

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

*ESCUELA DE POSGRADO*



**CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE (PCI)  
EN UN TRAMO DE LA AVENIDA AMÉRICA OESTE DE LA CIUDAD DE  
TRUJILLO.**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN  
TRANSPORTES Y CONSERVACIÓN VIAL.**

AUTOR : SEGUNDO ALFREDO VARGAS LÓPEZ

ASESOR : MS. RODRIGUEZ RAMOS MAMERTO

TRUJILLO – PERU

2020

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente tesis a mi esposa Nancy Sánchez Muñoz y a mis hijos Iván y Omar.

## **AGRADECIMIENTO.**

A mi asesor Ing. Mg. Mamerto Rodriguez Ramos.

A mi amigo Dr. Guillermo Cabanillas Quiróz.

## RESUMEN

Tiene por finalidad la presente, adjudicar el método PCI, para determinar el Índice de Condición del Pavimento en la Avenida América Oeste, Trujillo; con el propósito de identificar las fallas existentes en los 5 Km que conforman la autopista, (2,5 km. a cada lado) para luego, evaluar y cuantificar el estado de la vía.

La problemática vial que se presenta en la ciudad de Trujillo, es consecuencia, entre otros, de los estragos causados por el Fenómeno El Niño 2017, por el cual, debido a las intensas lluvias que se produjeron, y al desborde de las aguas de las quebradas San Ildefonso, El León y San Carlos, las pistas quedaron devastadas y entre ellas la avenida América Oeste.

El trabajo de la presente tesis, se inicia mencionando las equivocaciones más comunes que perjudican a los pavimentos urbanos flexibles.

Luego, se expone el método para evaluar las fallas, el muestreo de los diferentes sectores elegidos (unidades de muestra) y por último el cálculo del PCI.

Asimismo, se presentan los documentos de registro de fallas, y el cálculo respectivo del Índice de condición del Pavimento, por cada unidad de muestra (sector escogido) analizada.

Finalmente se llegará a establecer el estado de condición del pavimento de la Avenida América Oeste de la ciudad de Trujillo y se recomendará, la mejor solución, de acuerdo a las fallas detectadas, con el fin de restituir la vía a su estado óptimo de transitabilidad.

## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is to apply the PCI method to determine the Pavement Condition Index on Avenida América Oeste, in the city of Trujillo, in order to identify the existing faults in the 5 km that make up the highway, (2.5 km. On each side) to then evaluate and quantify the condition of the road.

The road problem that occurs in the city of Trujillo is a consequence, among others, of the ravages caused by the El Niño Phenomenon 2017, by which, due to the intense rains that occurred, and the overflow of the waters of the San Ildefonso, El León and San Carlos streams, the tracks were devastated and among them América Oeste avenue.

The work of this thesis begins by mentioning the most common failures that affect flexible urban pavements.

Then, the method to evaluate the failures, the sampling of the different chosen sectors (sample units) and finally the calculation of the PCI will be explained.

Likewise, the failure record sheets will be presented, with the respective calculation of the Pavement Condition Index, for each sample unit (chosen sector) analyzed.

Finally, the condition of the pavement of the Avenida América Oeste in the city of Trujillo will be established and the best solution will be recommended, according to the detected faults, in order to restore the road to its optimal state of walkability.

## PRESENTACIÓN DE LA TESIS A LOS MIEMBROS DEL JURADO

---

DR. OSWALDO HURTADO ZAMORA  
Presidente

---

MS. JUAN PAUL EDWARD HENRÍQUEZ ULLOA  
Secretario

---

DRA. ROCÍO DEL PILAR DURAND ORELLANA.  
Vocal

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
PRESENTACIÓN DE LA TESIS A LOS MIEMBROS DEL JURADO .....	vi
I. __ INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. __ Realidad Problemática.....	8
1.2. __ Objetivos .....	9
1.3. __ Justificación del estudio.....	10
II. __ MARCO DE REFERENCIA.....	12
2.1. __ Antecedentes del estudio.....	12
2.2. __ Marco teórico .....	13
2.4. __ Sistema de Hipótesis.....	30
III. __ METODOLOGÍA EMPLEADA.....	30
3.1. __ Tipo de investigación :.....	30
3.2. __ Población y muestra de estudio.....	31
3.3. __ Diseño de investigación.....	31
3.4. __ Técnicas e instrumentos de investigación.....	31
3.5. __ Procesamiento y análisis de datos:.....	33
IV. __ PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	38
4.1. __ Análisis e interpretación de resultados.....	38
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES.....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS.....	55

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática.**

La necesidad de mejorar el estado en que se encuentran los pavimentos en la ciudad de Trujillo, es una preocupación que afecta a todos los ciudadanos en general.

