



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**EL TRÁFICO VEHICULAR Y SU INFLUENCIA EN LA  
APARICIÓN DE FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA  
AVENIDA LOS MAESTROS EN EL DISTRITO DE ICA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
ANTICONA BERAÚN CRISTIAN JOEL**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**ICA - PERÚ**

**2017**

**DEDICATORIA:**

A Dios por guiarme en mi formación como Ingeniero civil.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres por haberme proporcionado la educación y lecciones de vida.

A mi tía Bertha Ormeño, Ysabel Goyas y Victor Gallegos por su carácter y la confianza que saben brindarme.

A Patricia Vidal que me premio con un maravilloso hijo: Lyam.

## **RECONOCIMIENTO**

A las autoridades y docentes de la escuela profesional de Ingeniería Civil - Universidad Privada "Alas Peruanas" de Ica, quienes me han brindado el apoyo suficiente para poder realizar el presente trabajo de investigación.

# ÍNDICE

CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RECONOCIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	x

## CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL	3
1.2.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL	3
1.3. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN	3
1.3.1. PROBLEMA PRINCIPAL	3
1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	4
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5. HIPÓTESIS Y VARIABLES	5
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL	5
1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA	5
1.5.3. VARIABLES (OPERACIONALIZACIÓN)	6
1.6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
1.6.1 TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	7

a) TIPO DE INVESTIGACIÓN	7
b) NIVEL DE INVESTIGACIÓN	7
1.6.2 MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	7
a) MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	7
b) DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	7
1.6.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	8
a) POBLACIÓN	8
b) MUESTRA	8
1.6.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	8
a) TÉCNICAS	8
b) INSTRUMENTOS	8
1.6.5 JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA Y LIMITACIONES	8
a) JUSTIFICACIÓN	8
b) IMPORTANCIA	9

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	10
2.2 BASES TEÓRICAS	13
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	48

**CAPÍTULO III**  
**PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

3.1	ANÁLISIS DE TABLAS Y GRÁFICOS	61
3.1.1	PRUEBA DE HIPÒTESIS	73
3.2	CONCLUSIONES	78
3.3	RECOMENDACIONES	79
3.4	FUENTES DE INFORMACIÓN	80
3.5	ANEXOS	82
3.5.1	MATRIZ DE CONSISTENCIA	83
3.5.2	FOTOS	84

## **RESUMEN**

La tesis tuvo como objetivo determinar si el tráfico vehicular influye sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.

La presente investigación es aplicada porque se basa en el análisis y revisión de documento, para llevarlo a una realidad concreta.

Según su profundidad los niveles de esta investigación correspondió a un nivel descriptivo – correlacional por cuanto se describió el fenómeno observado y es correlacional porque buscará la asociación entre el tráfico vehicular y la aparición de fallas en el pavimento flexible

Para el presente estudio se está tomando en cuenta la avenida Los Maestros de Ica, en el cual se hizo el estudio de tráfico, aforo vehicular y el Índice de Condición de Pavimento (PCI) para la evaluación de daños el cual nos dará un indicativo para mejorar la condición del pavimento.

Con un valor obtenido de  $r = 0,658$  se consigue la asociación entre las variables por lo tanto el tráfico vehicular influye significativamente sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.

### **PALABRAS CLAVES:**

Tráfico, tránsito, congestión vehicular, pavimento flexible.



## **ABSTRACT**

The thesis had as objective determine if the traffic vehicular influences on the appearance of faults in the pavement flexible of the Avenue them teachers in the District of Ica, year 2016.

This research is applied because it is based on document review, and analysis to a concrete reality.

According to its depth them levels of this research corresponded to a level descriptive-correlational as is described the phenomenon observed and is correlational because will seek the association between the traffic vehicular and the appearance of faults in the pavement flexible.

For the present study is is taking in has the Avenue them teachers of Ica, according to the opinion of 40 specialists that constitute the whole of the population of studies being engineers civil of the District of Ica.

With a value of  $r = 0,658$  Gets the association between variables therefore traffic significantly influences the appearance of faults in the flexible pavement teacher Avenue in the District of Ica, year 2016.

### **KEY WORDS**

Traffic, transit, congestion traffic, pavement flexible.

## INTRODUCCIÓN

El transporte es un dispositivo de gran predominio en la economía de las áreas urbanas y rurales, y la serviciabilidad de las calles ayuda al progreso socio-económico de los fragmentos de la localidad, por ello es ineludible de una conveniente organización en los planes viales para que logren avalar y facilitar el progreso de la calidad de vida de los pueblos. En tal sentido, es de gran valor para la ciudad, que se refiera con una vía eficientemente, que consienta la comunicación entre sus desiguales núcleos urbanos y rurales.

En la actualidad, se ha originado el incremento del parque automotriz en nuestra ciudad y por ende la Municipalidad de Ica deberá ejecutar obras de infraestructura vial urbana que permitan controlar los problemas en cuanto a las fallas funcionales que suelen presentar las carreteras de la ciudad de Ica.

En muchos casos este problema es reconocido rápidamente por los especialistas experimentados que conocen del tema de construcción de carreteras y en otros casos es necesario llevar a cabo un reconocimiento completo de la zona fallada.

La presente investigación tiene como finalidad reconocer y describir las fallas que presenta la avenida de los Maestros. Dado que el sector de estudio tiene la necesidad de conectarse con las demás poblaciones, se realizará un estudio general para conocer cuáles son las necesidades a priorizar; según el resultado del diagnóstico efectuado en el lugar, ya que esto va permitir de mejor manera el tránsito y su conexión entre las poblaciones de esta ciudad.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

### 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La red vial del Perú está compuesta por tres grandes vías longitudinales que atraviesan de sur a norte, la carretera Panamericana, la carretera Longitudinal de la sierra y la carretera Marginal de la selva con una longitud total de 9600 km., comprende un abundante número de carreteras de penetración que en su mayoría parten de puertos o ciudades y que se dirigen hacia algún centro de producción o destino turístico, las que están expuestas a diferentes condiciones de acuerdo a la zona, algunas vías ubicadas por encima de 3 500 m.s.n.m. y con ciclos de calentamiento-enfriamiento en lapsos relativamente muy cortos produce cambios volumétricos que originan fallas que se hacen severas con el paso de los años (Rodríguez V, 2004).

La Ciudad de Ica, capital del departamento del mismo nombre, está ubicada en el norte del Perú (409 msnm, 7° 30' longitud sur, 78° 10' longitud oeste). La provincia de Ica, situada en la zona Sur del país, con un Datum WGS 84, Huso 18, Zona m, las coordenadas UTM son 384341m E, 8349461m N y una altitud de 408 m.s.n.m. Políticamente dividida en 43 distritos, comprende una superficie de 21328 km<sup>2</sup> esto representa el 0, 16 por ciento del territorio nacional, tiene una densidad poblacional 80 hab./km<sup>2</sup>, presentando una población censada 362 623 habitantes según el INEI al año 2015. Y su tasa de crecimiento poblacional es de 1.2% uno de

los más altos del país (INEI, 2013). Su crecimiento se ha incrementado en los últimos 20 años, como respuesta a los cambios económicos y sociales que se han venido.

Una de las consecuencias del crecimiento acelerado del parque automotor de la ciudad, así como vehículos de carga pesada, que con el paso del tiempo producen las fallas en las calles, los cuales se reflejan mediante agrietamientos y deformaciones, que producen el entorpecimiento y retardo de la velocidad normal que debe llevar el vehículo. (Carlos Crespo, 1994)

El alto índice de fallas en las calles de Ica, principalmente en la Vía de Norte de los Maestros; puede deberse, a la falta de mantenimiento, exceso de tránsito y carga.

No se puede hablar de una causa única del deterioro de las pistas. Las fallas que afectan al pavimento se producen por múltiples factores: podría ser el resultado de un mal diseño del paquete estructural, de la mala calidad de los materiales, de errores constructivos, de un deficiente sistema de drenaje en caso de precipitaciones, del efecto de sollicitaciones externas como carga vehicular y agentes climáticos, entre otros.

Para identificar qué técnicas de mantenimiento y reparación son las adecuadas para mejorar la serviciabilidad del pavimento; se debe en primer lugar, evaluar la vía y conocer el estado real en que se encuentra. Para ello existen varios métodos de evaluación superficial de pavimentos, uno de ellos es el Método PCI (Pavement Condition Index).

Figura N° 01: Departamento de Ica



Fuente: Municipalidad provincial de Ica

De esta manera, se ha pensado en la determinación de la influencia del tráfico vehicular sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los Maestros producidas por el gran flujo vehicular de transporte pesado, como la llegada de los vehículos del norte y sur del país.

## 1.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.2.1 Espacial

La investigación tiene como delimitación espacial el distrito de Ica, específicamente la avenida Los Maestros.

### 1.2.2 Temporal

Temporalmente se delimita durante el año 2016.

## 1.3 PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

### 1.3.1 Problema General

¿Cómo influye el tráfico vehicular sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016?

### **1.3.2 Problemas Específicos**

¿En qué nivel influye el tránsito vehicular sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los maestros en el distrito de Ica, año 2016?

¿En qué nivel influye la congestión vehicular sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los maestros en el distrito de Ica, año 2016?

¿En qué nivel influye la clasificación de los vehículos sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los maestros en el distrito de Ica, año 2016?

## **1.4 Objetivos de la Investigación:**

### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar si el tráfico vehicular influye sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Describir las fallas ocasionadas por el tránsito vehicular sobre el pavimento flexible de la avenida Los maestros en el distrito de Ica, año 2016.

Describir las fallas ocasionadas por la congestión vehicular sobre el pavimento flexible de la avenida Los maestros en el distrito de Ica, año 2016.

Describir las fallas ocasionadas según la clasificación de vehículos sobre el pavimento flexible de la avenida Los maestros en el distrito de Ica, año 2016.

## **1.5 HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL**

El tráfico vehicular influye significativamente sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.

### **1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

A mayor tránsito vehicular será mayor la aparición de fallas del pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.

A mayor congestión vehicular será mayor la aparición de fallas del pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.

La clasificación de vehículos influye significativamente en la aparición de fallas sobre el pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.

### 1.5.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

DIMENSIONES	INDICADORES
Tránsito vehicular	Flujo de vehículos
Congestión vehicular	Flujo de vehículos por exceso
	Mayor demanda de la distribución normal de los vehículos
Clasificación de los vehículos	Vehículo ligero
	Ómnibus de dos ejes
	Ómnibus de tres ejes
	Camión simple dos ejes
	Camión simple tres ejes
	Combinación de camiones
<b>Operacionalización de fallas del pavimento flexible</b>	
Piel de cocodrilo	Grietas de interconexión
	Tamaño de las marcas
Peladuras	Tamaño de la porción de agregado por encima del asfalto
	Adherencia de los neumáticos
Ahuellamiento	Deformación en el agregado
	Desplazamiento lateral de los materiales
Grietas	Longitudinales
	Transversales

Fuente: Elaboración propia



## **1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1 TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **a) Tipo de Investigación**

La presente investigación es aplicada porque se basa en el análisis y revisión de la teoría existente para llevarlo a una realidad concreta.

Es una investigación de campo, ya que para su elaboración acudimos al lugar de los hechos para evidenciar la problemática planteada.

Es una investigación cuantitativa ya que se realizará mediciones para medir la variable de estudios.

#### **b) Nivel de Investigación**

Según su profundidad los niveles de esta investigación corresponden a un nivel descriptivo por cuanto se describió el fenómeno observado y es correlacional porque buscará la asociación entre el tráfico vehicular y la aparición de fallas en el pavimento flexible.

### **1.6.2 MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:**

#### **a) MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

Se empleó el método deductivo ya que se analizó las características importantes del problema para la comprensión. Se empleó el método inductivo para luego de realizar el análisis se llegará a una condición que permitirá la solución del problema.

#### **b) DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El diseño correspondió a una investigación observacional, explicativo de corte transversal, prospectivo, no experimental y correlacional.

### **1.6.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **a) POBLACIÓN**

Todas las unidades de objeto de estudio consideradas en el tramo (que suman 64 unidades) serán objeto de una inspección detallada, por lo que no se ha efectuado un trabajo de muestreo para inferir características de la población. Estas serán objeto de investigación a partir de la población misma. La Vía de la Av. Los Maestros.

#### **b) MUESTRA, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

##### **a) TÉCNICAS**

Los instrumentos empleados fueron, además del modelo de anotaciones, tablilla y bolígrafo, cinta métrica de 50 m de longitud, regla rígida de dos metros y pequeño cartabón graduado, también una cámara fotográfica.

A medida que se recorría la unidad, que debe quedar bien referenciada en el modelo, se anotaban los fallos detectados y la severidad de las mismas.

##### **b) INSTRUMENTOS**

- Fichas y Formatos
- Microsoft Word, Excel.

### **1.6.5 JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **a) JUSTIFICACIÓN:**

El trabajo de investigación aplicado se direcciona académicamente porque admite emplear ordenamientos y

técnicas para establecer las fallas más habituales en el suelo flexible en la avenida Los Maestros.

#### **b) IMPORTANCIA**

Esta indagación será significativa porque nos consentirá determinar la situación del intercambio vehicular en la ciudad de Ica, Asimismo este plan será significativo socialmente porque suministrará una dificultad más conveniente para enfrentar el inconveniente del impropio favor de transitabilidad y el mal estado de la extensión de rodadura, viéndose rejuvenecidos los pueblos de la ciudad de Ica.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### **ESTUDIO DE PATOLOGÍAS EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN LA PLATA ARGENTINA. SEGÚN PRUNELL S. (1995)**

**Objetivos:** Contribuir desde lo científico y tecnológico, al mejoramiento y desarrollo de la industria de la construcción vial y su efecto en el transporte y medio ambiente. ; Constituir una entidad que pueda brindar al medio regional y nacional servicios y asesoramiento en materias de tecnología vial y de la construcción. ; Formar recursos humanos en investigación, desarrollo tecnológico, transferencia de tecnologías y docencia. ; Constituir un medio de formación y consulta para Docentes y Alumnos de la Facultad Regional La Plata de la U.T.N. y otras instituciones de nivel terciario y universitario de la región, 8 nacionales y del exterior.

**Resultados:** Este documento incluye que la mayoría de los deterioros hallados, estudio estadístico realizado, los defectos con mayor frecuencia de aparición en las superficies de concreto son: fallas de borde 22,3 %, fallas de juntas 19,4 %, fisuras transversales 13,8 %, fisura longitudinales 10,3 %) dislocamiento 9,1 10 %, hundimiento de vías 6,1%.

Debe considerarse el mantenimiento de los pavimentos como un punto importante para evitar deterioros de severidad alta, ya que en todos los casos.

