVIMENTO

Un pavimento es un conjunto de capas superpuestas, construidas con materiales seleccionados, cuya principal función es proteger la subrasante de los esfuerzos producidos por el tránsito y el deterioro producido por el clima.

3.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

Figura 1 estructura de diferentes tipos de pavimentos



Fuente: Instituto colombiano de productores de cemento

Flexibles

Se entiende por pavimento flexible al constituido por una o varias capas de concreto asfáltico o material bituminoso, en este tipo de pavimentos las cargas se transmiten en gran proporción a las capas inferiores.

Rígidos

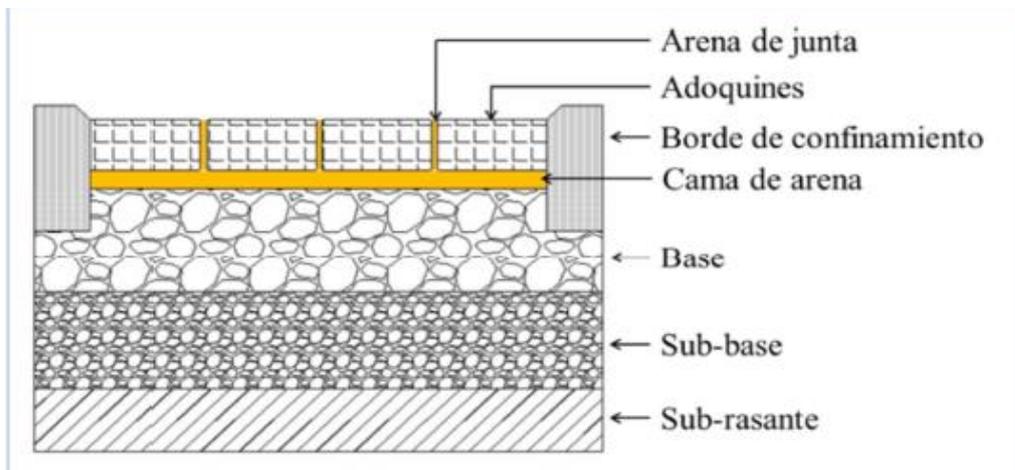
Son pavimentos que se componen de una losa de concreto hidráulico apoyado sobre una o varias capas de material granular, gracias a la elevada rigidez del concreto la distribución de esfuerzos se produce en un área bastante grande, por lo tanto la funcionalidad estructural de un pavimento rígido depende en gran parte de la losa de concreto y los materiales granulares no influyen drásticamente en el espesor de la losa de concreto.

Articulados

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura elaborada con piezas de concreto prefabricadas, llamadas adoquines, estos deben tener una resistencia adecuada para soportar las cargas del tránsito y el desgaste. Las juntas deben llenarse con arena para que la estructura trabaje como un todo, bajo los adoquines va una capa de arena y bajo esta un material

granular seleccionado, los bordillos son fundamentales para confinar los adoquines y estos puedan funcionar correctamente.

Figura 2 Elementos estructurales de un pavimento de adoquines



Fuente: (ASCE, 2010)

3.1.3 CONDICIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DE LOS PAVIMENTOS

3.1.3.1 Condición estructural de los pavimentos

El pavimento sirve para distribuir las cargas bajo las ruedas de los vehículos, sobre áreas suficientemente amplias como para evitar tensiones, la carga de la rueda sobre la superficie del pavimento se aplica en un área muy reducida, causando grandes tensiones, estas tensiones van disminuyendo con la profundidad.

3.1.3.2 Condición funcional de los pavimentos

Esta condición está relacionada con el confort del usuario, es la condición más notoria e importante para el conductor y pasajeros, tiene que ver con la rugosidad y el grado de pulimiento de la capa de rodadura cualquiera que esta sea.

3.2 MARCO TEORICO

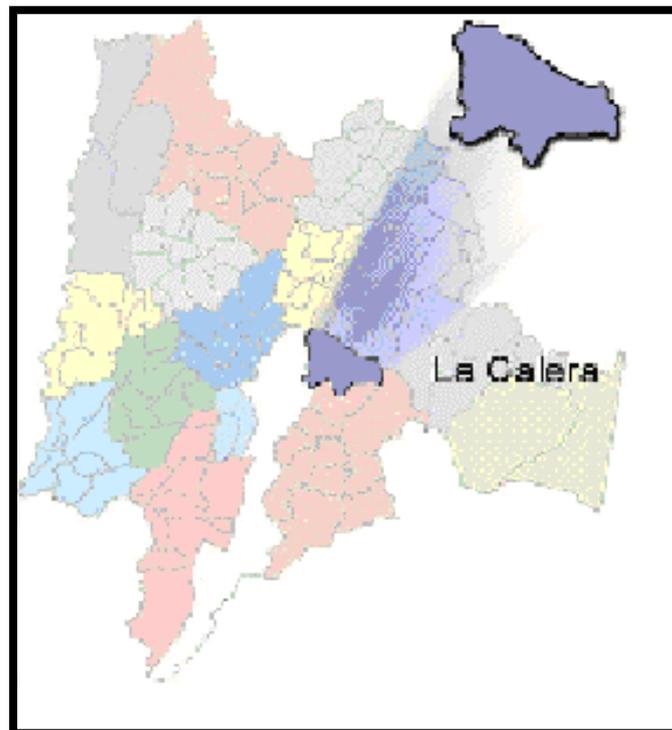
3.2.1 DESCRIPCION DEL METODO PLANTEADO PARA CALCULAR EL INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO ARTICULADO