La realidad que se vive es alarmante, pues es imposible tener un viaje seguro y placentero, debido a las innumerables fallas presentes en el pavimento, que lo van deteriorando poco a poco disminuyendo su nivel de servicio.

La solución más evidente a este problema, es reparar el pavimento dañado y dejarlo en una condición óptima.

Para lograrlo es necesario conocer el estado real en que se encuentra la pista a reparar, para saber exactamente la técnica a aplicar.

El presente trabajo se remonta al año 2019, en la ciudad de Trujillo, específicamente en al Avenida América Oeste, la cual hasta la actualidad presenta un estado deplorable, pues 5 Km. de pavimento flexible se han visto afectados considerablemente debido a su antigüedad, al crecimiento acelerado del parque automotor, de la ciudad de Trujillo, al alto índice de tráfico vehicular en esa zona, por su cercanía al centro comercial Mall Aventura Plaza y , principalmente a las lluvias que se precipitaron sobre la vía, como consecuencia de la presencia del Fenómeno del Niño Costero en el año 2017.

Es así que la realidad que se vive en ese sector es crítica, pues es imposible tener una transitabilidad segura debido a la gran cantidad de grietas, baches, deformaciones etc .que se encuentran en la vía, que retardan el desplazamiento y velocidad normal que deben llevar los vehículos, con el consecuente desorden vehicular, falta de transitabilidad óptima, malestar de los usuarios de la vía, peatones y viviendas aledañas.

Pero el problema no termina allí.

No basta con reparar el daño, sino que es necesario evaluar el comportamiento de la vía, después de la reparación, y saber cuando es necesario darle el mantenimiento correspondiente para evitar repararlo nuevamente e incurrir en gastos innecesarios.



## **Formulación del problema**

¿Con el cálculo del Índice de Condición del Pavimento Flexible, determinar el estado de situación del pavimento de la Avenida América Oeste ( km. 0+00 al km. 5+00, dos vías ) de la ciudad de Trujillo y con su implementación mejorará la transitabilidad del sector?

### 1.2. Objetivos

#### **Objetivo General:**

Cálculo del índice de condición del pavimento flexible, para determinar el estado de conservación del pavimento de la Avenida América Oeste, de la ciudad de Trujillo, en el tramo comprendido en el inicio de la avenida (intersección de la Avenida Mansiche con la Avenida América Oeste) y la intersección de la Avenida América con la Avenida Juan Pablo II, en una longitud de 5 Km, considerando ambos tramos de la avenida ( ida y retorno)

Objetivos Específicos.

- a. Realizar el diagnóstico de los diferentes tipos de fallas en la Avenida América Oeste de la ciudad de Trujillo ( inventario ).
- b. Determinar el nivel de severidad de cada uno de los tipos de fallas.

Se efectuará una evaluación de cada una de las fallas advertidas en los dos carriles de la Avenida América Oeste de la Ciudad de Trujillo, haciendo un recorrido a pie de los 5 Km. de longitud de la vía, precisando el lugar exacto de la ocurrencia de la falla, haciendo mención de la respectiva progresiva, para luego proceder a determinar, mediante el procedimiento de Cálculo de Índice de Condición del Pavimento Flexible (PCI), adoptando, según requiere el método, tramos de 230 metros lineales, hasta completar los 5 km.

Este trabajo permitirá determinar con exactitud el nivel de severidad de las fallas en los tramos elegidos, para luego consolidarlos y hallar el grado de deterioro que tiene actualmente la vía en estudio.

- c. Determinar el índice de condición del pavimento para cada tramo.  
Esto nos permitirá determinar finalmente el estado de conservación de la vía ( bueno, regular, malo)
- d.-.- Obtener un indicador que permita comparar, con un criterio uniforme, la condición y comportamiento del pavimento y de esta manera justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación, seleccionando la técnica de reparación más adecuada al estado del pavimento en estudio. (U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2001)

### 1.3. **Justificación del estudio**

- Académica.  
El proyecto se justifica académicamente porque consiste en averiguar e identificar las diferentes causas que originan el deterioro de un pavimento flexible en la ciudad de Trujillo.
- Técnica.  
La presente investigación permitirá aplicar el método adecuado para identificar el grado de deterioro del pavimento flexible de la Avenida América Oeste de la ciudad de Trujillo, el cual servirá de base para efectuar futuros estudios del sistema vial, con fines de mantenimiento y conservación de vías con pavimentos flexibles.
- Social  
Con el presente proyecto, se verá beneficiada la población de Trujillo en general, ya que un gran porcentaje de ella, visita los centros comerciales ubicados en forma adyacente a la Avenida América Oeste de Trujillo.