**Conclusiones:** La mayoría de los deterioros hallados, pueden producirse por causa de uno o varios factores simultáneos. Es conveniente seguir un catálogo

de deterioros de pavimentos rígidos para la identificación y calificación de fallas, para realizar un diagnóstico certero en cada caso. Debe considerarse el mantenimiento de los pavimentos como un punto importante para evitar deterioros de severidad alta, ya que en todos los casos, implican la reparación total del pavimento, incidiendo en un costo de reparación más elevado en comparación con uno de severidad baja o media. Estudiar los distintos tipos de deterioro y sus orígenes, ayuda a prevenirlos, para evitar la inseguridad e incomodidad del tránsito y aplicar las técnicas de reparación adecuadas.

**GOMEZ, S. (2014). DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE PARA EL ANILLO VIAL DEL ÓVALO GRAU – TRUJILLO – LA LIBERTAD.**

La metodología permitió establecer los métodos y técnicas que van relacionados con la durabilidad que está ligada a factores económicos y sociales. La durabilidad que se le desea dar al anillo vial, depende de la importancia de este.

Para la concepción del proyecto vial, se ha tomado en cuenta los volúmenes de tránsito existentes, las proyecciones de los mismos y el aspecto estético del proyecto integral, de modo que se pueda solucionar así los movimientos vehiculares en todos los sentidos. Las avenidas involucradas en el estudio por la importancia que han adquirido, merecen un tratamiento especial toda vez que canalizan gran parte del tránsito.

**ÁLVAREZ (2008). ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LA RED VIAL PAVIMENTADA DE LA REGIÓN UTILIZANDO EL SISTEMA COMPUTACIONAL DTIMS.**

El proyecto del presente Trabajo de Título, busca utilizar los modelos de deterioro para pavimentos asfálticos del sistema HDM-III, implementándolos en un programa moderno de gestión vial denominado dTIMS. Este objetivo se sustenta en el hecho de que el dTIMS, posee modos de operación más prácticos y poderosos que los programas antes mencionados, junto con tener mejores herramientas para manipular los resultados. Una vez que los modelos fueron implementados y validados, se procedió a realizar una aplicación para una red vial del territorio nacional. La red seleccionada fue la de la I Región del

país, la cual fue modelada por 207 tramos homogéneos que representan 16 caminos constituidos por pavimentos de concreto asfáltico.

La aplicación consistió en realizar un análisis con el programa dTIMS para diferentes restricciones presupuestarias y para un escenario sin restricción. Los programas de construcción propuestos por los análisis fueron registrados y estudiados, así como, un conjunto de otros resultados que otorga el programa como son los costos de los tratamientos y la evolución de la condición de la red vial.

Los resultados demuestran que los programas de gestión vial como el dTIMS son una excelente herramienta de apoyo en la conformación de eficientes planes de mantención y conservación para las redes viales existentes, recomendando así que en un futuro no tan lejano puedan emplearse permanente por los organismos pertinentes del país.

#### **ALTAMIRANO (2007). DETERIORO DE PAVIMENTOS.**

Tuvo como objetivo conocer de forma completa y actualizada la situación de algunas estructuras de pavimentos rígidos en Nicaragua.

Al haber finalizado el levantamiento de campo y el análisis de los diferentes deterioros encontrados en las estructuras de pavimentos rígidos en la ciudad de Managua específicamente en La Residencial Santa Mónica; y en la ciudad de Matagalpa específicamente en El Barrio El Progreso, Barrio Otoniel Aráuz, Vía Costado Oeste radio Yes, Vía este UNAN y Barrio Carlos Fonseca, podemos concluir: a mayoría de los deterioros encontrados corresponden al fisuramiento de las estructuras de pavimentos que por falta o inadecuado mantenimiento, estas progresan hasta tal grado de generar a través de su evolución deterioros mayores como fisuramiento en bloques; baches de profundidad que afecta el tráfico circundante y propicio para acumulación de agua; grietas longitudinales y transversales con longitudes que atraviesan en ocasiones más de un tablero de losa; deficiencia en los materiales de sellos producto del alabeo de las losas por los cambios volumétricos debido a las temperaturas permitiendo esfuerzos de flexión en el interior de las grietas y ocasionando fracturamiento superior y descascaramientos; peladuras con

incidencia de rugosidades altas y moderadas que propician la aparición de hundimientos y baches localizados; hundimientos producto de la falta de soporte de la fundación por la calidad de los suelos que integran las capas inferiores a la carpeta de rodamiento.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Estudio de tráfico**

#### **2.2.1.1 Introducción**

La demanda del tráfico es un aspecto esencial que el Ingeniero necesita conocer con relativa y suficiente precisión, para planificar y diseñar con éxito muchos aspectos de la vialidad, entre ellos el diseño del pavimento y el de la plataforma del camino.

El estudio de tráfico deberá proporcionar la información del índice medio diario anual (IMDA) para cada tramo vial materia de un estudio. Es conveniente para ello que los Términos de Referencia de cada estudio ya proporcionen la identificación de los tramos homogéneos.

Se presenció Volumen Vehicular de dos avenidas concurrentes a la Avenida los Maestros, con el fin de obtener sus IMDA y el cálculo de ejes equivalentes. La existencia de esta información es importante para construir una base de datos muy útil, como referencia regional que permitirá reducir los requerimientos de estudios. Adicionalmente el uso de esta información garantizara una mejor una mejor consistencia a la elaboración de la tesis.

En este contexto, una adecuada red vial apoya al desarrollo sostenible de la Ciudad de Ica.

## - **Tránsito vehicular**

El tránsito vehicular es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Se presenta también con muchas similitudes en otros fenómenos como el flujo de partículas y el de peatones.

## - **Congestión vehicular**

La congestión vehicular se refiere tanto urbana como interurbana, a la condición de un flujo vehicular que se ha saturado por un exceso en la demanda de las vías, produciendo incrementos en los tiempos de viaje. Este fenómeno se produce comúnmente en las horas punta u horas pico, y resultan frustrantes para los automovilistas, ya que resultan en pérdidas de tiempo y consumo excesivo de combustible.

La congestión del tráfico se produce cuando el volumen de tráfico o la distribución normal del transporte demandan mayor espacio que el disponible en las vías. Una serie de circunstancias específicas causan o agravan la congestión, la mayoría de ellas reducen la capacidad de una vía en un punto determinado o durante un determinado periodo, o aumentan el número de vehículos necesarios para un determinado caudal de personas o mercancías.

La congestión del tráfico se produce cuando el volumen de tráfico o de la distribución normal del transporte genera una demanda de espacio mayor que el disponible en las carreteras. Hay una serie de circunstancias específicas que causan o agravan la congestión, la mayoría de ellos reducen la capacidad de una carretera en un punto determinado o durante un determinado periodo, o aumentar el número de vehículos necesarios para un determinado caudal de personas o mercancías. En muchas ciudades altamente pobladas la congestión vehicular es recurrente, y se atribuye a la gran demanda del tráfico, la mayoría del resto se atribuye a incidentes de tránsito, obras viales y eventos climáticos. La velocidad y el flujo también puede afectar la capacidad de la red, aunque la relación es



compleja. Es difícil predecir en qué condiciones un "atasco" sucede, pues puede ocurrir de repente. Se ha constatado que los incidentes (tales como accidentes o incluso un solo coche frenado en gran medida en un buen flujo anteriormente) puede causar repercusiones (un fallo en cascada), que luego se difunde y crear un atasco de tráfico sostenido, cuando, de otro modo, el flujo normal puede han continuado durante algún tiempo más.

**- Clasificación de los vehículos**

En esta parte se adoptará la clasificación dada por el manual de diseño geométrico de carreteras (DG-2001) donde se muestran las nomenclaturas y las características básicas de los vehículos según su tipo, por su parte, para obtener los pesos por cada tipo de vehículos, los cuales se necesitarán para el cálculo de los ejes equivalentes y posteriormente para el diseño de pavimentos, están estipulados en el reglamento nacional de vehículos.

Tabla N° 01: Datos básicos de los vehículos

*Datos básicos de los vehículos de tipo M utilizados para el dimensionamiento de carreteras  
 Según Reglamento Nacional de Vehículos (D.S. N° 058-2003-MTC o el que se encuentre vigente)*

Tipo de vehículo	Alto total	Ancho Total	Vuelo lateral	Ancho ejes	Largo total	Vuelo delantero	Separación ejes	Vuelo trasero	Radio mín. rueda exterior
Vehículo ligero (VL)	1,30	2,10	0,15	1,80	5,80	0,90	3,40	1,50	7,30
Ómnibus de dos ejes (B2)	4,10	2,60	0,00	2,60	13,20	2,30	8,25	2,65	12,80
Ómnibus de tres ejes (B3-1)	4,10	2,60	0,00	2,60	14,00	2,40	7,55	4,05	13,70
Ómnibus de cuatro ejes (B4-1)	4,10	2,60	0,00	2,60	15,00	3,20	7,75	4,05	13,70
Ómnibus articulado (BA-1)	4,10	2,60	0,00	2,60	18,30	2,60	6,70 / 1,90 / 4,00	3,10	12,80
Semirremolque simple (T2S1)	4,10	2,60	0,00	2,60	20,50	1,20	6,00 / 12,50	0,80	13,70
Remolque simple (C2R1)	4,10	2,60	0,00	2,60	23,00	1,20	10,30 / 0,80 / 2,15 / 7,75	0,80	12,80
Semirremolque doble (T3S2S2)	4,10	2,60	0,00	2,60	23,00	1,20	5,40 / 6,80 / 1,40 / 6,80	1,40	13,70
Semirremolque remolque (T3S2S1S2)	4,10	2,60	0,00	2,60	23,00	1,20	5,45 / 5,70 / 1,40 / 2,15 / 5,70	1,40	13,70
Semirremolque simple (T3S3)	4,10	2,60	0,00	2,60	20,50	1,20	5,40 / 11,90	2,00	1

Fuente: Ministerio de transporte y telecomunicaciones (MTC) Dirección General de caminos y ferrocarriles.

**- Ejes equivalentes**

Las cargas de ejes equivalentes pueden aplicarse a cualquier teoría dependiendo del criterio seleccionado para comparar la carga de una rueda con múltiples cargas.

EALF o “Equivalent Axle Load Factor” define el daño causado por un eje común, usualmente de 18 Kips. Este término depende del tipo de pavimento, espesor o capacidad estructural del pavimento.

### **2.2.1.2 Información para determinar la demanda el tráfico**

Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:

- Identificación de “sub tramos homogéneos” de la demanda, en la ruta del estudio.
- Conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un período consecutivo de 7 días (5 día de semana + sábado + domingo), como mínimo, en una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo.
- Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes
- Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

### **2.2.1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO**

El estudio comprenderá con la determinación del IMD (Índice Medio Diario) y las características del volumen de tráfico para cada tramo homogéneo y los tipos de vehículos. El estudio de volumen vehicular de las cuales para el presente estudio se utilizaron los conteos de la Av. Los Maestros, Av. Matías Manzanilla y Av. Los Arenales, que son las arteriales a la Av. Los Maestros.

Figura N° 02: Área de Influencia del Estudio.



*Fuente: Google Earth.*

### 2.2.1.3 Metodología de Trabajo

Se efectuaron diversos trabajos de campo, siendo el mas importante la identificación de los diferentes tipos de vehículos, aquellos de carga transportada y de pasajeros.

La demanda actual, precisa del Índice Medio Diario (IMD), que para casos prácticos puede representar su equivalente anual, es decir el IMDA; y según metodología AASHTO, permite el cálculo de ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Siendo el eje equivalente (EE) equivale el efecto del 19 deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 tn de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg<sup>2</sup>.

Para la obtención de la demanda de transito que circula en cada subtramo en estudio, se requerirá como minimo la siguiente información.

- Identificación de “sub tramos homogéneos” de la demanda, en la ruta del estudio.
- Conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un período consecutivo de 7 días (5 día de

semana+sábado+domingo), como mínimo, en una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo.

- Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

#### 2.2.1.4 Conteo de tráfico Vehicular.

##### 2.2.1.4.1 Objetivo y finalidad.

Cuantificar el volumen Vehicular en las calles arteriales. Av. Matias Manzanilla y Av. Arenales.

Figura N° 03: Ubicación de puntos de conteo vehicular.



*Fuente: Google Maps.*

##### 2.2.1.4 AFORO VEHICULAR

El **aforo vehicular** es el conteo de vehículos, El **aforo** es una muestra de los volúmenes para el periodo en el que se realiza y tienen por objetivo cuantificar el número de vehículos que pasan por un punto, sección de un camino o a una intersección.

(Ver cuadro en sección de Anexos)



FECHA / HORA 6:00 A 16:00hrs	SUMA DE AUTOS	SUMA DE C. RURALES	SUMA DE MICROBUSES	SUMA DE BUS DE 2E	SUMA DE BUSES 3E	SUMA DE CAMIONES 2E	SUMA DE CAMIONES 3E	SUMA DE CAMIONE >=4E	SUMA DEL TOTAL
SABADO 28 DE OCTUBRE DEL 2017	3500	110	213	45	30	48	20	11	3977
DOMINGO 29 DE OCTUBRE DEL 2017	4102	250	251	55	44	60	31	25	4818
LUNES 30 DE OCTUBRE DEL 2017	2800	311	222	48	28	50	41	19	3519
MARTES 31 DE OCTUBRE DEL 2017	3812	264	198	43	43	41	30	31	4462
MIERCOLES 01 DE NOVIEMBRE DEL 2017	3455	238	177	55	24	36	24	28	4037
JUEVES 02 DE NOVIEMBRE DEL 2017	2909	301	209	42	33	53	38	15	3600
VIERNES 03 DE NOVIEMBRE DEL 2017	3115	179	182	39	43	37	32	39	3666
SABADO 04 DE NOVIEMBRE DEL 2017	3212	221	300	48	25	42	28	41	3917
DOMINGO 05 DE NOVIEMBRE DEL 2017	3022	322	311	43	37	49	30	23	3837
LUNES 06 DE NOVIEMBRE DEL 2017	2287	277	246	52	28	41	25	22	2978
<b>TOTAL GENERAL</b>	<b>32214</b>	<b>2473</b>	<b>2309</b>	<b>470</b>	<b>335</b>	<b>457</b>	<b>299</b>	<b>254</b>	<b>38811</b>
<b>IMDA</b>	<b>3222</b>	<b>247.3</b>	<b>230.9</b>	<b>47</b>	<b>34</b>	<b>46</b>	<b>30</b>	<b>26</b>	<b>3882</b>

FUENTE: Elaboración Propia, Calculo de IMDA.