El método presentado en el artículo de la revista "ingenierías" de la universidad de Medellín "PATOLOGIA DE PAVIMENTOS ARTICULADOS" presenta una serie de pasos, factores y fórmulas que tienen el objetivo de calcular el índice de condición de un pavimento articulado. Según el citado artículo lo primero que debemos hacer es el inventario de deterioros para identificar el tipo y grado de influencia de los deterioros, luego se determinan los factores de penalización (PI, FNS) y simultáneamente el área total del tramo y el porcentaje de influencia de cada daño, posteriormente se realiza una interpolación del

factor de penalización por área, con estos datos y aplicando las ecuaciones expuestas se calcula el índice de condición tanto funcional como estructural del pavimento y por ultimo con estos dos factores se entra a una tabla que nos da el índice de condición del pavimento en una escala del 1 al cinco donde 1 es un pavimento muy malo y 5 muy bueno

3.2.2 LOCALIZACIÓN DEL TRAMO A ESTUDIAR

Figura 3 El municipio dentro del departamento

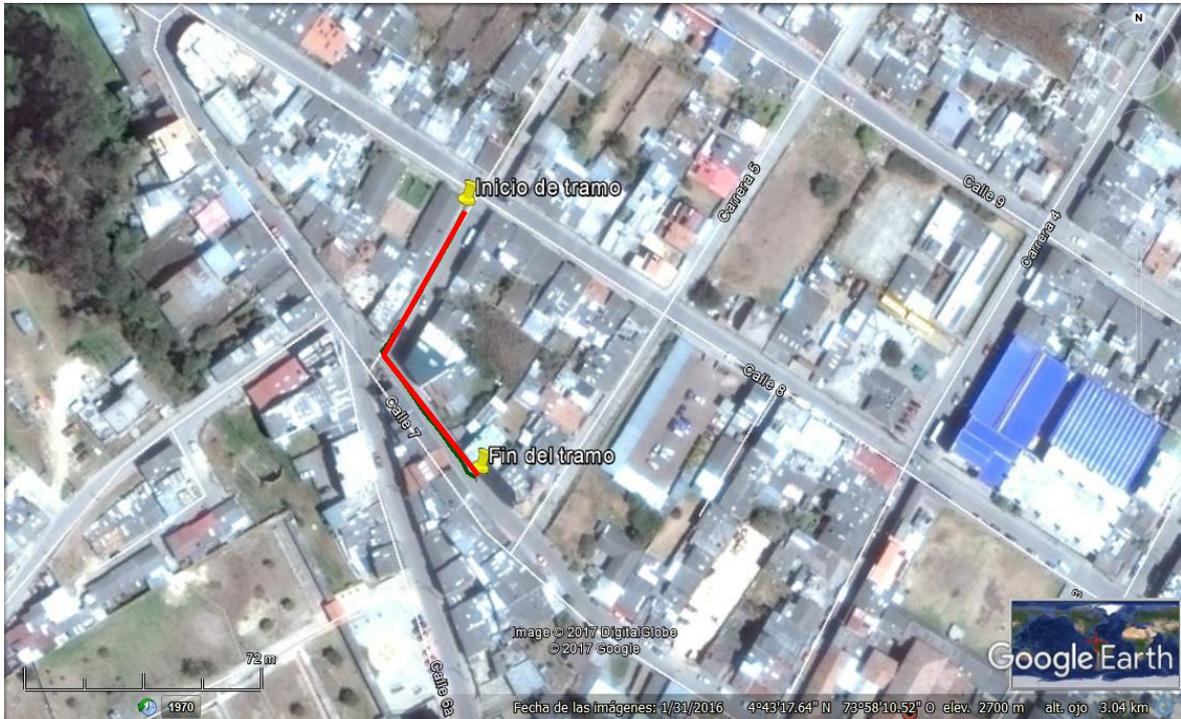


Fuente: www.lacalera-cundinamarca.gov.co

El municipio de la calera está localizado al oriente del departamento de Cundinamarca, pertenece a la región del Guavio, tiene una extensión de 485 km², altitud de 2746 msnm y una población según el último censo de 27527 habitantes, como punto de referencia se encuentra a una distancia de 18 km de Bogotá, se compone de 30 veredas.