El método PCI, consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando 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. (ASTM,2004).

Con la información de campo obtenida durante la auscultación vial, y siguiendo la metodología indicada en el PCI, se calcula un índice numérico que cuantifica el estado en que se encuentra el pavimento analizado, es decir, señala si el pavimento está fallado, si es malo, muy malo, regular, si es bueno, muy bueno o excelente.

En tal sentido, esta tesis se justifica porque con su desarrollo se podrá conocer el estado real del pavimento flexible en la Avenida América Oeste de Trujillo en 2.5 km. de longitud, haciendo un total de 5 km. con la vía de retorno de la misma avenida, para luego determinar la técnica adecuada para su recuperación y respectivo mantenimiento, con los consiguientes beneficios para la ciudad de Trujillo en general y de todo el parque automotor que circula por la avenida América Oeste de la ciudad de Trujillo en particular, ya que es una vía de gran circulación vehicular por encontrarse adyacente al centro comercial Mall Aventura Plaza

## II. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1. Antecedentes del estudio.

**Rodríguez V. (2009) Tesis para obtener el título de ingeniero civil “Cálculo del Índice de Condición de Pavimento flexible en la Avenida Luis Montero, Distrito de Castilla- Piura.”** El objetivo de esta tesis, fue aplicar el método del Índice de condición el pavimento flexible (PCI) en la avenida Luis Montero del distrito de Castilla, Piura, donde, mil doscientos metros lineales de pista han sido estudiados a detalle para identificar las fallas existentes y cuantificar el estado de la vía.

Se concluyó que la mayoría de las fallas del pavimento fueron del tipo funcional, que no afectan el tránsito normal de los vehículos, no es necesario disminuir la velocidad libre y no son percibidas por el conductor, pues no causan daños estructurales.

La similitud con el presente proyecto de investigación es la metodología a usar, sin embargo se estima que, en este caso, por simple inspección ocular, se puede avizorar que van a existir fallas estructurales, profundas que afectan la transitabilidad de la vía y ponen en riesgo la circulación de los vehículos.

**Rabanal P. (2014) Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil “Análisis del Estado de conservación del Pavimento Flexible de la Vía de Evitamiento Norte de la ciudad de Cajamarca, utilizando el método del Índice de Condición del Pavimento.** Con esta tesis se concluyó que el estado de condición del pavimento flexible de la vía de evitamiento norte de la Ciudad de Cajamarca fue regular, recomendando el mantenimiento de la vía con la aplicación de slurry seal o con un riego pulverizado.

La semejanza con el proyecto de tesis del suscrito es el hecho de llevar a cabo una evaluación del estado del pavimento flexible, teniendo en cuenta que en ambas tesis se va a evaluar las fallas, reflejadas en los

agrietamientos y deformaciones que producen el retardo de la velocidad de circulación de los vehículos, con el consecuente congestionamiento del tráfico.

**Granda (2016) Tesis para obtener el título de ingeniero civil “Gestión y Conservación de Pavimentos flexibles a través del Índice de desempeño PCI, en el entorno del Distrito de Surquillo-Lima.**

Con esta tesis se concluyó, se concluyó que existen diversos sectores en el distrito de Surquillo, que su estado de condición varía de regular a bueno, por lo que se recomendaron intervenciones de mantenimiento y mejoramiento según sea el caso.

Esta tesis tiene similitud con el actual proyecto, porque con la identificación de las fallas del pavimento en la avenida América Oeste de la ciudad de Trujillo, se elaborará un plan de acción para el mantenimiento o reconstrucción de la vía.

**Ccopa,( 2016)“ Evaluación de las fallas de la carpeta asfáltica mediante el método PCI en al av. Circunvalación Oeste de Juliaca – Puno: Tesis para obtener el título de ingeniero civil.**

Se concluyó finalmente, luego del estudio que la Avenida Circunvalación Tramo Parque Cholo- V. Ferrocarril en la Ciudad de Juliaca, tenía un índice de condición de pavimento de categoría regular, proponiéndose la alternativa de mejoramiento para mejorar la transitabilidad de la vía.