TABLA Nº 02: CALCULO DEL IMDA EN AV. MATIAS MANZANILLA.

**AVENIDA**                                **ARENALES**  
**FECHA**                                 **NOVIEMBRE 2017**  
**SENTIDO**                              **AMBOS**

FECHA / HORA 6:00 A 16:00hrs	SUMA DE AUTOS	SUMA DE C. RURALES	SUMA DE MICROBUSES	SUMA DE BUS DE 2E	SUMA DE BUSES 3E	SUMA DE CAMIONES 2E	SUMA DE CAMIONES 3E	SUMA DE CAMIONE >=4E	SUMA DEL TOTAL
SABADO 28 DE OCTUBRE DEL 2017	2803	124	182	45	25	48	20	13	3260
DOMINGO 29 DE OCTUBRE DEL 2017	3902	329	231	55	40	60	31	28	4676
LUNES 30 DE OCTUBRE DEL 2017	3590	278	213	48	28	50	41	25	4273
MARTES 31 DE OCTUBRE DEL 2017	3812	233	321	43	43	41	30	23	4546
MIERCOLES 01 DE NOVIEMBRE DEL 2017	2891	311	413	55	26	36	24	28	3784
JUEVES 02 DE NOVIEMBRE DEL 2017	3212	301	312	42	40	53	38	19	4017
VIERNES 03 DE NOVIEMBRE DEL 2017	2781	323	291	39	43	37	32	55	3601
SABADO 04 DE NOVIEMBRE DEL 2017	2403	312	256	48	31	42	28	41	3161
DOMINGO 05 DE NOVIEMBRE DEL 2017	2342	291	283	43	25	49	30	31	3094
LUNES 06 DE NOVIEMBRE DEL 2017	2501	247	183	52	28	41	25	32	3109
TOTAL GENERAL	30237	2749	2685	470	329	457	299	295	37521
IMDA	3024	285	269	47	33	46	30	30	3753

FUENTE: *Elaboración Propia, Calculo de IMDA.*

## 2.2.2. Fundamentos teóricos de pavimentos Flexibles

### 2.2.2.1. Definición de pavimentos

Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas seleccionadas que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. Este conjunto de capas proporciona también la

superficie de rodamiento, en donde se debe tener una operación rápida y cómoda.

De acuerdo con las teorías de esfuerzos y las medidas de campo que se realizan, los materiales con que se construyen los pavimentos deben tener una calidad suficiente para resistir. Por lo mismo, las capas localizadas a mayor profundidad pueden ser de menor calidad, en relación con el nivel de esfuerzos que reciben que recibirán, aunque el pavimento, también transmite los esfuerzos a las capas inferiores y los distribuyen de manera conveniente, con el fin de que estas los resistan.

La superficie de rodamiento o carpeta, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodadura uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, del intemperismo producido por los agentes naturales y cualquier otro agente perjudicial. Además como función estructural un pavimento tiene que transmitir adecuadamente los esfuerzos producidos por las cargas impuestas a la subrasante, de modo que no sufra deformaciones.

#### **2.2.2.2 Definición de pavimento flexible**

Rico y Del Castillo (1984) citan que sobre la capa subrasante se construye el pavimento flexible, que está compuesto por sub – base, base y carpeta asfáltica. El pavimento flexible debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir a las terracerías los esfuerzos por las cargas del tránsito.

Los pavimentos flexibles consisten en agregados minerales seleccionados, unidos por una ligante bituminosa. El asfalto incluye una gran variedad de aplicación en pavimentos que van



de tratamientos superficiales delgados a gruesas capas de concreto asfáltico.

### **2.2.2.3 Proceso de construcción de pavimento flexible**

Generalmente está conformado por cuatro capas o también conocidos como componentes estructurales:

#### **a) Construcción de la Sub rasante**

Es la capa más profunda de toda la estructura, además es la base del pavimento y su espesor es considerado como infinito con escasas excepciones. Estos suelos pertenecientes a la sub rasante serán adecuados y estables con CBR igual o mayor a 96%. En el caso que sea menor (sub rasante pobre o inadecuada), corresponde estabilizar los suelos, para lo cual se tendrá que analizar alternativas de solución, como la estabilización mecánica, el reemplazo de suelo, estabilización química de suelo, estabilización con geosintéticos, entre otros, eligiendo la alternativa más conveniente en cuanto a lo técnico y económico.

#### **b) Construcción de la Sub base**

Para construir la sub-base se emplean los siguientes equipos: motoniveladora, camión cisterna, cilindro metálico, compactador de llantas vibratorio y vehículos de transporte.

Todos estos equipos deben estar en perfectas condiciones de trabajo, de tal manera que se pueda garantizar un proceso continuo durante la construcción. El constructor deberá colocar el material de sub-base de tal manera que produzca segregación sin causar daño a la superficie de asiento. Las ruedas de los volquetes deberán mantenerse limpias para no contaminar con materiales indeseables. El material se colocará y extenderá en capas de espesor no mayor de 25 cm medido antes de la compactación. El espesor de cada capa y el número de pasadas dependerá de las características del equipo de que dispone el constructor y de las características del material. Si el afirmado

existente en la vía forma parte de la sub-base en el diseño del pavimento, ésta deberá escarificarse en una profundidad de por lo menos 10 cm. Antes de colocar una nueva capa se debe verificar que la anterior satisfaga las condiciones de nivelación, espesor y densidad exigidas. El material se remojará o se oreará si fuere necesario hasta obtener un contenido de humedad cercano al óptimo y se compactará hasta obtener mínimo el 95% de la densidad seca máxima correspondiente al ensayo proctor modificado, a no ser que el diseño exija una mayor compactación. Durante el proceso constructivo del pavimento, es normal que se permita el tránsito de vehículos una vez construida la sub-base

### **c) Construcción de la base granular**

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito. Estos deben estar en una condición tal, que se pueda asegurar continuidad en el trabajo. El espesor de las capas no será mayor a 25 cm medidos antes de la compactación.

El material se compactará en humedad óptima hasta obtener como mínimo el 100% de la densidad seca máxima correspondiente al ensayo proctor modificado como promedio de los ensayos realizados, siempre y cuando ningún valor individual sea inferior al 98%. Si la humedad es muy alta, el material debe removerse y dejarse secar hasta que adquiera la óptima que permita compactar el material y alcanzar la humedad especificada. En caso contrario, se debe humedecer el material con camión cisterna de agua. La compactación de la base se efectuará desde los bordes hacia el centro, excepto en las curvas donde la compactación avanzará desde la parte inferior del peralte hacia la parte superior. Si durante la compactación se presentan pérdidas de humedad por evaporación, deberá regarse la base para sostener en todo momento la humedad óptima del material.

#### **d) Construcción de la carpeta asfáltica**

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

La construcción del pavimento asfáltico se inicia con la preparación de la mezcla asfáltica, labor que normalmente se realiza en la planta de mezclas, sitio en el cual existen todos los sistemas adecuados para el control. Normalmente este proceso es responsabilidad del sub-contratista, pero para trabajos importantes, el responsable general de la obra debe supervisar los trabajos en la planta de éste. Las mezclas pueden fabricarse en plantas continuas o discontinuas. Se permite el empleo de plantas con mezclado en el tambor secador, siempre y cuando se pueda garantizar una producción uniforme y que las curvas granulométricas se ajusten a los rangos específicos. Los agregados para la mezcla deben ser secados y calentados a la temperatura especificada antes de llevarlos al mezclador. Inmediatamente después de calentar los agregados se tamizan en 3 o 4 fracciones y se almacena en tolvas separadas. El asfalto sólido se debe calentar a la temperatura especificada en tanques diseñados para evitar sobrecalentamientos. Su suministro a la mezcla debe ser continuo y a temperatura uniforme.

#### **2.2.2.4 Diseño del pavimento flexible**

El pavimento trabaja de tal forma que se evita la deformación de la capa de rodadura por acción de las cargas estáticas y dinámicas significativas. Sin embargo, no se puede concluir que no se produce deformación alguna, ya que debido al deterioro en el tiempo se presentarían fallas, es por eso que también se debe proveer mantenimiento constante hasta la colocación de un nuevo pavimento o reparación del mismo.

El objetivo es diseñar una ruta para transportar el tráfico de manera satisfactoria por un período determinado de tiempo sin necesidad de grandes mantenimientos a la estructura (rehabilitación). Las decisiones deben tomarse sobre la cantidad de deterioro que puede ser tolerada y en una condición que sea aceptable al final del período de diseño. Las opiniones difieren sobre estos temas entre los ingenieros de diferentes países, y entre los usuarios de la carretera. Mientras que los ingenieros están preocupados por los problemas estructurales, los usuarios de las carreteras se enfocan principalmente en la calidad del viaje como lo resbaladizo de la carretera, la congestión y la seguridad.

Los fracasos se dan cuando el pavimento requiere una rehabilitación o reconstrucción ya que el deterioro no puede ser corregido por el mantenimiento de rutina o periódico. Por ejemplo, la superficie de pavimento de asfalto en un clima seco se puede fisurar antes de que la calidad de conducción se vea afectada y que los usuarios de la carretera empiecen a quejarse. Con el sellado de grietas se puede extender la vida del pavimento, la formación de grietas suele ser una falla estructural que requiere una reparación costosa.

Por otro lado, una carretera antigua que comprende una base sin consolidar y un tratamiento superficial simple puede llegar a ser muy desigual a través de parches de mantenimiento, que se realizan durante muchos años, aunque mantengan buenas condiciones estructurales.

La forma más común para equilibrar los aspectos conflictivos de diseño es utilizar el principio de minimizar el costo total de la carretera durante toda su vida útil, es decir, el costo total de construcción y mantenimiento de la carretera. A medida

que la carretera se deteriora, el usuario hace que la carretera aumente su costo. Al hacer suposiciones realistas sobre el futuro mantenimiento y comportamiento en carretera bajo diferentes estrategias de mantenimiento la vía puede ser diseñada para minimizar los costos totales durante el período de diseño.

#### **2.2.2.5 Características que debe reunir un pavimento**

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal.
- Debe ser durable.
- Debe ser económico.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

#### ***Características del pavimento flexible***

Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes:

##### **a) Resistencia estructural**

Debe soportar las cargas impuestas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura. En los pavimentos flexibles se consideran los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural. Además de los esfuerzos cortantes también se tienen los producidos por la aceleración, frenaje de los vehículos y esfuerzos

de tensión en los niveles superiores de la estructura. Rico y Del Castillo (1984).

**b) Costo**

La durabilidad está ligada a los factores económicos y sociales. La durabilidad que se desee dar al camino depende de la importancia de este. Hay veces que es más fácil hacer reconstrucciones para no tener que gastar tanto en el costo inicial de un pavimento.

**c) Requerimientos de conservación**

Los factores climáticos influyen de gran manera en la vida de un pavimento. Otro factor es la intensidad del tránsito, que se tiene que prever el crecimiento futuro. Se debe de tomar en cuenta el comportamiento futuro de las terracerías. Deformaciones y derrumbes.

**d) Comodidad**

Para grandes autopistas y caminos, los métodos de diseño se ven afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad de proyecto. La seguridad es muy importante al igual que la estética.

**Cuadro N° 01: Materiales de sub base**

Materiales de Sub – base	
Características	Zonas en que se clasifica el material de acuerdo con su granulometría
Límite líquido máximo	25%
Límite plástico máximo	6%
Compactación mínima	100%
Valor relativo de soporte estándar saturado, en porcentaje	50 min
Equivalente de arena, en porcentaje	30 min

*Fuente: SCT (2006)*

#### **2.2.2.6 Tipos de fallas de pavimentos flexibles**

Existen distintos tipos de fallas que se presentan en los pavimentos flexibles, estas son clasificadas en 3 niveles de severidad: bajo, medio y alto. El ASTM propone la guía D6433 para el cálculo del PCI. A continuación se presentarán los distintos tipos de fallas que se pueden encontrar en un pavimento flexible:

##### **a) Piel de Cocodrilo**

Esta falla se representa como una serie de grietas de interconexión causadas por la fatiga generada en la superficie del concreto asfáltico al estar bajo constante

carga. Comienza en la parte inferior de la superficie o base, donde la tracción y la tensión son más altas. La falla se propaga a la superficie inicialmente como una serie de grietas longitudinales, las grietas se conectan, formando muchas caras, con aristas angulosas que desarrollan un patrón parecido a la piel de un cocodrilo. Las marcas son generalmente de menos de 0,5 m (1,5 pies) en el lado más largo.

Esta falla sólo se produce en áreas sujetas a la carga de tráfico constante. Cuando las grietas forman bloques más grandes de lo normal se le denomina “Falla de Bloque “

#### **b) Peladuras**

La peladura se da cuando se revela una porción de agregado que se extiende por encima del asfalto. Esto causa déficit en la circulación normal de los vehículos ya que cuando la superficie no es considerablemente lisa la adherencia de los neumáticos es considerablemente reducido. Cuando la porción de agregado que se extiende por encima de la superficie es pequeña no existe gran afectación en la performance de la circulación.

#### **C) Ahuellamiento**

Resulta de la acumulación de deformación permanente en el asfalto y el agregado. Es usualmente originada por la consolidación o por el desplazamiento lateral de los materiales debido a la acción de las cargas de tráfico. Los modelos utilizados para predecir la formación de roderas son funciones del tipo de material.



#### **d) Grietas longitudinales y transversales**

Estas fallas pueden ser paralelas o perpendiculares al eje de la vía, por lo general de 0,3 a 0,5 m (1 a 1,5 pies) del borde exterior del pavimento. Su presencia es común por la mala calidad de las juntas de construcción y por las heladas que debilitan la sub-base cerca del borde del pavimento por contracción constante.

#### **2.2.2.7 Carpeta Asfáltica**

La carpeta asfáltica es la parte superior de un pavimento flexible. Es una capa de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base.

Olivera (1994) cita que los materiales pétreos son suelos inertes que se consiguen en ríos, arroyos o depósitos naturales.