3.2.2.1 UBICACIÓN DEL TRAMO

Figura 4 Localización en planta del tramo evaluado



Fuente: Google Earth

Figura 5 Perfil del tramo evaluado



Fuente: Google Earth

3.3 PRINCIPALES DETERIOROS EN LOS PAVIMENTOS ARTICULADOS

TABLA 1 CLASIFICACION GENERAL DE LOS DETERIOROS DE PAVIMENTOS ARTICULADOS

CLASE	TIPO DE DETERIORO	SIMBOLO	UNIDAD
Deformaciones	Abultamiento	BA	m ²
	Ahuellamiento	AH	m ²
	Depresiones	DA	m ²
Desprendimientos	Desgaste Superficial	DS	m ²
	Perdida de Arena	PA	m ²
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	DB	m ²
	Desplazamiento de Juntas	DJ	m ²
Fracturamientos	Fracturamiento	FA	m ²
	Fracturamiento de confinamientos externos	CE	m ²
	Fracturamiento de confinamientos internos	CI	m ²
Otros deterioros	Escalonamiento entre adoquines	EA	m ²
	Escalonamiento entre adoquines y confinamiento	EC	m ²
	Juntas Abiertas	JA	m ²
	Vegetación en la calzada	VC	m ²

Fuente:(Higuera Sandoval & Pacheco Merchan, 2010)

TABLA 2 DEFORMACIONES

ABULTAMIENTO ,BA		
Descripción	Son levantamientos o protuberancias presentadas en la superficie del pavimento.	
CAUSAS		
SEVERIDAD	BAJA(B)	MENOR DE 20mm
	MEDIA(M)	ENTRE 20 Y 40 mm
	ALTA(A)	MAYOR A 40mm

AHUELLAMIENTO ,AH		
Descripción	Es la depresión que se presenta a lo largo del sentido del tránsito, bajo las huellas de los vehículos	
CAUSAS	Cargas de transito Consolidación de las capas inferiores Inadecuada compactación de las capas estructurales Estacionamiento de vehículos pesados durante largos periodos.	
SEVERIDAD	BAJA(B)	MENOR DE 20mm
	MEDIA(M)	ENTRE 20 Y 40 mm
	ALTA(A)	MAYOR A 40mm

DEPRESIONES ,DA		
Descripción	Son hundimientos localizados en forma circular o semejante, sin pérdida de material	
CAUSAS	Asentamiento en el suelo de fundación Fallas en la capa de arena cuando las partículas se degradan Un inadecuado drenaje o la falta de mantenimiento de este	
SEVERIDAD	BAJA(B)	MENOR DE 20mm
	MEDIA(M)	ENTRE 20 Y 40 mm
	ALTA(A)	MAYOR A 40mm

Fuente:(Higuera Sandoval & Pacheco Merchan, 2010)

TABLA 3 DESPRENDIMIENTOS

DESGASTE SUPERFICIAL,DS		
Descripción	Es la perdida de finos en la superficie del adoquín, creando una textura rugosa, se forman cavidades quedando expuesto el material grueso.	
CAUSAS	Baja calidad y/o control en la fabricación de los adoquines Por la abrasión de las llantas Exposición constante a flujos de aguas a presión	
SEVERIDAD	BAJA(B)	Desgaste superficial aislado. Área $\leq 0,5m^2$
	MEDIA(M)	Desgaste en gran extensión de área y de forma continua, únicamente con pérdidas de finos. Área $> 0,5m^2$
	ALTA(A)	Desgaste en gran extensión de área y de forma continua, únicamente con pérdidas de agregado grueso y formación de concavidades. Área $> 0,5m^2$

PERDIDA DE ARENA,PA		UNIDAD: m^2
Descripción	Es la aparición de partículas de arena alrededor y sobre los adoquines.	
CAUSAS	Arrastre de material fino por expulsión de agua al paso de los vehículos. Juntas abiertas Desplazamiento de juntas	
SEVERIDAD	BAJA(B)	Se presenta en zonas aisladas y solamente se aprecia perdida de la arena de sello. Área inferior a $0,5m^2$
	MEDIA(M)	Se presenta en áreas superiores a $0,5m^2$
	ALTA(A)	Se presentan asentamientos y perdida de los perfiles del pavimento.

Fuente:(Higuera Sandoval & Pacheco Merchan, 2010)

TABLA 4 DESPLAZAMIENTOS

DESPLAZAMIENTO DE BORDE, DB		UNIDAD:m ²
Descripción	Son corrimientos localizados de los adoquines junto a los elementos de confinamiento.	
CAUSAS	-Falla localizada en el lugar de construcción del elemento, inadecuada construcción y diseño del elemento de confinamiento. -Por las cargas del tránsito.	
SEVERIDAD	BAJA(B)	Los adoquines aún están en su posición original y el desplazamiento de borde es menor a 2cm.
	MEDIA(M)	Los adoquines se desplazan de su posición original y el desplazamiento de borde esta entre 2 y 5 cm.
	ALTA(A)	Los adoquines se desplazan de su posición original, algunas piezas ya se salieron del pavimento y el desplazamiento de borde es superior a 5 cm.

DESPLAZAMIENTO DE JUNTAS, DJ		UNIDAD:m ²
Descripción	Los adoquines se apartan de su alineamiento inicial. Generalmente se da en hiladas de adoquines rectangulares.	
CAUSAS	-En zonas de frenado. -En sitios de lata pendiente. -Por falta de confinamientos transversales o porque estos no están a una distancia adecuada.	
SEVERIDAD	BAJA(B)	La separación promedio de las aberturas de las juntas es menor a 5mm.
	MEDIA(M)	Se presenta en zonas con áreas superiores a 0.5 m ²
	ALTA(A)	La separación promedio de las aberturas de las juntas esta entre 5 y 10 mm.