Esta tesis, al igual que las otras, tiene similitud con el presente proyecto de investigación, pues coinciden en determinar las fallas del pavimento y, establecer un programa de trabajo destinado al mantenimiento o reconstrucción de las vías correspondientes.

## 2.2. Marco teórico

**Fallas en el pavimento** ( Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos R.D. N°10-2014-MTC/14.)

Son alteraciones de la superficie de rodadura de los pavimentos, que perjudican la seguridad, comodidad y rapidez con la que debe circular el tráfico presente y futuro.

### **Causas de las fallas en el pavimento.**

Según el indicado manual, las fallas o defectos en el pavimento son de distinto origen y naturaleza, de las cuales mencionaremos las siguientes:

- Exagerado incremento de las cargas circundantes.
- Deficiencias en el proceso constructivo: espesores menores que los previstos, elaboración inadecuada de las mezclas y estabilizadores, deficiencias en el proceso de distribución, compactación o terminación, factores todos que traen como consecuencia una disminución de la calidad de los materiales y un debilitamiento estructural del pavimento.
- Proyecto deficiente.  
Da lugar a espesores menores de los que realmente necesita la vía.
- Factores climáticos regionales:  
Elevación de la napa freática, inundaciones, lluvias prolongadas, insuficiencia del drenaje superficial o subterráneo, variaciones térmicas externas, congelamiento, presencia de sales nocivas etc.
- Deficiente conservación vial o falta total de conservación.

### **Tipos de fallas en el pavimento.( R:D. N° 10-MTC/ 2014)..**

- Fallas superficiales: Son defectos en la superficie de rodadura.
- Fallas estructurales: Son defectos en la superficie de rodadura, cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir afecta una o más capas de pavimento.

### **Fallas en pavimentos flexibles( R.D. N° 10-MTC/ 2014).**

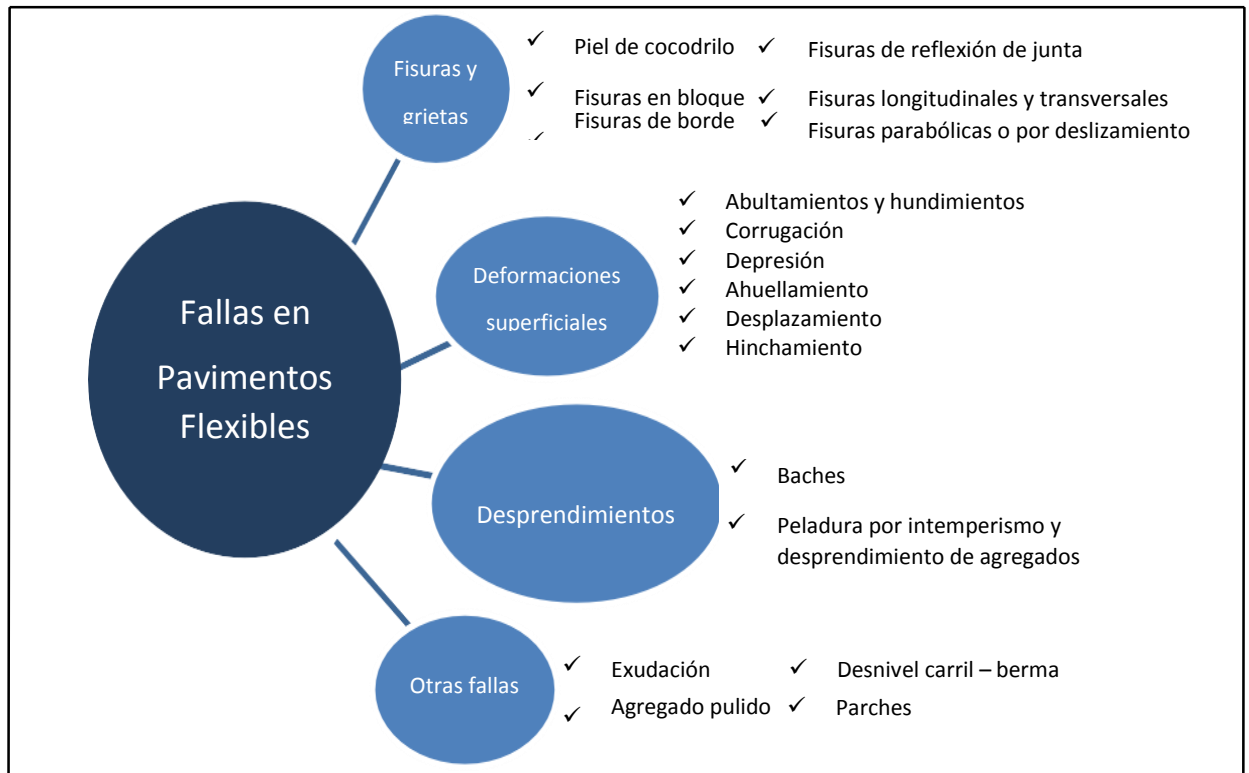
Las fallas en los pavimentos flexibles, se producen, como ya se explicó en el acápite anterior, por factores relacionados al diseño de pavimentos, calidad de los materiales empleados en la estructura del pavimento, el tráfico vehicular y el medio ambiente.