##### **2.2.2.7.1 Compuestos de una carpeta asfáltica**

Está compuesta de:

- Material asfáltico. Puede ser cemento asfáltico (AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20, AC-30 y AC-40. los AC-5 normalmente son emulsiones.
- Emulsión asfáltica. Aniónicas (-), catiónicas (+) y de rompimiento rápido, medio y lento.
- Agregados pétreos.
- Anteriormente los cementos asfálticos se clasificaban por su dureza en: CA-0 para climas fríos.
- CA-6 para climas templados.
- CA-10 para climas cálidos

## Aplicación de los productos asfálticos

Cemento asfáltico o emulsión.	Trabajos recomendados en forma general.
AC-5, AC-10, AC-20, y AC-30 (solos o modificados)	Para realizar concretos asfálticos en las regiones señaladas y sobre todo en carreteras de alta circulación con alta intensidad de tránsito y con un elevado número de carga por eje.
Emulsiones asfálticas catiónicas de fraguado lento o superestable.	Para riego de impregnación de bases hidráulicas.
Emulsiones asfálticas catiónicas de fraguado medio	Para carpetas asfálticas mezcladas en frío, para carreteras con tránsito máximo de 2000 vehículos, también se emplea en trabajos de bacheo, re-nivelación y sobre-carpetas.
Emulsiones de fraguado rápido.	Se utiliza para riegos de liga, carpetas asfálticas de riego y riegos de sello convencionales.

*Fuente: Ministerio de Transporte y tránsito.*

### 2.2.2.7.2 Tipos de carpetas

- Realizadas en planta o en caliente con tránsito de hasta 2000 vehículos (AC-20, material pétreo y temperatura de 140 a 160° C.)
- Carpetas de riegos (emulsión y material pétreo.) • Carpetas asfálticas en frío o en el lugar.
- Revestimientos. Se puede circular todo el año (espesor de 15cm) con material seleccionado (en desiertos arenas con emulsión asfáltica en una cantidad de 6lt/m<sup>3</sup> de pétreo; después de compactado se debe efectuar un poreo para tapar oquedades.) (en la costa arena con 100lt/m<sup>3</sup> y sin poreo), para un régimen pluvial alto se recomienda estabilizar con cemento la terracería y colocar fragmentos de roca chica.)

### 2.2.2.7.3 Descripción de carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir, las principales características que debe cumplir el pétreo son las siguientes:

- a) un diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada,
- b) deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán los ensayos de desgaste los ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad.
- c) la forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, recomendamos no usar material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad alterando la granulometría y pudiendo provocar fallas en la carpeta, se efectuarán pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie, para calcular este óptimo se tienen las pruebas de compresión simple para mezclas en frío, la prueba Marshall para muestras en caliente y la prueba de Hveem.

Para conocer la adherencia entre el pétreo y el asfalto se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, pérdida de estabilidad o bien, cubrimiento por el método inglés; en caso de que las características del pétreo no sean aceptables, se pueden lavar o bien usar un estabilizante para cambiar la tensión superficial de los poros. El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a transitar por ese camino, tomando en cuenta el siguiente criterio.

Intensidad del tránsito pesado en un solo sentido	Tipo de carpeta
Mayor de 2000 vehi/día	Mezcla en planta de 7.5cm de espesor mínimo
1000 a 2000	Mezcla en planta con un espesor mínimo de 5cm
500 a 1000	Mezcla en el lugar o planta de 5cm como mínimo
Menos de 500	Tratamiento superficial simple o múltiple.

#### 2.2.2.7.4 Principales pruebas para determinar las propiedades físicas de los cementos asfálticos.

##### a) **Peso específico**

Este ensayo se efectúa para ubicar las correlaciones necesarias de peso a volumen, varía con la temperatura, o al adicionarle algún otro material; regularmente el asfalto presenta una densidad mayor que el agua.

##### b) **Solubilidad tricloroetileno**

Este método sirve para detectar impurezas o materiales extraños que presente el asfalto, o bien algún elemento que no sea soluble al asfalto.

**c) Punto de inflamación**

Es una prueba de seguridad que se realiza para conocer a que temperatura provoca flama el material asfáltico.

**d) Punto de reblandecimiento**

Por el método del anillo y la esfera, nos proporciona una medida a la resistencia del material al cambio de sus propiedades de acuerdo a su temperatura.

**e) Penetración a 25° C**

Con esta prueba se determina la dureza que presentan los diferentes tipos de asfalto; de acuerdo a la dureza nos indica de que tipo de cemento se trata.

**f) Ductilidad a 25° c**

Mide al alargamiento que presenta el asfalto sin romperse, la longitud del hilo de material se mide cuando se corta en cm, este ensaye además de indicarnos el tipo de asfalto nos da la edad del mismo; ya que si se rompe a valores menores a los establecidos nos indica que es un asfalto viejo y que ha perdido sus características, por consecuencia puede provocar grietas en la carpeta "cemento asfáltico crackeado" (viejo.)

**g) Viscosidad saybol furol**

Nos ayuda a conocer la temperatura en la cual el asfalto es de fácil manejo. En esta prueba se mide el tiempo que tardan en pasar 60 cm<sup>3</sup> de asfalto por un orificio de diámetro aproximadamente igual a 1 mm, este ensaye se efectúa a temperaturas que van de los 60 a los 135° C dependiendo del tipo de asfalto de que se trate.

#### **h) Viscosidad absoluta a 60° c**

Con esta prueba se clasifica el cemento. Consiste en hacer pasar hacia arriba el asfalto dentro de un tubo capilar bajo condiciones controladas de vacío y temperatura, el resultado se calcula de acuerdo al tiempo que tarda en pasar el asfalto de un punto a otro dentro del tubo, este tiempo se multiplica por una constante del equipo usado y la unidad que se maneja es el "poise" que es una fuerza de  $1\text{gr}/\text{cm}^2$  y de acuerdo con la viscosidad que presente se clasifican los asfaltos.

#### **i) Viscosidad cinemática a 135° C**

Con esta prueba se mide el tiempo en que un volumen de asfalto fluye a través de un viscosímetro capilar, de un orificio determinado. El tiempo se multiplica por un factor de calibración del viscosímetro, la unidad que emplea es el "centistokes". Esta unidad se basa en las relaciones de densidad de un líquido a la temperatura de prueba representada en  $1\text{gr}/\text{cm}^3$ .

#### **j) Perdida por calentamiento**

También llamada prueba de la película delgada; esta prueba estima el endurecimiento que sufren los asfaltos después de calentarse a temperaturas extremas ( $163^\circ\text{C}$ ) además nos determina los cambios que sufre el material durante el transporte, almacenamiento, calentamiento, elaboración y tendido de mezcla. Se efectúa en películas de pequeño espesor que se someten a los efectos del calor y el aire, con ellos se evalúa el endurecimiento que presenta y la pérdida de sus propiedades; después de efectuado este ensaye se efectúan pruebas de viscosidad, ductilidad, penetración y pérdida de peso.

## **Pruebas que se efectúan en las emulsiones asfálticas.**

### **a) Carga eléctrica de la partícula**

Se efectúa para identificar la polaridad de los glóbulos de asfalto en una emulsión teniendo carga eléctrica negativa las aniónicas y positiva las catiónicas. Se aplica una carga de 8 mili-amperes y la emulsión se irá hacia el lado que presente carga contraria a la que ella tenga.

### **b) Potencial de hidrógeno. (PH)**

Consiste en conocer el grado de acidez o alcalinidad de la fase acuosa, además también nos indica el tipo de emulsión de que se trata sabiendo que las emulsiones cationicas son ácidas y las aniónicas son alcalinas.

### **c) Demulsibilidad**

La facilidad con que se rompen las emulsiones, esta prueba nos da una idea del tiempo adecuado para incorporar las emulsiones durante la elaboración de las mezclas asfálticas y consiste en pasar el material por la malla de 1.4 mm para efectuar otra destilación.

### **d) Mezclabilidad con cemento Portland**

Este ensaye permite conocer la estabilidad de los productos al mezclarlo con material fino, el ensaye consiste en agregar cemento Pórtland a la emulsión y después cribar la mezcla por la malla de 1.8 y 1.4, determinándose el retenido en cada una de las mallas no debiendo formar grumos los materiales.

### **e) Cubrimiento del agregado pétreo en húmedo**

Con este ensaye se estima que tanta afinidad existe entre la emulsión y el pétreo, nos permite observar cómo se porta esta unión ante la acción del agua, se recomienda emplear el material de la calizas mezclándose la emulsión y el suelo en diferentes porcentajes

para después lavarlas y observar que porcentaje de asfalto cubre el pétreo, siendo un valor mínimo el 75%.

**f) Residuo de destilación**

Con esta prueba se obtiene el contenido de agua y disolventes que presenta la emulsión cuando se calienta a 260° C. Al residuo se le efectúan pruebas de penetración, ductibilidad y solubilidad para saber como le afecta la temperatura al cemento asfáltico.

**g) Viscosidad saybol-furol**

A 25 y 50° C.

**h) Retenido en la malla número 20.**

Este ensaye nos indica si la emulsión presenta glóbulos de un tamaño muy grande, el procedimiento consiste en hacer pasar el asfalto o emulsión por la malla 20 y se observa que porcentaje se retiene en la misma.

**i) Asentamiento en 5 días**

Nos ayuda a conocer la homogeneidad que presentan los productos al ser almacenados y el ensaye consiste en dejar reposar durante 5 días el producto, y determinar las diferentes concentraciones que presente el asfalto.

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CARPETA**

En el lugar donde se va a colocar la carpeta, unas dos horas antes de que llegue el concreto asfáltico, se efectúa un riego de emulsión asfáltica de rompimiento rápido que se conoce como riego de liga, esta capa de asfalto nos ayudará a que exista una adherencia adecuada entre el suelo de la base y la carpeta, este riego se efectúa en una proporción de 0.7lt/m<sup>2</sup>, se barren los charcos de asfalto excesivo y se elimina el total de la basura y materiales extraños, para evitar que este riego sea desprendido por las ruedas de los vehículos, se recomienda efectuar un



riego de arena. La mezcla asfáltica deberá llegar a una temperatura de 115 a 125° C, esto se verifica con un termómetro de varilla.

La mezcla se vacía en la máquina finisher o extendedora que formará una capa de mezcla asfáltica, se recomienda tener una cuadrilla de rastrillos que aseguren una textura conveniente en la superficie y que borren las juntas longitudinalmente entre franjas. A una temperatura de entre 110 y 120° C se le aplica una compactación con un rodillo ligero de entre 8 y 10 toneladas de peso; los rodillos se moverán paralelamente al eje del camino y de la orilla hacia el centro, y del lado interior hacia el exterior en las curvas. En los aeropuertos además de lo anterior se pasa el equipo en la dirección perpendicular y oblicua con respecto al eje del camino. Después de hacer esto con el rodillo ligero, se compacta con un rodillo más pesado hasta alcanzar el grado de compactación que marca el proyecto (min. 95%.) la compactación deberá terminar cuando se llegue a esta posición y para comprobarlo se efectuarán calas, para esto se corta en frío usando un chaflán y procurando no dañar la base, para de esa manera realizar los ajustes necesarios.

Durante el tendido y compactación de la mezcla pueden aparecer grietas y desplazamientos motivados por diferentes causas, tales como la aplicación de un riego de liga defectuoso, ya sea en exceso o escaso, falta de viscosidad del asfalto producida por el calentamiento excesivo, o bien, porque el material pétreo no perdió completamente la humedad. Para conocer la permeabilidad de la carpeta, se realizará en ella una prueba de campo, la cual consiste en colocar un aro de lámina galvanizada de 250mm de diámetro y una altura de 50mm, se sella el aro y se coloca al centro un cono de bronce de 25mm de altura, se agrega agua hasta el ras del cono observando que no baje este nivel en un tiempo de 10 min. el índice de permeabilidad del material se calcula con la siguiente ecuación:  $IP = V_t / V_f \cdot 1247 \text{cm}^3$  donde  $V_t$  = volumen delimitado en el interior del aro y cuyo valor es de  $1247 \text{cm}^3$   $V_f$  = volumen final.

La carpeta deberá presentar un índice de permeabilidad menor del 10%. Por último en la carpeta se agrega un riego de sello, el cual consiste en una emulsión, la cual se cubre con un material pétreo del tipo 3E, esto se compacta para que penetre en la carpeta y con ello evitar que se introduzca el agua en ella, además protege del desgaste y proporciona una superficie antiderrapante.

En algunos casos se puede emplear un mortero asfáltico que consiste en la mezcla de una emulsión y un material pétreo (arena) que se emplea comúnmente cuando se va a utilizar un camino que ya ha tenido cierto uso, a este tratamiento se le conoce como "slurri seal". En la actualidad, en algunos casos cuando el lugar donde se coloca la carpeta es de precipitación pluvial muy alta, se recomienda colocar sobre de esta una mezcla de textura abierta la cual se conoce como "open grade", este tratamiento ayudará a que no se formen charcos en la superficie los cuales pueden provocar accidentes por el fenómeno conocido como acuaplano.

#### **2.2.2.8 Consideraciones sobre los Materiales Frecuentemente Utilizados en las Secciones Estructurales de Carreteras en Pavimento Asfáltico**

Al igual que en la casi totalidad de las aplicaciones de la Mecánica de Suelos, los materiales de esa naturaleza que se utilizan en la construcción de pavimentos, son de dos tipos claramente diferenciados. Los que se denominan materiales gruesos (arenas, gravas, fragmentos de roca, etc.) constituyen un primer grupo, siendo el segundo el formado por los suelos finos, cuyo arquetipo son los materiales arcillosos.

Es bien conocida la gran diferencia que en comportamiento tienen ambos grupos de suelos, debido al mismo origen de los

miembros de cada grupo. Dando atención únicamente a las características de resistencia y de deformación, se sabe que la diferencia de comportamiento entre los suelos gruesos y finos no es de carácter cuantitativo, sino que esas diferencias son de orden cualitativo, en el sentido de que las manifestaciones de esas propiedades en el comportamiento ingenieril no son de grado, sino de la naturaleza misma de los mecanismos íntimos operantes.

También es cierto que en un plano más profundo de análisis, esos mecanismos últimos tienden a acercarse mucho entre los dos grupos de suelos; por ejemplo, una muy amplia corriente de opinión en la Mecánica de Suelos actual, tiende a explicar la generación de resistencia al esfuerzo cortante, de ambos grupos de suelos, con base en los conocimientos fundamentales que se tienen sobre fricción mecánica y, análogamente, muchas de las ideas en torno a la deformabilidad de los materiales térreos pueden conceptualizarse de una manera muy análoga en los suelos gruesos y en los suelos finos. Independientemente de consideraciones teóricas que no pueden discutirse en este escrito, no puede dudarse que a nivel fenomenológico, es decir, tal como se manifiestan las cosas a los ingenieros civiles en sus obras, los mecanismos de la resistencia y de la deformación y la manera en que se desarrollan ambas cosas presentan diferencias que ameritan una mención por separado.

Es bien sabido también que muchas de estas diferencias en el terreno fenomenológico ocurren por la naturaleza y la estructura íntima que adoptan las partículas individuales o sus grumos, en el caso de los suelos finos, que forman agrupaciones compactas y bien familiares, en el caso de los suelos gruesos, pero que adoptan formas sumamente vaporosas con grandes volúmenes de vacíos y ligas poco familiares en el caso de los finos.