Fuente:(Higuera Sandoval & Pacheco Merchan, 2010)

TABLA 5 FRACTURAMIENTOS

FRACTURAMIENTO, FA		UNIDAD:m ²
Descripción	Son corrimientos localizados de los adoquines junto a los elementos de confinamiento.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> -Inadecuado espesor de los adoquines -Inadecuado espesor de las capas de apoyo -Deficiencia en la calidad de los materiales de la capa de apoyo y/o de los adoquines -Paso de cargas extraordinarias 	
SEVERIDAD	BAJA(B)	Fractura de adoquines de manera aislada. Área menor a 0.5 m ²
	MEDIA(M)	Fractura de adoquines en un área de extensión considerable y de forma continua. Área igual o superior a 0.5 m ²
	ALTA(A)	Fractura de adoquines en un área de extensión considerable y de forma continua. Se presenta pérdida de material, se forman concavidades que generan una textura rugosa. Área igual o superior a 0.5 m ²

FRACTURAMIENTO DE CONFINAMIENTO EXTERNOS, CE		UNIDAD:m ²
Descripción	Es el deterioro y destrucción parcial o total de los confinamientos externos. En estados avanzados de deterioro, se presenta pérdida de material, permitiendo la incrustación de partículas y objetos extraños al pavimento.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> -Fatiga provocada por el paso del tránsito -Baja calidad de los materiales y/o precario control en el proceso de construcción. -Por impacto de las llantas de los vehículos, cuando los confinamientos están a un nivel superior al de la rasante de la carretera. -Por invasión de vegetación -Por retracción del concreto (si este es en concreto) 	
SEVERIDAD	BAJA(B)	Se presentan fisuras menores a 3mm.
	MEDIA(M)	El elemento presenta grietas (>3mm) y aún se mantiene en su lugar, sirviendo como confinamiento.
	ALTA(A)	El elemento presenta grietas (>3mm), pero ya se ha desplazado de su ubicación inicial y no impide el desplazamiento lateral de los adoquines.

FRACTURAMIENTO DE CONFINAMIENTO INTERNOS, CI		UNIDAD:m ²
Descripción	Es el deterioro y destrucción parcial o total de los confinamientos internos. En estados avanzados de deterioro se presenta pérdida de material, permitiendo la incrustación de partículas y objetos extraños al pavimento.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> -Fatiga provocada por el paso del tránsito -Baja calidad de los materiales y/o precario control en el proceso de construcción. -Por impacto de las llantas de los vehículos, cuando los confinamientos están a un nivel superior al de la rasante de la carretera. -Por invasión de vegetación -Por retracción del concreto (si este es en concreto) 	
SEVERIDAD	BAJA(B)	Se presentan fisuras menores a 3mm
	MEDIA(M)	El elemento presenta grietas (>3mm), no se presentan pérdidas de material y aún se mantiene en su lugar, sirviendo como confinamiento.
	ALTA(A)	El elemento presenta grietas (>3mm), se presenta pérdida de material; permitiendo la incrustación de basura y demás partículas u objetos extraños al pavimento. El elemento no impide el desplazamiento longitudinal y lateral de los adoquines.

Fuente:(Higuera Sandoval & Pacheco Merchan, 2010)

TABLA 6 OTROS DETERIOROS

ESCALONAMIENTO ENTRE ADOQUINES, EA		UNIDAD:m ²
Descripción	Es el cambio brusco de nivel entre hiladas de adoquines.	
CAUSAS	<ul style="list-style-type: none"> -Error constructivo, debido a la falta de control y/o precarias técnicas de construcción. - Torsión ocasionadas por las cargas del tránsito. -El patrón de diseño de colocación de los adoquines no es el más apropiado. 	
SEVERIDAD	BAJA(B)	La altura del desnivel promedio es menor a 5 mm.

	MEDIA(M)	La altura del desnivel promedio esta entre 5 y 10 mm.
--	----------	---

ESCALONAMIENTO ENTRE ADOQUINES Y CONFINAMIENTOS, EC		UNIDAD:m ²
Descripción	Es el cambio brusco de nivel entre los elementos de confinamiento y los adoquines.	
CAUSAS	-Debido a la variación del nivel superior del elemento de confinamiento con los adoquines al momento de construcción. -La cota de rasante del adoquinado quedo a un nivel superior, o en su defecto, inferior al elemento de confinamiento cuando se construyó el adoquinado.	
SEVERIDAD	BAJA(B)	La altura del desnivel promedio es menor a 5 mm.
	MEDIA(M)	La altura del desnivel promedio esta entre 5 y 10 mm.
	ALTA(A)	La altura del desnivel promedio es mayor a 10 mm.
	ALTA(A)	La altura del desnivel promedio es mayor a 10 mm.