La acumulación de estos factores, sumados a la falta, o a un inadecuado mantenimiento, son la causa del deterioro progresivo del pavimento.

## Tipos de fallas en pavimentos flexibles.(RD N° 10-MTC/2014.)

Para pavimentos flexibles los daños pueden ser agrupados en 4 categorías:

1) Fisuras y grietas; 2) Deformaciones superficiales; 3) Desprendimientos de pavimentos o desprendimientos; 4) Afloramientos y otras fallas. Ver figura .



Fuente : Rodriguez E. D.( 2009) Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la avenida Luis Montero-Distrito de Castilla.

Como se puede apreciar son 18 las fallas más comunes en los pavimentos flexibles, según el método de Cálculo de Índice de Condición del pavimento (PCI )

Describiré cada una de ellas:

### 2.2.1. Piel de Cocodrilo.

Las fisuras se conectan unas con otras formando polígonos irregulares, dando la apariencia de una piel de cocodrilo.



Fotografía N° 01. Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Debido al excesivo tráfico vehicular,, el pavimento se fatiga , produciéndose este tipo de fallas, que de no corregirse a tiempo, podría generar que la falla se agrave, produciéndose un desprendimiento o bache en el pavimento.

#### 2.2.2. Exudación.

Se presenta como una superficie brillante, resbaladiza y pegajosa, por exceso de sello bituminoso o ligante asfáltico en la mezcla.

Esta falla se produce durante el verano y es irreversible durante la época de frío.





**Fotografía N°02:** Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

La exudación es causante de muchos accidentes de tránsito.

### 2.2.3. Fisuras en bloque.

Son grietas interconectadas que forman piezas rectangulares de tamaño variable.

Esta falla ocurre en aquellas áreas donde no hay tráfico y no están asociadas a cargas vehiculares externas.



**Fotografía N° 03.**

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Esta falla se produce por variaciones en la temperatura , dando lugar a la contracción del pavimento.

### 2.2.4. Abultamientos y hundimientos.

Son desplazamientos pequeños, hacia arriba y hacia abajo de la superficie del pavimento, que distorsionan el perfil de la vía.



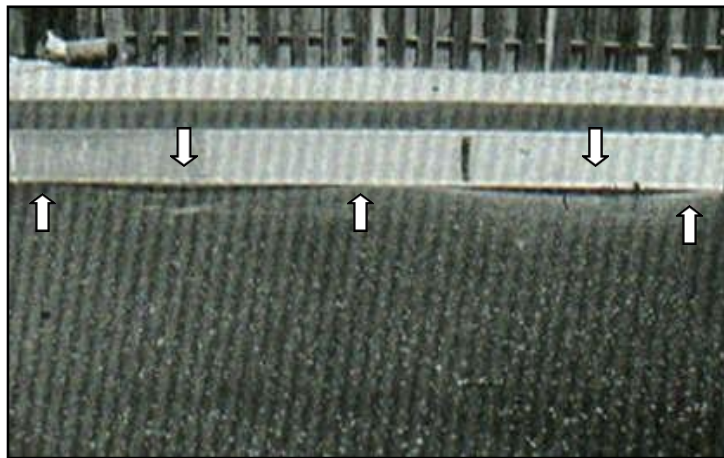
Fotografía N° 04.

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Esta falla se produce normalmente por deficiencia en el drenaje de de la estructura del pavimento que produce expansión del suelo de la subrasante, produciendo depresiones e hinchamientos en el pavimento.