En los suelos gruesos tales como las arenas y las gravas, la deformación del conjunto por efecto de cargas externas sólo puede tener lugar o por acomodo brusco de partículas menores en los huecos que entre sí dejen las mayores, o por ruptura y molienda de las partículas. La expansión de suelos gruesos, es un fenómeno que para efectos prácticos no tiene presencia en la tecnología de carreteras.

La estabilidad de las estructuras de los suelos gruesos ante la presencia del agua es grande, si se prescinde de la posibilidad de arrastres internos de partículas menores por efecto de agua circulante en el interior de los suelos, efecto que también es relativamente poco común en las carreteras.

Como consecuencia, si el suelo grueso está constituido por partículas mineralógicamente sanas, su resistencia al esfuerzo cortante, que está basada en mecanismos de fricción interna entre los granos o en la resistencia que oponen esos mismos granos a deslizarse o moverse unos con respecto a otros, es grande relativamente hablando y depende de la fricción interna entre los granos y de su propia dureza, que los ponga a cubierto de rupturas.

Durante cualquier sollicitación existe el hecho fundamental de que cuanta mayor presión ejerzan sobre el conjunto de granos las cargas exteriores, la resistencia del conjunto crece, tal como ordenan las leyes de la fricción. Evidentemente, cualquier aumento en la compacidad del conjunto trae consigo un aumento en su propia resistencia intrínseca y al reacomodo. Caso de llegarse a producir algún deslizamiento o reacomodo entre partículas, debido a altos esfuerzos, la deformación correspondiente es siempre de magnitud relativamente pequeña. Se insiste en que cualquier masa de esta naturaleza bien compactada, adquiere características de resistencia y difícil

deformabilidad que 18 son además muy permanentes en el tiempo y especialmente muy poco dependientes del contenido de agua que el conjunto tenga o adquiera. Todas estas características son muy favorables para lo que el ingeniero desea que ocurra en la sección estructural de una carretera.

Con estos suelos es fácil alcanzar una resistencia suficiente y una deformabilidad muy aceptable, recurriendo especialmente a técnicas de compactación bien conocidas y esas características son relativamente muy poco variables en el tiempo. Se sabe también que el panorama es harto diferente en el caso de los suelos finos arcillosos. Ahora la tendencia a adoptar estructuras internas abiertas, con alto volumen de vacíos, hace que estos suelos tengan una capacidad de deformación mucho más alta. Si los suelos finos están saturados de agua, al ser objeto de presión son proclives al fenómeno de consolidación que induce al agua oprimida a salir del conjunto, produciéndose una reducción de volumen general que comprime la estructura del suelo en forma frecuentemente muy importante, dando lugar a deformaciones del conjunto que pueden llegar a ser muy grandes.

En los suelos finos parcialmente saturados, la presión externa produce deformaciones que disminuyen los huecos, comunican presión al agua interior y, a fin de cuentas, movilizan también esa agua hacia el exterior, con el resultado de dar lugar a deformaciones volumétricas grandes.

Las estructuras precomprimidas, al cesar la presión externa y absorber agua, tienden a disipar los estados de tensión superficial actuantes entre el agua que ocupaba parcialmente los vacíos y las partículas cristalinas del suelo, liberando energía que permite que la estructura sólida precomprimida se expanda, de manera que los suelos arcillosos son muy proclives a la compresión bajo cargas o a la expansión, cuando al cesar la

acción de cualquier carga anterior, se produce la liberación de sus esfuerzos y actúa la succión interior de cualquier agua externa.

En cualquier caso la estabilidad volumétrica de los suelos finos está amenazada y pueden ocurrir en ellos deformaciones volumétricas muy importantes. De compresión, a expensas de su gran volumen de vacíos y de la salida de agua interna por efecto de las cargas exteriores o de expansión, a causa de la succión interna que se produce cuando se expande la estructura sólida, absorbiendo agua exterior.

Por conocidas razones constructivas, las arcillas se disponen en los suelos que se utilizan en las carreteras, tras procesos de compactación, lo que hace que estén pre comprimidas, por lo que son especialmente proclives inicialmente a procesos de succión de agua externa y/o expansión, tanto mayores cuanto más intensa haya sido la compactación con que se colocaron.

Obviamente, un cierto grado de compactación inicial es necesario, pero siempre ocurrirá que cuanto mayor sea ese proceso inicial, mayor será el potencial de succión comunicado y, por ende, también será mayor el potencial de expansión adquirido con absorción de agua, el cual al desarrollarse producirá un suelo, a su vez, muy proclive a la deformación por compresión de cualquier nueva carga actuante, produciéndose un "efecto de acordeón", cuyas consecuencias son obvias en la carretera.

Estas consideraciones hacen ver lo delicado que ha de ser el proceso de compactación de suelos finos en la carretera. Si no se alcanzan en principio condiciones adecuadas, la carretera será inestable, pero si la compactación se extrema por arriba de

un límite, la carretera llegará a ser inestable con el tiempo, siempre que los materiales puedan tener contacto con agua libre exterior.

Obviamente las consideraciones anteriores conducen a la conclusión de que los suelos arcillosos son indeseables en el cuerpo general de las carreteras y, desde luego, en cualquier capa de la sección estructural de sus pavimentos. Sin embargo, razones constructivas obvias y razones económicas obligan a una cierta presencia de los suelos finos, si bien sus mecanismos de funcionamiento obligan también a que la presencia de los suelos finos sea mínima y cuidadosamente tratada. En efecto, el material que se desea para construir carreteras está constituido por suelos gruesos, pero resultaría antieconómico e innecesario con el actual estado de la técnica, eliminar por completo a los suelos finos. Siempre habrá que coexistir con un cierto volumen de éstos. También es evidente que cuanto más abajo aparezcan los suelos finos, recibirán esfuerzos de menor cuantía provenientes del tránsito, de manera que su presencia irá siendo menos nociva.

Por ello, la tecnología tradicional exige el uso de suelos gruesos casi puros en las bases y subbases de pavimento y va aceptando contenidos crecientes de suelos finos en subrasantes y terracerías. La cantidad de suelos finos que pueden contener las capas que han de estar constituidas por suelos gruesos depende de la contaminación y naturaleza de los bancos de materiales de donde se extraigan estos suelos y de los tratamientos a que se sujeten. Probablemente no es posible, por razones económicas, eliminar del todo la presencia de suelos finos en ninguna capa de la sección estructural de una carretera, pero debe tenerse muy en cuenta que la Mecánica de Suelos actual indica que contenidos relativamente muy pequeños de

arcilla formando parte de una matriz de suelo grueso bastan para dar a esa matriz un comportamiento indeseable, haciéndola compresible y expansiva. Este límite en el contenido arcilloso depende de la actividad de la arcilla.

El tipo de análisis que las tecnologías actuales exigen para determinar la actividad de los suelos arcillosos hace prácticamente imposible el investigar la naturaleza de los finos dentro del proceso industrial de construcción de una carretera típica, por lo que el contenido de finos suele controlarse cuidando el porcentaje de partículas menores que la malla 200, dentro de las matrices de suelo grueso.

Contenidos por arriba van dando al suelo un comportamiento notablemente indeseable, de manera que contenidos de materiales arcillosos en el orden del 12% ya inducen un comportamiento que corresponde claramente a un suelo fino. Por lo anterior, debe considerarse necesario que el contenido de materiales finos de cualquier matriz de suelo grueso que se utilice en las capas superiores (bases y subbases), no exceda de un 10% de partículas menores que la malla 200 y este valor debe reducirse a la mitad en la matriz que se utilice para la formación de carpetas asfálticas.

Contenidos de finos superiores a estos límites deben considerarse de alta peligrosidad en una carretera moderna y valores que excedan con un 12% de finos en las bases y subbases deben considerarse como indicativos de un comportamiento absolutamente indeseable.

Los números anteriores se refieren, se insiste, al contenido de partículas menores que el tamaño de la malla 200 (0.074 mm) y debe tenerse en cuenta que probablemente no menos de un 4%



ó 5% de las partículas abajo de ese límite los va a aportar la 22 propia fracción gruesa, durante los procesos usuales de trituración que han de emplearse dentro del proceso constructivo, hecho que debe reducir correspondientemente los contenidos de materiales puramente arcillosos, ajenos a la naturaleza de los pétreos empleados.

En las subrasantes de carreteras puede ya haber una mayor tolerancia en relación al contenido de materiales menores que la malla 200, aceptándose contenidos menores que el tamaño mencionado del orden de 15% en las carreteras más ocupadas, hasta 25% en aquellas en las que se asegure niveles de ocupación menos exigentes. En carreteras revestidas, los contenidos de finos idóneos para el revestimiento deben de considerarse en el orden del 15% como máximo, si bien 10% resulta un límite más prudente.

El conocimiento actual de los materiales finos y sus efectos en las secciones estructurales de las carreteras suele también controlarse con la medición de los índices de plasticidad de la fracción menor que la malla No. 40. A este respecto pueden aceptarse valores del límite líquido entre 25 y 30% en bases y subbases, y valores comprendidos entre 30 y 50% en subrasantes. No hay que decir que los valores menores son preferibles y deben utilizarse siempre en las carreteras de mayores índices de ocupación.

En el sentido señalado en los párrafos anteriores actúan las modificaciones recientemente realizadas para las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en las cuales se puede encontrar la puntualización precisa de los valores según los diferentes casos que presenten los procesos constructivos.

Evidentemente, el empleo prudente de los materiales térreos con límites adecuados de un contenido de materiales finos arcillosos, permite el empleo de 23 estándares de compactación realmente adecuados para dar a las capas de la sección estructural de una carretera actual la consistencia necesaria, de manera que se garantice la permanencia de esas buenas propiedades en el tiempo futuro de utilización. Como ya se señaló, una compactación enérgica, tal como exigen las carreteras modernas, podría resultar altamente contraproducente, de no cuidar en forma adecuada la presencia de suelos finos arcillosos dentro de los suelos empleados en ellas.

## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

### - **Análisis del tránsito**

Es el factor es el más importante, por lo que debe reflejar correctamente el tipo de tráfico que recibirá la vía a reforzar durante su nuevo periodo de diseño.

### - **Serviciabilidad.**

Es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo: en otras palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que ndepende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción.

### - **Confiabilidad**

Se entiende por confiabilidad de un proceso diseño- comportamiento de un pavimento a la probabilidad de que una sección diseñada usando dicho proceso, se comportará satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales durante el periodo de diseño.

#### - **Coefficientes estructurales**

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente, los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

#### - **Subrasante**

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimenta y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

La Sub rasante es la capa en la que se apoya la estructura del pavimento y la característica especial que define la propiedad de los materiales que componen la sub rasante, se conoce como Módulo de Resiliencia (Mr). Inicialmente cuando se comentaron a efectuar los primeros diseños de pavimento, este concepto estaba basado en las propiedades de la subrasante tales como:

- Granulometría.
- Plasticidad
- Clasificación de suelos.
- Resistencia al corte.
- Drenaje.

Posteriormente se tomaron en cuenta las propiedades básicas de la subrasante y se analizaron otro tipo de ensayos que permitieran conocer en mejor forma el comportamiento de estos suelos.

Se efectuaron ensayos utilizando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación tales como el %\*R, ensayos de compresión simple.

Estos se cambiaron por ensayos dinámicos y de repetición de cargas como el del módulo de resiliencia, que son pruebas que demuestran en mejor forma el comportamiento y lo que sucede debajo de los pavimentos en lo que respecta a tensiones y deformaciones.

Las propiedades físico mecánicas son las características utilizadas para la selección de los materiales, las especificaciones de construcción y el control de calidad.

La calidad de los suelos en el caso de las sub rasantes, se puede relacionar con el módulo de resiliencia, módulo de poisson, valor soporte del suelo (%\*R) y el módulo de reacción de la sub rasante

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

- **Subbase**

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase.

- **Base**

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de ésta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura.

#### - Superficie de rodadura

Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos. Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 4 centímetros), excepto el caso de riegos superficiales, ya que para estos se considera nula.

### 2.4 Método PCI (Pavement Condition Index) para pavimentos flexibles.

#### 2.4.1 Introducción

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

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

Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por agencias como por ejemplo: el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, el APWA (American Public Work Association) y ha sido publicado por la ASTM como método de análisis y aplicación.

(Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos ASTM D6433-03).

El cálculo del PCI se fundamenta en los resultados de un inventario visual del estado del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada falla presente. Dada la gran cantidad de combinaciones posibles, el método introduce un factor de ponderación, llamado “valor deducido”, para indicar en qué grado afecta a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, nivel de severidad y densidad (cantidad).

Este método no pretende solucionar aspectos de seguridad si alguno estuviera asociado con su práctica. El PCI se desarrolló para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie, un valor que cuantifique el estado en que se encuentra el pavimento para su respectivo tratamiento y mantenimiento.

El objetivo de este estudio fue desarrollar un Índice de Condición de Pavimentos (PCI) para carreteras y calles para proveer al ingeniero de un método estándar para evaluación de la condición estructural y de la superficie de una sección de pavimento, y de un método para determinar necesidades de mantenimiento y reparación en función de la condición de pavimentos.

Entre las características del método de evaluación del PCI, se puede citar las siguientes:

- Es fácil de emplear.
- No requiere de ningún equipo especial de evaluación, el procedimiento es enteramente visual.
- Ofrece buena repetitividad y confiabilidad estadística de los resultados.
- Suministra información confiable sobre las fallas que presenta el pavimento, su severidad y área afectada. (12 Cfr. Gutiérrez, 1994).

### 2.4.1.1 Objetivos del Índice de condición de pavimento (PCI)

Los objetivos que se persiguen con la aplicación del Método PCI son:

- a) Determinar el estado de un pavimento en términos de su integridad estructural y su nivel de servicio.
- b) Obtener un indicador que permita comparar con un criterio uniforme la condición y comportamiento de los pavimentos.
- c) Obtener un criterio racional para justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.
- d) Obtener información relevante de retroalimentación respecto del comportamiento de las soluciones adoptadas en el diseño, evaluación y criterios de mantenimiento de pavimentos. El método determina el Índice de Condición del pavimento (PCI) en base a información obtenida de una inspección visual. Este índice ayuda al ingeniero en procesos de evaluación, determinación de labores y prioridades de mantenimiento y reparación.

Los pasos requeridos para la evaluación de cada tramo o sección de vía están orientados a:

- Recorrer la vía en un vehículo “estándar” a la máxima velocidad permitida en la misma.
- Seleccionar dentro del tramo un sub-tramo que represente la condición promedio del pavimento en todo el tramo.
- Determinar el valor del PCI en una sección del sub-tramo. Es importante que la sección seleccionada sea lo más

representativa posible de la condición promedio del pavimento en todo el tramo.