JUNTAS ABIERTAS, JA		UNIDAD:m ²
Descripción	Es una separación entre juntas superior a 3 mm, permitiendo la perdida de arena de sello y la incrustación de partículas través de las juntas, propiciando la destrucción de las aristas de los adoquines.	
CAUSAS	-Por efecto de las cargas del transito -Confinamientos inadecuados o la falta de estos. -Falta del sello de juntas -Error constructivo debido a la falta de control y/o precarias técnicas de construcción.	
SEVERIDAD	BAJA(B)	Separación entre juntas menores a 5 mm.
	MEDIA(M)	Separación entre juntas entre 5 y 10 mm.
	ALTA(A)	Separación entre juntas mayores a 10 mm.

VEGETACION EN LA CALZADA, VC		UNIDAD:m ²
Descripción	Es la invasión o crecimiento de vegetación a través de las juntas en la calzada. La vegetación puede llegar a levantar el adoquinado.	
CAUSAS	-Abandono de la carretera -Falta de limpieza y desmonte de las franjas adyacentes de la calzada.	
	BAJA(B)	Solo hay aparición de vegetación

SEVERIDAD		entre las juntas y es apenas apreciable.
	MEDIA(M)	La vegetación ya está por encima de los adoquines.
	ALTA(A)	La vegetación empieza a levantar los adoquines.

Fuente:(Higuera Sandoval & Pacheco Merchan, 2010)

TABLA 7 TIPO Y FACTOR DE INFLUENCIA POR CLASE

CLASE	TIPO DE DETERIORO	afecta parámetro		INFLUENCIA POR CLASE, FC	
		Estructural	Funcional	Estructural	Funcional
Deformaciones	Abultamiento	U	U	48	48
	Ahuellamiento	U	U		
	Depresiones	U	U		
Desprendimientos	Desgaste superficial		U	6	9
	Perdida de arena	U	U		
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	U	U	10	10
	Desplazamiento de juntas		U		
Fracturamientos	Fracturamiento	U		28	10
	Fracturamiento de confinamientos externos	U	U		
	Fracturamiento de confinamientos internos	U	U		
Otros deterioros	Escalonamiento entre adoquines	U	U	8	23
	Escalonamiento entre adoquines y confinamientos		U		
	Juntas abiertas		U		
	Vegetación en la calzada	U	U		
sumatoria				100	100

Fuente:(Higuera Sandoval & Pacheco Merchan, 2010)

TABLA 8 FACTORES DE PENALIZACION PARA EL INDICE DE CONDICION ESTRUCTURAL, ICE

Clase	Deterioro	Peso en su clase, PJ	Nivel severidad, FNS			% Área equivalente afectada, FA				
			Bajo	Medio	Alto	0	5	10	15	>15
Deformaciones	Abultamiento	1,2	1	1,15	1,3	0	0,5	0,6	0,76	1
	Ahuellamiento	1,2	1	1,15	1,3					
	Depresiones	1	1	1,1	1,2					
Desprendimientos	Perdida de arena	1	1	1,15	1,3	0	0,5	0,6	0,76	1
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	1	1	1,15	1,3	0	0,5	0,6	0,76	1
Fracturamientos	Fracturamiento	1,1	1	1,1	1,2	0	0,5	0,6	0,76	1
	Fracturamiento de confinamientos externos	1,2	1	1,15	1,3					
	Fracturamiento de confinamientos internos	1	1	1,1	1,2					
Otros deterioros	Vegetación en la calzada	1	0,8	1	1,2	0	0,5	0,6	0,76	1

Fuente:(Higuera Sandoval & Pacheco Merchan, 2010)

TABLA 9 FACTORES DE PENALIZACION PARA EL INDICE DE CONDICION FUNCIONSL, ICF

Clase	Deterioro	Peso en su clase, PJ	Nivel severidad, FNS			% Área equivalente afectada, FA				
			Bajo	Medio	Alto	0	5	10	15	>15
Deformaciones	Abultamiento	1,2	1	1,25	1,5	0	0,5	0,6	0,76	1
	Ahuellamiento	1,2	1	1,15	1,3					
	Depresiones	1	1	1,2	1,4					

Desprendimientos	Desgaste superficial	1,1	1	1,2	1,4	0	0,5	0,6	0,76	1
	Perdida de arena	1	1	1,15	1,3					
Desplazamientos	Desplazamiento de borde	1	1	1,15	1,3	0	0,5	0,6	0,76	1
	Desplazamiento de juntas	1	1	1,1	1,2					
Fracturamientos	Fracturamiento de confinamientos externos	1,2	1	1,15	1,3	0	0,5	0,6	0,76	1
	Fracturamiento de confinamientos internos	1	1	1,1	1,2					
Otros deterioros	Escalamiento entre adoquines	1,2	1	1,25	1,5	0	0,5	0,6	0,76	1
	Escalamiento entre adoquines y confinamientos	1,1	1	1,15	1,3					
	Juntas Abiertas	1	1	1,15	1,3					
	Vegetación en la calzada	1,1	1	1,15	1,3					

Fuente:(Higuera Sandoval & Pacheco Merchan, 2010)

TABLA 10 NIVEL DE SERVICIO Y CATEGORIAS DE ACCION DEL ICP

calificación ICP	Nivel de servicio	Categoría de acción	Descripción
5	Muy bueno	Mantenimiento rutinario	Pavimento en condiciones muy buena. El nivel de comodidad y seguridad percibido por los usuarios es satisfactorio. Ocasionalmente se presentan pequeños daños que no afecta significativamente la circulación y pueden ser evitados o corregidos en el mantenimiento rutinario.
4	Bueno	Mantenimiento rutinario y recurrente	Pavimento en condición buena, la circulación es cómoda. Se presentan daños localizados en etapa de iniciación.
3	Regular	Refuerzo-mantenimiento rutinario	Pavimento en estado regular, en donde la circulación deja de ser cómoda. Se presentan daños de manera constantemente en etapas avanzadas.