#### 2.2.5. Corrugación.

Son ondulaciones constituidas por cimas y depresiones muy cercanas entre sí.



Fotografía N° 05.

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Son fallas que tienen como causante al exceso de carga vehicular, y se manifiestan, tal como se aprecia en la figura, con ondulaciones perpendiculares al sentido del tránsito.

### 2.2.6. Depresiones

Son elevaciones menores de la superficie del pavimento, y se aprecian cuando el agua se empoza dentro de ellas después de las lluvias.



Fotografía N° 06

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Las depresiones se producen por asentamientos de la subrasante de la estructura del pavimento y por el continuo circular de los vehículos.

La subrasante puede fallar por escasa compactación, es decir por un procedimiento constructivo defectuoso.

### 2.2.7. Fisuras de borde

Son grietas al borde externo del pavimento, como en la figura, a una distancia máxima de 50 centímetros.

Se producen debido a circunstancias climáticas o por el descuido de dejar arena suelta en los bordes del pavimento que originan peladuras y, finalmente conducen a la desintegración del pavimento.



F  
(2

pavimentos flexibles  
mbia.

Si las grietas son prolongadas, puede dar lugar al desprendimiento del pavimento.

#### 2.2.8. Fisuras de reflexión de junta.

Se producen en pavimentos flexibles construidos sobre losas de concreto, es decir con el sistema mixto.



Fotografía N° 08.

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Son ocasionadas por el movimiento de la losa de concreto por dilatación o por humedad, bajo la superficie del pavimento flexible.

#### 2.2.9. Desnivel carril-berma.

Es la diferencia del nivel de elevación entre el borde del pavimento y la berma.



Son causadas por la pérdida de nivel de la berma, por erosión debido al agua de lluvias, que producen asentamientos, o también por la adición de nuevas capas de pavimento sin el debido tratamiento de la berma.

#### 2.2.10. Fisuras Longitudinales y Transversales.

Las fisuras longitudinales son paralelas al eje de la vía y las transversales son perpendiculares al eje de la misma.

Las causas más comunes de esta falla son debido a los cambios climáticos, que producen contracciones y expansiones de la carpeta asfáltica.

Se presentan también cuando las temperaturas son muy bajas o cuando sobrepasan los 30 grados centígrados.



## Fotografía N° 10.

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Cuando se usan ligantes muy pobres o endurecidos , también se presenta este problema.

### 2.2.11. Parches

Parche, es un área del pavimento, que ha sido reemplazada por material nuevo, con el fin de reparar el pavimento existente, por ejemplo cuando se efectúan cortes para la reparación de tuberías de agua y desague, instalación de cables eléctricos, teléfono etc.



### Fotografía N° 11:

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Con los parches se ven afectados los niveles de servicio de una vía, pues la facilidad del desplazamiento de los vehículos se ve disminuida debido a los parches.

#### 2.2.12. Pulimento de Agregados.

Es la presencia de agregados superficiales del pavimento de tipo blando, y que se detectan por que son suaves al tacto.



Fotografía N° 12.

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Esta falla se produce cuando la capa de rodadura, tiene insuficiente agregado angular que proporcione una correcta adherencia entre el pavimento y las llantas de los vehículos.

Se presenta por el excesivo tráfico vehicular, el mismo que debido a esta falla tiene resistencia al deslizamiento.

#### 2.2.13. Baches.

Son pequeños hoyos (depressiones) en la superficie del pavimento, de diámetro menor a 75 cm.



Fotografía N° 13.

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Los baches se presentan por varios factores:

- Defectos constructivos, como escasa compactación de la base del pavimento.
- Drenaje inadecuado de la subbase.
- Deficiente diseño de la estructura del pavimento.
- Profundización de piel de cocodrilo.

#### 2.2.14. Ahuellamiento.

Es una depresión longitudinal continua a lo largo de la trayectoria del vehículo, que trae como consecuencia la deformación permanente de cualquiera de las capas del pavimento o subrasante.





Fotografía N° 14.

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Esta anomalía conduce a una falla estructural considerable del pavimento, ya que es originada por una pobre compactación de la estructura del pavimento.

#### 2.2.15. Desplazamiento.

Es un corrimiento longitudinal y permanente de la mezcla asfáltica, que forma en el pavimento una especie de cordón lateral.



Fotografía N° 15.

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Estas fallas se producen normalmente cuando se trata de emulsiones asfálticas inestables que no soportan el empuje de las llantas del vehículo sobre el pavimento o en el encuentro del pavimento con losas de concreto.