El grado de deterioro de un pavimento estará dado en función del tipo de falla, su severidad (ancho de grieta, etc) y de su densidad (% del área afectada). (13 Cfr. Gutiérrez, 1994).

#### **2.4.2 EL MÉTODO DE PCI**

El PCI es un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento. El PCI proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie, indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales (rugosidad localizada y seguridad).

El PCI no puede medir la capacidad estructural del pavimento, y tampoco proporciona determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción (resistencia al resbalamiento) o la rugosidad general. Proporciona una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento.

Un monitoreo continuo del PCI es utilizado para establecer el ritmo de deterioro del pavimento, a partir del cual se identifican con la debida anticipación las necesidades de rehabilitación mayores. El PCI proporciona información sobre el rendimiento del pavimento para su validación o para incorporar mejoras en su diseño y procedimientos de mantenimiento.

Finalmente los trabajos de Construcción ( $PCI < 30$ ) se vinculan a la caracterización de una estructura de pavimento nueva sobre vías en afirmado o tierra o que por su estado de deterioro se considera deben ser reconstruidas.



Entre las fallas consideradas en el método del PCI se consideran un total de diecinueve (19) que involucran a todas aquellas que se hacen comunes en la degradación del pavimento.

### **Nro. Descripción Unidades**

1. Grieta Piel de cocodrilo m<sup>2</sup>
2. Exudación de Asfalto m<sup>2</sup>
3. Grietas de contracción (en bloque) m<sup>2</sup>
4. Elevaciones y Hundimiento m
5. Corrugaciones (encalaminado) m<sup>2</sup>
6. Depresiones m<sup>2</sup>
7. Grieta de borde m
8. Grietas de reflexión de juntas m
9. Desnivel calzada-Hombrillo m
10. Grietas longitudinales y transversales m
11. Baches y zanjas reparadas m<sup>2</sup>
12. Agregado Pulidos m<sup>2</sup>
13. Huecos No.
14. Acceso y salidas a puentes, rejilla de drenaje, líneas férreas m<sup>2</sup>
15. Ahuellamientos m<sup>2</sup>
16. Deformación por empuje m<sup>2</sup>
17. Grietas de deslizamientos m<sup>2</sup>
18. Hinchamiento m<sup>2</sup>
19. Disgregación y desintegración m<sup>2</sup>

Es importante que el evaluador del pavimento esté familiarizado con estos tipos de falla, sus niveles de severidad y las formas de medición establecidas en el método. Los tipos de fallas más comunes en pavimentos asfálticos son: grieta del tipo piel de cocodrilo, de contracción, de reflexión de juntas, longitudinales y transversales, baches, huecos, ahuellamientos, y desintegración o disgregación superficial. El resto de los

tipos de falla considerados en el método, son encontrados menos frecuentemente.

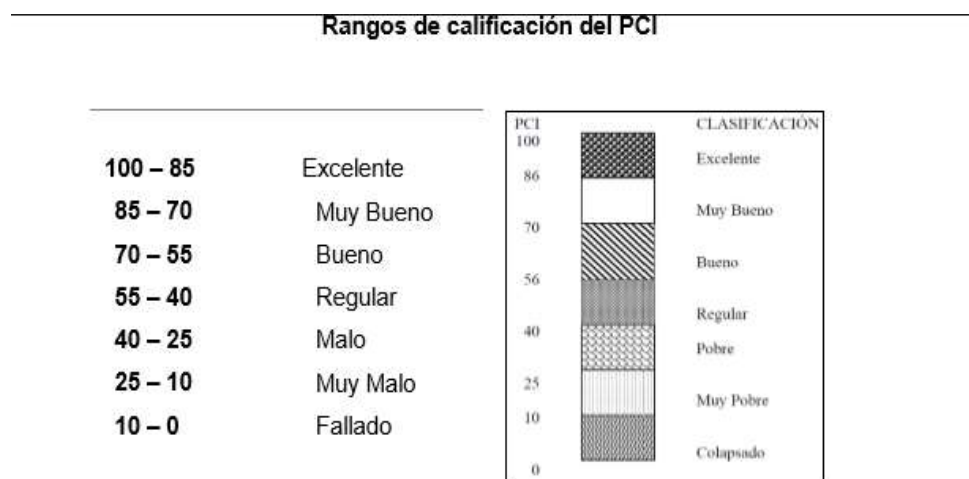
En este estudio dado la situación de la vía Av. Los Maestros, mediremos las siguientes fallas: Ahuellamiento, Piel de Cocodrilo, Peladuras, Fisuras Longitudinales y transversales.

En algunos casos se requiere entender como es afectada la calidad de rodaje por diversos tipos de falla a fin de determinar su severidad. **BAJO:** Las vibraciones o saltos en el vehículo se sienten, pero no es necesario reducir la velocidad por razones de seguridad y/o confort.

**MEDIO:** Se producen vibraciones o salto significativos, que hacen necesario reducir la velocidad por seguridad y/o confort. Saltos individuales o continuos que producen molestias.

**ALTO:** Excesivas vibraciones hacen reducir considerablemente la velocidad. Saltos individuales que producen gran molestia, peligro o posible daño vehicular. (16 Cfr. Gutiérrez, 1994).

### Rangos de calificación del PCI



Fuente: ASTM 5340-98 Método de Evaluación del PCI

Fuente: ASTM 5340-98 Método de Evaluación del PCI

El siguiente Tabla 03. Se resume la acción a tener en cuenta de acuerdo al valor del PCI calculado para cada vía. Se aprecia además el estado del pavimento asociado a este mismo valor.

**Tabla 03. Acciones a tener en cuenta de acuerdo al PCI.**

PCI	ESTADO	INTERVENCIÓN
0 - 30	MALO	RECONSTRUCCIÓN
31 - 70	REGULAR	REHABILITACION
71 - 100	BUENO	MANTENIMIENTO

Fuente: ASTM 5340-98 Método de Evaluación del PCI

## 2.5 CÁLCULO DEL PCI.

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin.

La Tabla 03 ilustra el formato para la inspección de pavimentos asfálticos, respectivamente. Las figuras son ilustrativas y en la práctica debe proveerse el espacio necesario para consignar toda la información pertinente. (ING. ESP. LUIS RICARDO VÁSQUEZ VARELA. Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras.

**Tabla 03: Modelo de hoja de registro de condición de pavimento.**

MÉTODO PCI		Nivel de Severidad:			
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE		Alto =H Medio =M Bajo =L			
HOJA DE REGISTRO					
Nombre de la vía: Ejecutor:		Sección: Fecha:	Unidad muestra: Área:		
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión	11. Parches y parches de cortes utilitarios	16. Fisura parabólica		
2. Exudación	7. Fisura de borde	12. Agregado pulido	17. Hinchamiento		
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta	13. Baches	18. Peladura por intemp. desprendimiento de		
4. Abultamientos y hundimientos agregados	9. Desnivel carril-berma	14. Abuellamiento			
5. Corrugación	10. Fisuras longitudinales y transversales	15. Desplazamiento			
FALLA	CANTIDAD		TOTAL	DENSIDAD	VALOR DEDUCIDO

Fuente: Elaboración propia

## 2.6 Unidades de Muestreo:

Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura:

Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 7.30 m:

El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango  $230.0 \pm 93.0 \text{ m}^2$ . En la tabla 04 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada.

### 2.6.1 Calculo de las Unidades de Muestreo:

Para el cálculo de las unidades de muestreo se basa en la tabla 04, pero este abarca solo hasta un 7.3 ancho de calzada máximo al que le corresponde una longitud de unidad de muestreo igual a 37.5, para nuestro cálculo se realizó

una interpolación de los datos de la tabla para un ancho de calzada de 6.10 m. Teniendo así un resultado cercano a la realidad el valor que se tomo fue el menor consecutivo:

Tabla 04: Longitudes de unidades de muestreo asfálticas

**Tabla 04: Longitudes de unidades de muestreo asfálticas**

Ancho de calzada(m)	Longitud de la unidad de muestreo(m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.3(máximo)	31.5

Fuente: ASTM 5340-98 Método de Evaluación del PCI

Realizamos la interpolación: Para un ancho de 6.10 m.

$$(6.5 - 7.3) / (6.5 - 6.10) = (35.4 - 31.5) / (31.5 - x)$$

Despejando "x"

$$X=38.1 \text{ m}$$

### 2.6.2 Determinación del PCI de la unidad de muestra para Evaluación.

En la "Evaluación De Una Red" vial puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

En la "Evaluación de un Proyecto" se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación 1, la cual produce un estimado del PCI  $\pm 5$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2} \text{ Ecuación 1.}$$

**Donde:**

**n:** Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

**N:** Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

**e:** Error admisible en el estimativo del PCI de la sección ( $e = 5\%$ )

**s:** Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar ( $s$ ) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35). En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ( $n < 5$ ), todas las unidades deberán evaluarse.

## CAPÍTULO III

### PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. AFORO VEHICULAR

- Sentido Norte – Sur.

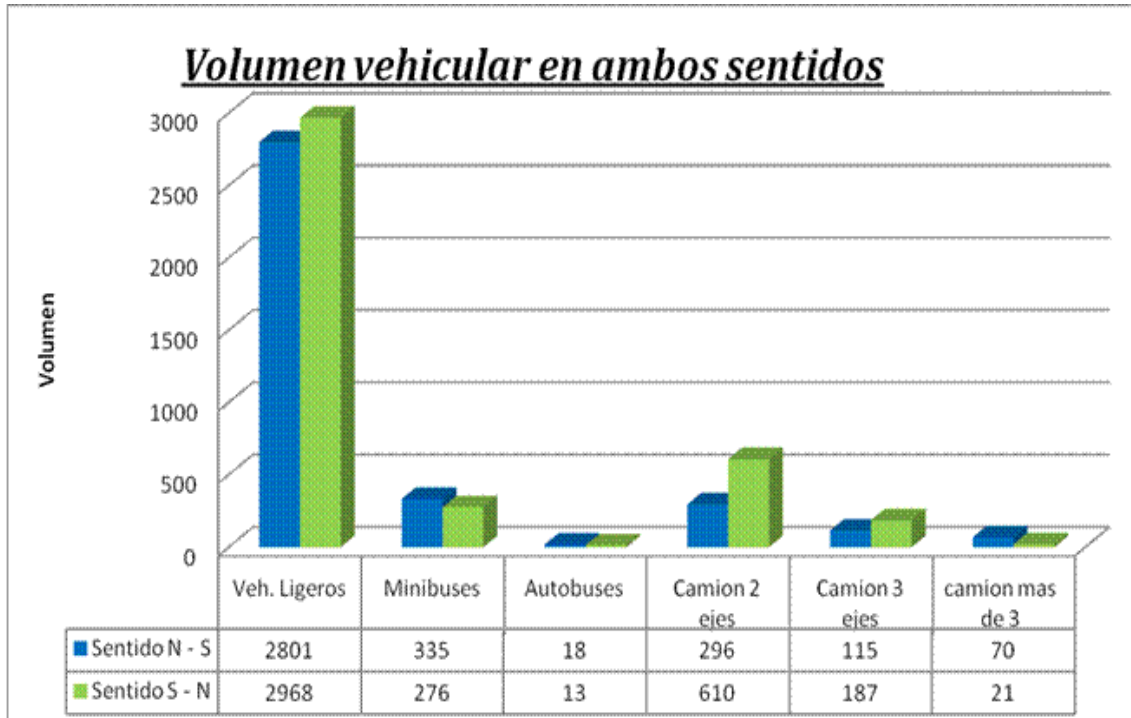
HORA	LIGEROS	MINIBUSES	AUTOBUSES	CAMION 2 EJES	CAMION 3 EJES	CAMION MAS DE 3	TOTAL
7:00-7:15	75	12	1	5	2	1	96
7:15-7:30	115	23	1	11	2	1	153
7:30-7:45	155	14	0	19	4	1	193
7:45-8:00	301	15	2	16	0	4	338
7:00-8:00	646	64	4	51	8	7	780
8:00-8:15	208	10	0	11	2	4	235
8:15-8:30	159	18	1	9	3	8	198
8:30-8:45	122	11	1	13	6	7	160
8:45-9:00	123	16	1	13	4	4	161
8:00-9:00	612	55	3	46	15	23	754
9:00-9:15	162	17	0	12	4	5	200
9:15-9:30	123	13	1	20	12	3	172
9:30-9:45	116	20	0	20	7	2	165
9:45-10:00	145	13	1	16	9	1	185
9:00-10:00	546	63	2	68	32	11	722
10:00-10:15	122	14	0	20	10	5	171
10:15-10:30	122	22	2	16	11	8	181
10:30-10:45	129	10	2	20	8	5	174
10:45-11:00	122	12	2	15	6	8	165
10:00-11:00	495	58	6	71	35	26	691
11:00-11:15	124	21	0	15	8	1	169
11:15-11:30	177	16	0	20	9	1	223
11:30-11:45	87	24	1	4	0	0	116
11:45-12:00	114	34	2	21	8	1	180
11:00-12:00	502	95	3	60	25	3	688
total 5 horas	2801	335	18	296	115	70	3635

- Sentido Sur - Norte

HORA	LIGEROS	MINIBUSES	AUTOBUSES	CAMION 2 EJES	CAMION 3 EJES	CAMION MAS DE 3	TOTAL
7:00-7:15	120	13	1	16	5	4	159
7:15-7:30	185	13	0	30	5	1	234
7:30-7:45	285	26	0	33	12	3	359
7:45-8:00	233	13	0	30	10	1	287
7:00-8:00	823	65	1	109	32	9	1039
8:00-8:15	213	15	0	32	11	4	275
8:15-8:30	173	16	1	28	8	0	226
8:30-8:45	180	10	1	33	6	0	230
8:45-9:00	113	11	0	37	7	1	169
8:00-9:00	679	52	2	130	32	5	900
9:00-9:15	145	15	2	21	6	2	191
9:15-9:30	115	11	1	31	11	0	169
9:30-9:45	140	18	0	29	13	0	200
9:45-10:00	134	19	0	33	11	2	199
9:00-10:00	534	63	3	114	41	4	759
10:00-10:15	132	19	3	51	15	0	220
10:15-10:30	122	11	0	32	12	0	177
10:30-10:45	98	10	0	34	7	0	149
10:45-11:00	97	7	0	19	10	0	133
10:00-11:00	449	47	3	136	44	0	679
11:00-11:15	120	13	0	36	9	1	179
11:15-11:30	112	14	0	36	8	1	171
11:30-11:45	120	13	1	27	6	0	167
11:45-12:00	131	9	3	22	15	1	181
11:00-12:00	483	49	4	121	38	3	698
total 5 hora	2968	276	13	610	187	21	4075