2	Malo	Rehabilitación	Pavimento en condición mala, la circulación es muy incómoda. Se presentan daños en etapas muy desarrolladas.
1	Muy malo	Reconstrucción	Pavimento en condición muy mala, la vía se vuelve intransitable. Los deterioros están muy desarrollados y son irreversibles. El pavimento está totalmente degradado.

Fuente:(Higuera Sandoval & Pacheco Merchan, 2010)

3.4 FORMULAS PLANTEDAS PARA EL CALCULO DEL INDICE DE CONDICION

3.4.1 CALCULO DE AREA TOTAL (A_T) Y DEL PORCENTAJE DE ÁREA AFECTADA ($\%A_a$).

$$\%A_{ai} = \frac{A_{ai}}{A_T} \times 100$$

Donde

$\%A_{ai}$: porcentaje del área afectada por el deterioro i.

A_a =Área afectada por el deterioro i.

A_T =Área total del tramo.

i:Deterioro.

3.4.2 CALCULO DEL PORCENTAJE DE ÁREA EQUIVALENTE AFECTADA, $\%A_e$.

$$\%A_{ei} = \sum (PI_j \times \%A_{aj} \times FNS_j)$$

Dónde:

$\%A_{ei}$ =porcentaje de área equivalente afectada para los deterioros de la clase i.

I: Clase de deterioro.

PI: peso del deterioro j en su clase i.

$\%A_{aj}$: Porcentaje de área afectada por el deterioro j.

FNS: Factor de penalización por nivel de severidad del deterioro j.

j:Deterioro

3.4.3 CALCULO DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL

$$ICE = 100 - \sum (FC_i \times FA_i)$$

3.4.4 CALCULO DE LA CONDICIÓN FUNCIONAL

$$ICF = 100 - \sum (FC_i \times FA_i)$$

Dónde:

FC: Factor de influencia por clase de deterioro en el índice.

FA: Factor de penalización por área afectada

4. METODOLOGIA

4.1 Fases del trabajo de grado

Para la formulación y desarrollo del proyecto se ha establecido la siguiente Metodología en dos principales fases:

Como primer paso, en escoger un tramo de vía construido en adoquín en el municipio de La Calera Cundinamarca, para luego realizar una auscultación de acuerdo a los parámetros sugeridos en las investigaciones anteriores, posteriormente con la información obtenida se aplicaron las ecuaciones correspondientes para hallar la condición funcional y estructural del pavimento y finalmente se obtiene el índice de condición del pavimento.

4.1.1 Fase 1 - Planeación del proyecto

La primera fase consiste en la planeación del proyecto, como resultado de esta se obtiene el anteproyecto, los pasos de manera general a llevar a cabo en esta son:

- ✓ Indagación sobre posibles problemáticas a investigar.
- ✓ Determinación de la problemática a investigar.
- ✓ Enunciación del título del proyecto.
- ✓ Formulación del anteproyecto.

4.1.2 Fase 2 - Desarrollo del proyecto

La segunda y fase final corresponde a la ejecución del proyecto, los pasos a llevar a cabo en esta, de manera general, son:

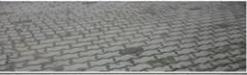
- ✓ Escoger un tramo de vía construido en adoquín en el municipio de La Calera Cundinamarca, para luego realizar una auscultación de acuerdo a los parámetros sugeridos en las investigaciones anteriores, posteriormente con la información obtenida se aplicaron las ecuaciones correspondientes para hallar la condición funcional y estructural del pavimento y finalmente se obtiene el índice de condición del pavimento.
- ✓ Conclusiones y recomendaciones.
- ✓ Elaboración informe final.

4.2 Instrumentos o herramientas utilizadas

Las herramientas a utilizar, son:

- ✓ Vehículo
- ✓ Computador
- ✓ Impresora
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Odómetro
- ✓ Flexómetro
- ✓ Regla
- ✓ Implementos de papelería

5 PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR EL INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO TABLA11 LEVANTAMIENTO DE DAÑOS