#### 2.2.16. Fisuras Parabólicas.

Son grietas en forma de medio círculo que se producen por el frenado brusco de los vehículos sobre mezclas asfálticas inestables y, se presentan de manera transversal a la dirección del tránsito.



Fotografía N° 16

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Un ligante pobre en la mezcla asfáltica favorece la presencia de esta falla.

#### 2.2.17. Hinchamiento.

Sucedecuando la superficie del pavimento se abulta en forma de una onda larga mayor a tres metros de longitud, que distorsiona el perfil de la carretera.



Fotografía N° 17:

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

Esta falla se produce cuando el suelo de fundación es expansivo o sufre congelamientos, pudiendo estar acompañada de grietas superficiales.

#### 2.2.18. Desprendimiento de Agregados ( Peladura).

Es la desintegración del pavimento por pérdida de ligante asfáltico que se presenta cuando la mezcla es pobre o el ligante se ha endurecido significativamente.



Fotografía N° 18

Fuente: Elaboración propia y Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles (2006). Instituto Nacional de vías. Ministerio de Transportes de Colombia.

La causa más común de la peladura o desprendimiento de agregados es el desplazamiento de vehículos de oruga, el derrame de aceites de los vehículos, mezclas asfálticas pobres con escaso ligante, proceso constructivo usando agregados sucios y absorbentes.

### 2.3. Marco conceptual

#### **CALCULO DEL ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO ( PCI ).**

El Paviment Condition Index ( Índice de Condición de Pavimento), es una descripción cualitativa del estado en que se encuentra el pavimento, dándole una condición determinada que varía entre fallado y excelente.

Es una metodología de fácil aplicación que fue usada inicialmente en los años 1974 al 1976, por el centro de Ingeniería la Fuerza Aérea de los EE.UU., con

la finalidad de tener un control estricto en la administración de las labores de mantenimiento y conservación de carreteras con pavimento flexible.

Este método ha sido aceptado por la ASTM y está normado a través de la publicación ASTM - D6433-03.

El método es sencillo de aplicar y no requiere de tratamientos experimentados. La inspección visual es la herramienta más importante para la aplicación y evaluación del PCI en pavimentos flexibles, realizándose en dos etapas: una inicial y otra detallada.

Con la inspección visual inicial, se obtiene una apreciación general del estado de situación de la vía en estudio.

Esta tarea se realiza sobre un vehículo conducido a baja velocidad abarcando toda la longitud de la vía.

En la inspección detallada se recorre la vía caminando sobre ella y tomando nota de las fallas encontradas en la superficie.

Las fallas encontradas se clasifican en dos grupos:

- Fallas superficiales, que son defectos en la superficie de rodadura.
- Fallas estructurales, que son defectos, originados en fallas en la estructura del pavimento, afectando a una o más capas conformantes.

“El objetivo que persigue la aplicación del método del PCI es obtener un sistema de administración del mantenimiento de los pavimentos flexibles, constituyéndose en un método completo para la evaluación y calificación de los mismos.- Se basa en los resultados obtenidos en un inventario visual del estado del pavimento, en el cual, se establecen clase de falla, magnitud (severidad) y cantidad de la misma.”

En cada tramo de la vía en estudio, existe gran cantidad de combinaciones de fallas, por lo que el método introduce un factor de ponderación llamado VALOR DEDUCIDO, para indicar en que grado afecta la condición del pavimento cada mezcla de deterioro, severidad y cantidad de fallas.

“El PCI, se desarrolló para obtener un índice de condición operacional de la superficie del pavimento, es decir, un valor que cuantifique el estado en que se encuentra el pavimento para luego proceder a su respectivo tratamiento y mantenimiento..”

El método del PCI, se caracteriza por lo siguiente:

- Es de fácil aplicación.
- No requiere de equipos especiales para su evaluación, el procedimiento es visual.
- Brinda información confiable respecto a las fallas que presenta el pavimento, su severidad y área afectada. ( Gutierrez 1994)

“El método determina el Índice de Condición del Pavimento en base a la información obtenida de una inspección visual, lo cual ayuda al ingeniero en procesos de evaluación, determinación de labores y prioridades de mantenimiento y reparación.”

Para la evaluación de cada sección de vía, es necesario:

- Efectuar un reconocimiento global, recorriendo todo el tramo en una unidad móvil .
- Seleccionar un tramo que represente la condición promedio del pavimento.
- Determinación del valor del PCI en el tramo estudiado, teniendo en cuenta que el grado de deterioro de un pavimento estará dado en función del tipo de falla, su severidad y su densidad.