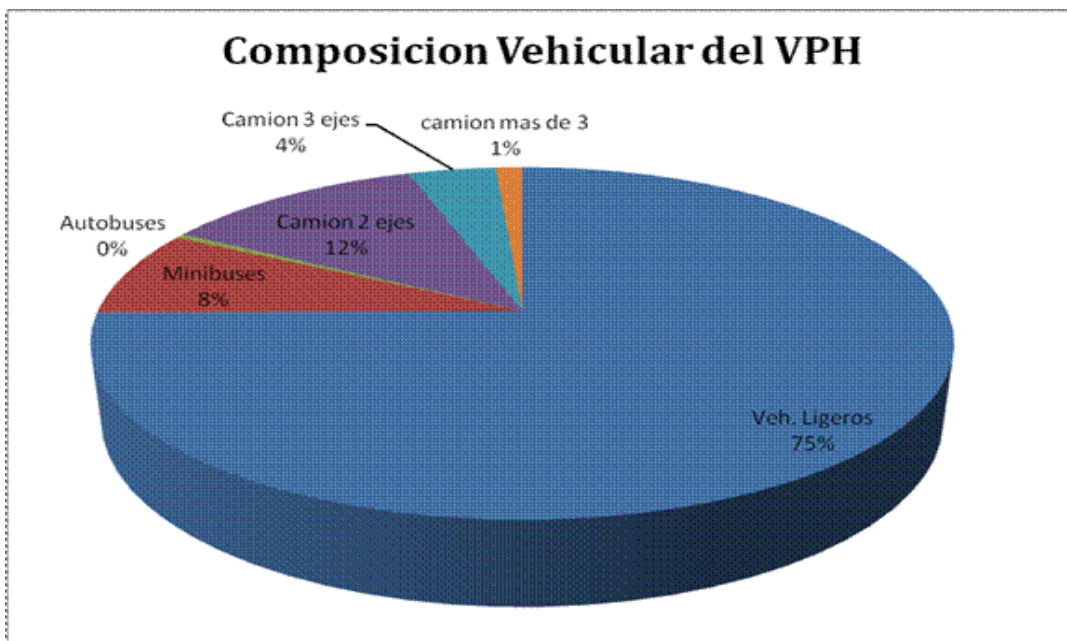


**GRAFICA DE VOLUMENES OBTENIDO**



**Factor de la Hora de Máxima Demanda**

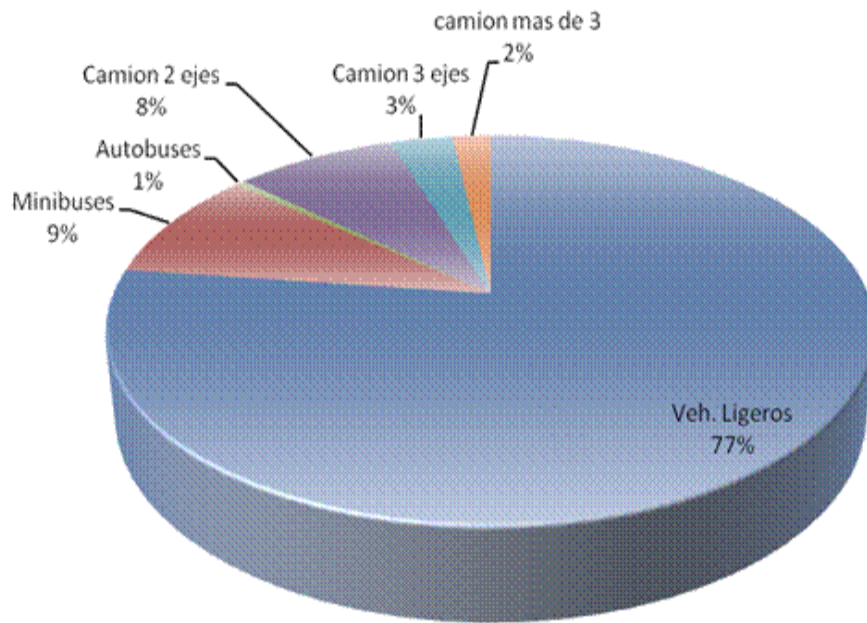
Relación del Volumen de la hora de máxima demanda a la tasa de volumen máxima dentro de la hora pico.



*Fuente: Elaboración Propia.*

- SENTIDO N - S

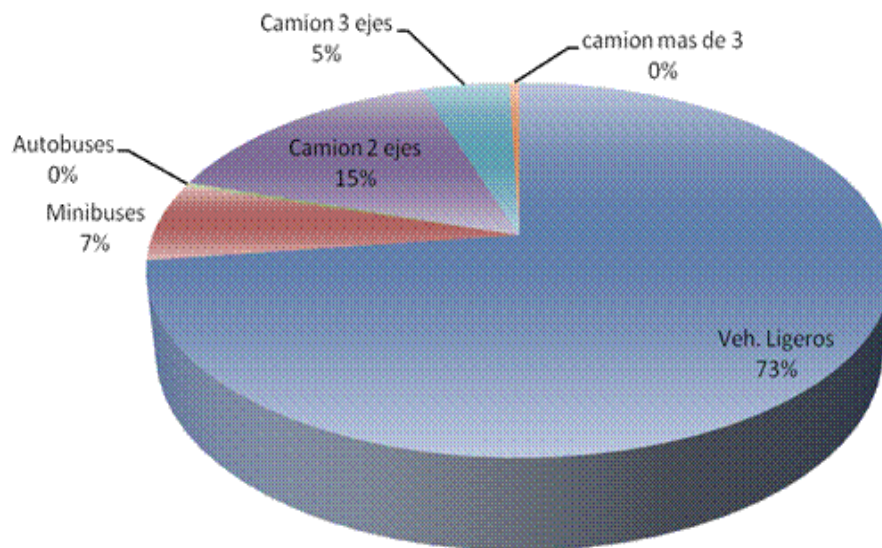
### Porcentaje vehicular en el Tramo I (sentido N-S)



Fuente: Elaboración propia.

- SENTIDO S - N

### Porcentaje vehicular en el tramo II (sentido S-N)



## FACTOR DE HORA PICO

$$FHMD = \frac{VHM}{FHP (4 * 15 \text{ min})}$$

$$FHMD(7 - 8am) = \frac{780 \text{ veh/h}}{338 \text{ veh/h} (4)} = 0.57$$

$$FHMD(8 - 9am) = \frac{754 \text{ veh/h}}{235 \text{ veh/h} (4)} = 0.80$$

$$FHMD(9 - 10am) = \frac{722 \text{ veh/h}}{200 \text{ veh/h} (4)} = 0.90$$

$$FHMD(10 - 11am) = \frac{691 \text{ veh/h}}{181 \text{ veh/h} (4)} = 0.95$$

$$FHMD(11 - 12am) = \frac{688 \text{ veh/h}}{223 \text{ veh/h} (4)} = 0.77$$

## INTENSIDAD MAXIMA HORARIA (IMH)

Es el mayor número de vehículos que pasa por la vía en una hora. Nuestro IH fue de 7:00 a 8:00 am en ambos tramos de la carretera.

### TRAMO I

HORA	VOLUMENES (veh)
7:00 - 7:15	<b>96</b>
7:15 - 7:30	<b>153</b>
7:30 - 7:45	<b>193</b>
7:45 - 8:00	<b>338</b>

### TRAMO II

HORA	VOLUMENES (veh)
7:00 - 7:15	<b>159</b>
7:15 - 7:30	<b>234</b>
7:30 - 7:45	<b>359</b>
7:45 - 8:00	<b>287</b>

## VOLUMENES PROMEDIO DE HORARIO

$$VPH = \frac{\text{total de vehiculos}}{\text{horas aforada}}$$

$$VPH(\text{tramo I}) = \frac{3633 \text{ veh}}{5 \text{ horas}} = 727 \text{ veh/h}$$

$$VPH(\text{tramo II}) = \frac{4075 \text{ veh}}{5 \text{ horas}} = 815 \text{ veh/h}$$

$$VPH = \frac{7708 \text{ veh}}{5 \text{ horas}} = 1542 \text{ veh/h}$$

## FACTOR I/C

$$(I/C) = \frac{\text{distancia de visibilidad}}{3500}$$

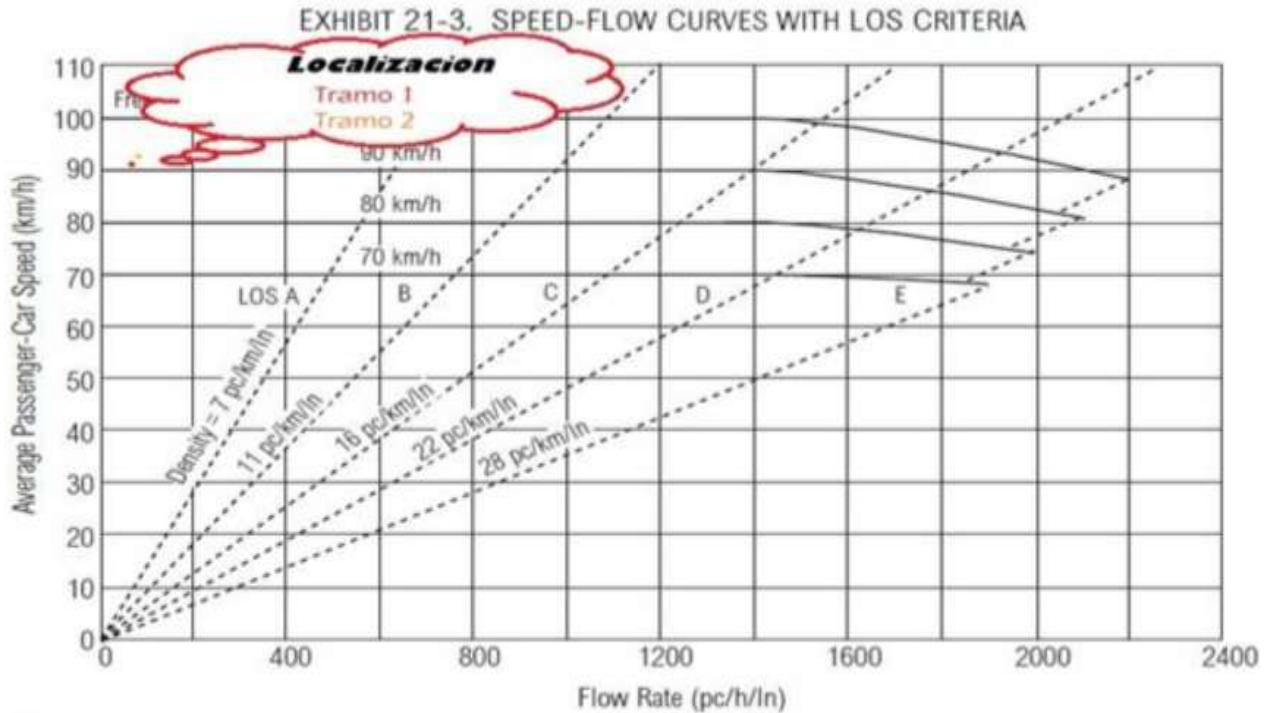
$$(I/C) = \frac{5 \text{ km}}{3500}$$

$$(I/C) = 0.0143$$

$$(I/C) = 0.143\%$$

### Resultado:

El nivel de servicio en el que esta trabajado en el tramo, es de clase A, esto se encuentra localizado en la dos variables **densidad** y **velocidad** promedio.



**Tramo I**

$$V_{pv} = 92.07 \text{ Km/h}$$

$$K = 52.84 \text{ veh/km/carril}$$

**Tramo II**

$$V_{pv} = 93.4 \text{ km/h}$$

$$K = 54.44 \text{ veh/km/carril}$$

**Interpretación**

Nivel de servicio **A** para ambos tramos. El Nivel A, corresponde a una situación de tráfico fluido, con intensidad de tráfico baja y velocidades altas, sólo limitadas por las condiciones físicas de la vía. Los conductores no se ven forzados a mantener una determinada velocidad por causa de otros vehículos.

$$\text{Capacidad} = 1700 * fp * fd * fcp * fav$$

$$\text{Capacidad (tramo I)} = 1700 * 0.97 * 1 * 1 * 0.89$$

$$\text{Capacidad (tramo I)} = 1468 \text{ veh/h}$$

$$\text{Capacidad (tramo II)} = 1700 * 0.97 * 1 * 1 * 0.829$$

$$\text{Capacidad (tramo II)} = 1328 \text{ veh/h}$$

### **Localización del punto de aforo**

## CONDICIONES DEL PAVIMENTO (PCI)

### Av. Los Maestros intersección Av. Matías Manzanilla

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTOS EN VIAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE		NIVEL DE SEVERIDAD:	
METODO PCI		L=BAJA M=MEDIO H=ALTA	
HOJA DE REGISTRO			
Nombre de la vía:	AV. Los Maestros	Sección:	1
Ejecutor:	Bach. Cristian Joel Anticona Beraun	Fecha:	
		Unidad de muestra:	U1
		Área:	228.75
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión	11. Parches y parches de cortes utilitarios	16. Fisura parabólica o por deslizamiento
2. Exudación	7. Fisura de borde	12. Agregado pulido	17. Hinchamiento
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta	13. Baches	18. Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados
4. Abultamientos y hundimientos	9. Desnivel carri-berma	14. Atuellamiento	
5. Corrugación	10. Fisuras longitudinales y transversales	15. Desplazamiento	
FALLA	CANTIDAD	TOTAL	DENSIDAD
1L	0.34	1.44	0.425
5L	43.70	72.2	42.55
			70.3
10L	0.11	0.15	0.26
10M	0.10		0.10
11M	0.78		0.10
13L	1.00	1.00	0.78
			0.34
14L	0.95	0.925	2.00
			0.87
15L	0.016		1.87
			0.82
18L	43.70	72.20	42.55
			69.503
			227.95
			99.64
			15.8
			10
			38.7
			0
			0
			5.5
			17.8
			6.7
			0

Tabla 6.2. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U1.