#	CALZADA(m)	UBICACIÓN	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	DAÑO	PROFUNDIDAD (m)	SEVERIDAD	LARGO(m)	ANCHO(m)	AREA	OBSERVACION	FOTO
1	6	centro	K0+012.3	K0+013.3	DA	0.04	MEDIA	1	0,9	0,9		
2	6	centro	k0+013.5	k0+014.4	DA	0.022	MEDIA	0,9	0,8	0,72		
3	6	derecha	K0+013.5	K0+017.5	FA	NA	MEDIA	4	2	8		
Página 1						Página 5						
4	6	izquierda	K0+016.1	K0+020.1	AH	0.015	BAJA	4	0,7	2,8		
5	6	centro	K0+018.8	K0+021.8	DA	0.06	ALTA	3	0,9	2,7		
6	6	izquierda	K0+018.8	K0+025.8	FA	NA	MEDIA	7	3	21		
7	6	centro	K0+026.5	K0+027.2	DA	0.015	BAJA	0,7	1	0,7		
8	6	derecha	K0+027.4	K0+028.3	DA	0.05	ALTA	0,9	0,6	0,54		
9	6	centro	K0+030	K0+033	DA	0.04	MEDIA	3	0,9	2,7		
10	6	centro	K0+036.2	K0+037.54	DA	0.024	MEDIA	1,34	1,4	1,876		
11	6	centro	K0+040	K0+041.4	DA	0.075	ALTA	1,4	1,4	1,96		
Página 2						Página 6						
12	6	centro	K0+040	K0+041	JA	0.05	MEDIA	1	1	1		
13	6	izquierda	K0+040	K0+040.65	DA	0.025	MEDIA	0,65	0,8	0,52		

#	CALZADA(m)	UBICACIÓN	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL	DAÑO	PROFUNDIDAD (m)	SEVERIDAD	LARGO(m)	ANCHO(m)	AREA	OBSERVACION	FOTO
14	6	izquierda	K0+042.2	K0+043.2	RELLENO	NA		1	1,1	1,1		
15	6	centro	K0+042.2	K0+044.2	EA	NA	MEDIA	2	0,5	1		
16	6	izquierda	K0+043	K0+043.76	DA	0.06	ALTA	0,76	0,8	0,608		
17	6	izquierda	K0+046.4	K0+047.2	EA		MEDIA	0,8	0,6	0,48		
18	6	derecha	K0+052.9	K0+055.4	DA	0.10	ALTA	2,5	2,4	6	daño severo	
19	4.2	derecha	K0+056.5	K0+056.5						0	pozo	
20	4.2	todo	K0+061.3	K0+064.8	FA	NA	MEDIA	3,5	0,6	2,1		
21	4.2	centro	K0+076.1	K0+089.1	DA	0.055	ALTA	13	1	13		
22	4.2	izquierda	K0+084.5	K0+084.5						0	pozo	
23	4.2	izquierda	K0+087.7	K0+089.7	AH	0.27	MEDIA	2	0,7	1,4		
24	4.2	izquierda	K0+092.4	K0+093.8	DA	0.03	MEDIA	1,4	0,9	1,26		
25	4.2	izquierda	K0+098.1	K0+0101.1	DA	0.028	MEDIA	3	0,7	2,1		
26	4.2	izquierda	K0+102.6	K0+105.9				3,3	1,78	5,874	Cemento	

Fuente: Elaboración propia

5.1 CALCULO DEL PORCENTAJE DE AREA AFECTADA SEGÚN EL DAÑO

EL Tramo evaluado se compone de dos partes una de 55,4 m con un ancho de 6 m y otro de 44,6 m con un ancho de 4,20m; entonces el área total es $(55,4m \times 6m + 44,6m \times 4,20m) = 332,4m^2 + 187,32m^2 = 519,72m^2$. Luego se hace la relación entre el área total y el área afectada por el daño específico dependiendo su severidad.

Tabla 12

PORCENTAJE DE AREA AFECTADA SEGÚN DAÑO											
DA			%Aa	AH			%Aa	EA			%Aa
BAJA	0,7	m2	0,14	BAJA	2,8	m2	0,54	BAJA		m2	0,00
MEDIA	10,076	m2	1,94	MEDIA	1,4	m2	0,27	MEDIA	1,48	m2	0,29
ALTA	24,808	m2	4,79	ALTA	0	m2	0,00	ALTA		m2	0,00
FA			%Aa	JA			%Aa				
BAJA		m2	0,00	BAJA		m2	0,00				
MEDIA	31,1	m2	6,00	MEDIA	1	m2	0,19				
ALTA		m2	0,00	ALTA		m2	0,00				

Fuente: Elaboración propia

5.2 CALCULO DEL INDICE DE CONDICION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO ICE

Tabla 13

CALCULO DEL INDICE DE CONDICION ESTRUCTURAL														
				%Aa por nivel de severidad			%Área equivalente afectada, FA					FAi	FCixFAi	
Clase	FC1	Símbolo	Peso en su clase, PI	Bajo	Medio	Alto	%Ae	0	5	10	15	>15		
Deformaciones	48	BA	1,2	0	0	0	9,04	0	0,5	0,6	0,76	1	0,58	28
		AH	1,2	0,54	0,27	0								
		DA	1	0,1351	1,9448	4,79								
Desprendimientos	6	PA	1	0	0	0	0	0,5	0,6	0,76	1	0	0	
Desplazamientos	10	DB	1	0	0	0	0	0,5	0,6	0,76	1	0	0	
Fracturamientos	28	FA	1,1	0	6	0	7,26	0	0,5	0,6	0,76	1	0,54	15
		CE	1,2	0	0	0								
		CI	1	0	0	0								
Otros deterioros	8	VC	1	0	0	0	0	0,5	0,6	0,76	1	0	0	
												Sumatoria(FCixFAi)	43	