#	Valor Deducido						Total	q	CDV
	38.7	17.8	15.8	10	6.7	5.5	94.5	6	48
1	38.7	17.8	15.8	10	6.7	2	84.5	5	45
2	38.7	17.8	15.8	10	2	2	81.0	4	47
3	38.7	17.8	15.8	2	2	2	76.3	3	50
4	38.7	17.8	2	2	2	2	62.5	2	47
5	38.7	2	2	2	2	2	46.7	1	47

MAX CDV = 50

PCI = 50

RATING = **REGULAR**

### Interpretación

En la Avenida los Maestros se procede a la Evaluación del PCI, indicando según los valores establecidos según la AASHTO, que se encuentra en estado Regular, queriendo decir que la condición del pavimento es apto para un mantenimiento.

Las fallas encontradas con nivel de severidad bajo fueron: Piel de cocodrilo, corrugación, depresión, Fisuras longitudinales y trasnversales, ahuellamiento, desplazamiento de agregado y peladura. Además se registraron parches de mediana y alta severidad.

La falla más influyente en el deterioro del pavimento es la piel de cocodrilo, ya que aparte de ser una falla estructural (que afectan considerablemente al paquete estructural), se presenta en toda la superficie analizada. Seguida de esta falla está la peladura que es una falla funcional (influye en la carpeta asfáltica solamente) y que se extiende en toda el área. Asimismo se encontraron ahuellamientos de severidad baja, que también contribuyen al daño de la pista.



A  
v

METODO		NIVEL DE SEVERIDAD:	
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTOS EN VÍAS DE PAVIMENTO FLEXIBLE		L=BAJA	M=MEDIO
HOJA DE REGISTRO		H= ALTA	
Nombre de la vía:	Av. Los Maestros interseccion Av. Arenales	Sección:	4
Ejecutor:	Bach. Cristian Joel Anticona Beraun	Fecha:	
		Unidad de muestra:	U2
		Área:	228.75
1. Piel de cocodrilo	6. Depresión	11. Parches y parches de cortes utilitarios	16. Fisura parabólica o por deslizamiento
2. Exudación	7. Fisura de borde	12. Agregado pulido	17. Hinchamiento
3. Fisuras en bloque	8. Fisura de reflexión de junta	13. Baches	18. Peladura por intemperismo y
4. Abultamientos y hundimientos	9. Desnivel carril-berma	14. Ahuellamiento	19. desprendimiento de agregados
5. Corrugación	10. Fisuras longitudinales y transversales	15. Desplazamiento	
<b>FALLA</b>	<b>CANTIDA</b>	<b>TOTAL</b>	<b>DENSIDA</b>
1L	0.64	1.12	0.49
5L	92.4	191.4	83.67
6L	13.5	38.7	16.92
10L	3.5	3.05	1.53
11H	0.22	0.22	0.10
18L	172.5	172.5	75.41
			VALOR DEDUCIDO
			5
			36.7
			25.4
			0
			0
			14.5

Av. Arenales



**Tabla 6.4. Cálculo del PCI de la unidad de muestra U2.**

#	Valor Deducido				Total	q	CD
4	36.7	25.4	14.5	5	81.6	4	50
1	36.7	25.4	14.5	2	76.6	3	49
2	36.7	25.4	2	2	64.1	2	47
3	36.7	2	2	2	40.7	1	40

$$\text{Max CDV} = 50$$

$$\text{PCI} = (100 - \text{Max CDV}) = 50$$

$$\text{RATING} = \text{REGULAR}$$

La unidad de muestra U2, de 228.75 m<sup>2</sup>, pertenece al tramo 1 de la Vía de AV Los Maestros y no presenta cambios de sección. Esta área sigue formando parte de la sección 1 junto con la unidad de muestra anterior (U1).

Las fallas de nivel de severidad bajo fueron: Piel de cocodrilo, corrugación, depresión, fisuras longitudinales y transversales, ahuellamiento, desplazamiento, y peladura. También se registraron parches alta severidad y peladuras de severidad media. Ver tabla 6.3.

La falla que más afecta al deterioro del pavimento es la corrugación, pues se presenta en toda la superficie. Seguida a esta falla está la peladura de nivel bajo que también se extiende en toda el área y la peladura de mediana severidad que cubre cerca de 5.60 m<sup>2</sup> de área.

También se encontraron ahuellamientos de severidad baja, que también contribuyen al daño de la pista.

Las fallas menos influyentes son un parche de alta severidad y dos depresiones de severidad baja que tienen área despreciable, comparada con el área total inspeccionada.

### 3.1.1 PRUEBA DE HIPÓTESIS

#### Prueba de hipótesis general:

Hipótesis nula:

El tráfico vehicular no influye significativamente sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.

Hipótesis alterna:

El tráfico vehicular influye significativamente sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.

#### Decisión:

Los resultados del análisis estadístico dan cuenta de la existencia de una relación  $r = 0,887$  entre las variables: Tráfico vehicular y aparición de fallas en el pavimento flexible. La significancia de  $p=0,000$  muestra que  $p$  es menor a 0,05 lo que permite señalar que hay relación entre ambas variables, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador. ***El tráfico vehicular influye significativamente sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.***

#### Prueba de hipótesis específica 1

Hipótesis nula:

A mayor tránsito vehicular será menor la aparición de fallas del pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.

Hipótesis alterna:

A mayor tránsito vehicular será mayor la aparición de fallas del pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016

**Tabla Nº 28: Relación entre tránsito vehicular y aparición de fallas en el pavimento flexible**

			Tránsito vehicular	Aparición de fallas
Correlación de Spearman	Tránsito vehicular	Coefficiente de correlación	1,000	0,762**
		Sig. (bilateral)		0,000
		N	40	40
	Aparición de fallas	Coefficiente de correlación	0,762**	1,000
		Sig. (bilateral)	0,000	
		N	40	40

#### Decisión:

Los resultados del análisis estadístico dan cuenta de la existencia de una relación  $r = 0,762$  entre las variables: Tránsito vehicular y aparición de fallas en el pavimento flexible. La significancia de  $p=0,000$  muestra que  $p$  es menor a  $0,05$  lo que permite señalar que hay relación entre ambas variables, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador. ***A mayor tráfico vehicular es mayor la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.***

#### Prueba de hipótesis específica 2

Hipótesis nula:

A mayor congestión vehicular será menor la aparición de fallas del pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016

Hipótesis alterna:

A mayor congestión vehicular será mayor la aparición de fallas del pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016

**Tabla N° 29: Relación entre congestión vehicular y aparición de fallas en el pavimento flexible**

			Congestión vehicular	Aparición de fallas
Correlación de Spearman	Congestión vehicular	Coefficiente de correlación	1,000	0,628**
		Sig. (bilateral)		0,000
		N	40	40
	Aparición de fallas	Coefficiente de correlación	0,628**	1,000
		Sig. (bilateral)	0,000	
		N	40	40

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

**Decisión:**

Los resultados del análisis estadístico dan cuenta de la existencia de una relación  $r = 0,628$  entre las variables: Congestión vehicular y aparición de fallas en el pavimento flexible. La significancia de  $p=0,000$  muestra que  $p$  es menor a 0,05 lo que permite señalar que hay relación entre ambas variables, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador. **A mayor congestión vehicular es mayor la aparición de fallas del pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.**

### Prueba de hipótesis específica 3

Hipótesis nula:

La clasificación de vehículos no influye significativamente en la aparición de fallas sobre el pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.

.

Hipótesis alterna:

La clasificación de vehículos influye significativamente en la aparición de fallas sobre el pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.

**Tabla N° 30: Relación entre clasificación de vehículos y aparición de fallas en el pavimento flexible**

			Clasificación de vehículos	Aparición de fallas
Correlación de Spearman	Clasificación de vehículos	Coefficiente de correlación	1,000	0,721**
		Sig. (bilateral)		0,000
		N	40	40
	Aparición de fallas	Coefficiente de correlación	0,820**	1,000
		Sig. (bilateral)	0,000	
		N	64	64

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

### Decisión:

Los resultados del análisis estadístico dan cuenta de la existencia de una relación  $r = 721$  entre la variables: Clasificación de los vehículos y aparición de fallas en el pavimento flexible. La significancia de  $p=0,000$  muestra que  $p$  es menor a 0,05 lo que permite señalar que hay relación

entre ambas variables, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis del investigador. ***La clasificación de vehículos influye moderadamente en la aparición de fallas sobre el pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.***



### 3.2 CONCLUSIONES

- El pavimento flexible de la vía Av Los Maestros entre las intersecciones de la Av. Matias Manzanilla y Av. Arenales ciudad de Ciudad de Ica en el año 2017, según la evaluación mediante el método del Índice del condición del Pavimento (PCI) tiene un valor de  $PCI = 51$  y en concordancia con la escala de evaluación del PCI, se concluye que el estado actual de dicho pavimento es Regular.
- Las fallas con mayor nivel de severidad que se presentan en el pavimento flexible de la Vía de Evitamiento Norte son: baches en mal estado, Piel de Cocodrilo y agrietamientos Longitudinales, Transversales y Peladuras.
- Finalmente, tomando todas las unidades de muestra sin distinción del tramo analizado, se calcula el PCI ponderado de 49 por lo tanto el pavimento es Regular cumpliendo con la hipótesis.

### 3.3 RECOMENDACIONES

De las conclusiones obtenidas podemos sugerir:

- Se recomienda ampliar el estudio de evaluación de fallas en los pavimentos flexibles de la ciudad de Ica para detectar los tramos más deteriorados y así poder tomar medidas de reparación y mantenimiento de acuerdo a los tipos de falla que presenten.
  
- Un mantenimiento oportuno y continuo es necesario para preservar la inversión y mantener el pavimento en completo servicio al público.
  
- Se recomienda un monitoreo continuo del PCI, que sirve para establecer el ritmo de deterioro del pavimento, a partir del cual se identifica con la debida anticipación las necesidades de rehabilitación y mantenimiento de la vía.
  
- El pavimento evaluado necesita las siguientes medidas de reparación: limpieza y sellado de las grietas, reemplazo de parches en mal estado, Se recomienda aplicar un riego de liga para incrementar el PCI de la unidad de muestra analizada. Este riego de liga puede ser una lechada asfáltica (Slury Seal) o un riego pulverizado (Fog Seal). En todo el tramo analizado.

### 3.4 FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Altamirano (2007). *Deterioro de pavimentos*. Universidad de Ingeniería – Lima.
2. AASHTO, “*Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos*”, 1993.
3. American Concrete Pavement Association (acpa), “*Boletín Técnico – Pavement Rehabilitation Strategy Selection*”.
4. American Concrete Pavement Association (acpa), “*Boletín Técnico - Subgrades and Subbases for Concrete Pavements*”.
5. Asociación de Productores del Cemento del Perú (Asocem), “*Boletín Técnico No 81- Tipos de Pavimento de Concreto*”.
6. Carlos Alberto Chuyes. Tesis “*Diseño del subdrenaje de pavimentos y su aplicación a dos zonas de Piura*”, 1998.
7. Gaete, R. (2009). En el artículo publicado: *Un sistema de gestión para la mantención de caminos no pavimentados*.
8. José Andrés Bermeo Romero. “*Diseño de sobrecapas asfálticas de refuerzo en pavimentos usando el método del Instituto del Asfalto*”, 2003.
9. Manual de rehabilitación de pavimentos, publicado en la página web [www.carreros.org](http://www.carreros.org).
10. Fonseca (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras - Segunda Edición*, Bogotá – Colombia.
11. Rafael Feria Torres. (2000) “*Técnicas de análisis de accidentes de tránsito con alguna aplicación en la ciudad de Piura*”, 2000.

12. Reglamento de peso y dimensión vehicular para la circulación de la red vial nacional.

13. Rico Rodríguez, A. y Del Castillo, H. (2000). *La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres* (1ra ed.) México - Noriega.

## **ANEXOS**

**ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA.**

**ANEXO 02: INSTRUMENTOS**

**ANEXO 03: FICHAS DE VALIDACIÓN DE ESPERTOS**

**ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**EL TRÁFICO VEHICULAR Y SU INFLUENCIA SOBRE LA APARICIÓN DE FALLAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AVENIDA LOS MAESTROS EN EL DISTRITO DE ICA**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema Principal</b></p> <p>¿Cómo tráfico vehicular influye sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016?</p> <p><b>Problemas Específicos</b></p> <p>¿En qué nivel el tránsito vehicular influye sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los maestros en el distrito de Ica, año 2016?</p> <p>¿En qué nivel la congestión vehicular influye sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los maestros en el distrito de Ica, año 2016?</p> <p>¿En qué nivel la clasificación de los vehículos influye sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los maestros en el distrito de Ica, año 2016?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Determinar si el tráfico vehicular influye sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Describir las fallas ocasionadas por el tránsito vehicular sobre el pavimento flexible de la avenida Los maestros en el distrito de Ica, año 2016.</p> <p>Describir las fallas ocasionadas por la congestión vehicular sobre el pavimento flexible de la avenida Los maestros en el distrito de Ica, año 2016</p> <p>Describir las fallas ocasionadas según la clasificación de vehículos sobre el pavimento flexible de la avenida Los maestros en el distrito de Ica, año 2016</p>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p><b>El tráfico vehicular influye significativamente sobre la aparición de fallas en el pavimento flexible de la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.</b></p> <p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>A mayor tránsito vehicular será mayor la aparición de fallas del pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.</p> <p>A mayor congestión vehicular será mayor la aparición de fallas del pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.</p> <p>La clasificación de vehículos influye significativamente en la aparición de fallas sobre el pavimento flexible en la avenida Los Maestros en el distrito de Ica, año 2016.</p>	<p><b>VARIABLE 1</b></p> <p><b>Tráfico vehicular</b></p>	<p>Tránsito vehicular</p> <p>Congestión vehicular</p> <p>Clasificación de los vehículos</p>	<p><b>Diseño de la Investigación</b></p> <p>El diseño de la investigación es no experimental - transversal y prospectivo.</p> <p><b>Tipo de Investigación</b></p> <p>La presente investigación es aplicada de naturaleza descriptivo - correlacional, de acuerdo con Hernández, Fernández, &amp; Baptista (2010, p.81),</p> <p><b>Población:</b> Estará constituida por 40 Ingenieros civiles de la ciudad de Ica.</p> <p><b>Muestra:</b> Estará constituida por la totalidad de la población.</p> <p><b>Técnica: Observación y Encuesta</b></p> <p><b>Instrumento:</b> Ficha de observación cuestionario</p>
			<p><b>VARIABLE 2</b></p> <p><b>Fallas del Pavimento flexible</b></p>	<p>Piel de cocodrilo</p> <p>Peladuras</p> <p>Ahuellamiento</p> <p>Grietas longitudinales y transversales</p>	



## ILUSTRACIONES FOTOGRAFICAS



Estado de pavimento a causa de mantenimiento de redes de agua y  
desagüe

## Hundimiento de los pavimentos





### Tráfico vehicular



### Mapa de la avenida Los Maestros