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del porcentaje del nivel de severidad se toma el área total del tramo estudiado y se relaciona con cada daño. para calcular el porcentaje equivalente de área afectada tenemos la tabla 8 y 9 presentadas en el método “factores de penalización para el índice de condición estructural y funcional respectivamente”, con estas tablas se realiza una interpolación de acuerdo al porcentaje de nivel de severidad obtenidos.

$$ICE=100 - \sum(FC_i \times FA_i)$$

$$ICE=100-43=57$$

5.3 CALCULO DEL INDICE DE CONDICION FUNCIONAL DEL PAVIMENTO ICF

TABLA 14 CALCULO DEL INDICE DE CONDICION FUNCIONAL														
				%A _a por nivel de severidad				%Área equivalente afectada, FA					FA _i	FC _i xFA _i
Clase	FC ₁	Símbolo	Peso en su clase, PI	Bajo	Medio	Alto	%A _e	0	5	10	15	>15		
Deformaciones	48	BA	1,2	0	0	0	10,20	0	0,5	0,6	0,76	1	0,61	29,3
		AH	1,2	0,54	0,27	0								
		DA	1	0,1351	1,9448	4,79								
Desprendimientos	9	DS	1	0	0	0	0,00	0	0,5	0,6	0,76	1	0	0
		PA	1	0	0	0								
Desplazamientos	10	DB	1,1	0	0	0	0,00	0	0,5	0,6	0,76	1	0	0
		DJ	1,2	0	0	0								
Fracturamientos	10	CE	1	0	0	0	0,00	0	0,5	0,6	0,76	1	0	0
		CI	1	0	0	0								
Otros deterioros	23	EA	1,2	0	0,28	0	0,64	0	0,5	0,6	0,76	1	0,064	1,5
		EC	1,11	0	0	0								
		JA	1	0	0,19	0								
		VC	1,1	0	0	0								
													Sumatoria(FC _i xFA _i)	31

Fuente: Elaboración propia

$$ICF = 100 - \sum (FC_i \times FA_i)$$

$$ICF = 100 - 31 = 69$$

5.4 CALCULO DE INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO

TABLA 15 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 Sandoval & Pacheco Merchan, 2010)

Según la tabla propuesta para calcular el índice de condición del pavimento entramos verticalmente con el índice de condición estructural obtenido de **57** que esta entre 41 y 70 (rojo) y horizontalmente con el índice de condición funcional obtenido de **69** el cual se encuentra entre 41 y 70 (Verde).Obteniendo un índice de condición del pavimento de 3.

ICP=3

Según la tabla 10 “nivel de servicio y categorías de acción del ICP”

Se obtiene una condición regular en el estado del pavimento y como sugerencia nos dice “*Pavimento en estado regular, en donde la circulación deja de ser cómoda. Se presentan daños de manera constantemente en etapas avanzadas*”

6 CONCLUSIONES

Según la condición visual de la vía estudiada podemos decir que el índice de condición calculado (3) es congruente. En este tramo de vía existen daños puntuales bastante avanzados que requieren “Refuerzo y mantenimiento rutinario” para evitar el continuo deterioro de la vía, se debe actuar pronto pues daños como hundimientos empiezan a empeorar constantemente debido a la acumulación de agua y al tránsito frecuente de vehículos. Es fundamental realizar la auscultación de las vías construidas en pavimento articulado porque esta es una herramienta fundamental en la gestión y programas de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos en adoquín. En la auscultación realizada en el presente trabajo se encontraron gran mayoría de fallas por hundimiento, estas causadas tal vez por pasos de tuberías mal compactadas.

El método trabajado resulta ser una herramienta importante para tener una idea del estado de un pavimento articulado, es un método sencillo ya que trabaja todos los daños por unidad de área, lo que facilita los cálculos de cada uno de los índices de estado.

7 RECOMENDACIONES

Es necesario realizar más estudios sobre las diferentes patologías de los pavimentos articulados, pues daños funcionales encontrados en el presente trabajo como residuos de cemento adheridos a los adoquines no se encuentran descritos, daños estructurales graves como pérdida total de los adoquines y daños en las capas inferiores no se tienen en cuenta, otro factor importante a considerar es el amplio rango que se tiene en el método para el cálculo del porcentaje de afectación haciendo que el método pierda algo de exactitud y precisión.

8 BIBLIOGRAFÍA

Higuera Sandoval, C. H., & Pacheco Merchan, O. F. (2010). PATOLOGIA DE PAVIMENTOS ARTICULADOS. *Revista ingenierias Universidad de Medellin*, 93.

<https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/2-uncategorised/2706-clasificacion-de-las-carreteras>

<https://www.dnp.gov.co/Paginas/inicio.aspx>

REYES LIZCANO, F. A. (2003). Diseño Racional de Pavimentos. Pontificia Universidad Javeriana y Escuela Colombiana de Ingeniería, 1a edición, Bogotá D. C.

Montejo, A.(2006) Ingeniería de pavimentos. Universidad Católica de Colombia. Bogotá D.C. Colombia.

Ministerio de Transporte., (2008) Instituto nNacional de vías., Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos de carreteras., Bogotá D.C., 2008.