Grado de condición del pavimento.

“Una aplicación continua del PCI, sirve para verificar el ritmo de deterioro del pavimento, a partir del cual, se identifican, anticipadamente, las necesidades de rehabilitación que se requieran”

El valor del PCI varía desde un estado óptimo o excelente, hasta el estado de fallado o pésimas condiciones.

- Se muestra la siguiente tabla que contiene la clasificación del estado de condición de los pavimentos flexibles y el tipo de intervención recomendada.

PCI	GRADO DE CONDICIÓN	INTERVENCIÓN RECOMENDADA
De 85 a 100	Excelente	Mantenimiento
De 70 a 85	Muy bueno	Mantenimiento
De 55 a 70	Bueno	Mantenimiento
De 40 a 55	Regular	Rehabilitación
De 25 a 40	Malo	Rehabilitación
De 10 a 25	Muy malo	Reconstrucción

<b>De 0 a 10</b>	<b>Fallado</b>	<b>Reconstrucción.</b>
<b>Fuente: Elaboración propia y procedimiento estándar PCI según ASTM D 6433-03</b>		

## 2.4. Sistema de Hipótesis.

### 2.4.1. Formulación de la hipótesis.

Si tomamos en cuenta las fallas superficiales y/o estructurales del pavimento flexible de la Avenida América Oeste de la Ciudad de Trujillo, entonces con el Cálculo del Índice de Condición del Pavimento Flexible (PCI), se determinará el grado de deterioro de la avenida.

### 2.4.2. Variables.

- Variable Independiente : Cálculo del Índice de condición del Pavimento flexible en la Avenida América Oeste de la Ciudad de Trujillo.
- Variable Dependiente: Transitabilidad óptima en la Avenida América Oeste de la Ciudad de Trujillo.

### 2.4.3. Operacionalización de variables.

<b>Variable</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Instrumento de Investigacion</b>
Independiente <b>MÉTODO PCI</b>	Evaluación de fallas.	Inventario. (Diagnóstico)	Número de fallas	Guía de observación
Dependiente <b>TRANSITABILIDAD</b>	Viabilidad del tránsito	Diagnóstico	Fluidez del tráfico de vehículos.	Guía de observación.

## III. METODOLOGÍA EMPLEADA

### 3.1. Tipo de investigación :

Descriptiva

Nivel de investigación: Aplicada

### 3.2. Población y muestra de estudio.

#### 3.2.1. Población.

El tramo correspondiente a 5 km. de la Avenida América Oeste de la Ciudad de Trujillo y sus unidades de muestra, constituyen la población del presente proyecto de investigación.

#### 3.2.2. Muestra.

Avenida América Oeste de la Ciudad de Trujillo, desde el cruce de la Avenida América y Avenida Mansiche, hasta el cruce de la Avenida Juan Pablo II y la Avenida América Oeste de Trujillo, haciendo un total de 5Km.

### 3.3. Diseño de investigación.

El diseño de investigación de la presente tesis, engloba un conjunto de reglas y pasos concretos detallados en la aplicación del método del Índice de Condición del Pavimento flexible, que permitirán llegar al objetivo del proyecto, es decir con este diseño, se establecerá concretamente cuales son los pasos necesarios para llegar al resultado esperado.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

Se recolectarán los datos mediante vistas fotográficas del estado de situación y severidad de las fallas de la vía en estudio, para determinar el grado de necesidad de mejorar el sector investigado, y de esta manera las condiciones de transitabilidad de la zona.

Los instrumentos que se emplearán serán , además de una libreta de apuntes, una cinta métrica de 50 metros de longitud, regla rígida de madera de 2 metros y cámara fotográfica.

A medida que se recorra la avenida, se anotarán las fallas detectadas y la severidad de las mismas.

Es necesario anotar que existen tres niveles de severidad en las fallas :

- Nivel bajo ( L )
- Nivel medio ( M )

- Nivel alto ( H )

Según el nivel detectado en cada falla se determinará su severidad y por consiguiente se evaluará y determinará el tipo de intervención que se necesita en ese sector.

El procedimiento PCI, tiene una etapa de trabajo previo, consistente en un recorrido en vehículo y a pié, para verificar el estado de conservación de la vía.

La otra etapa consiste en un trabajo de gabinete para el procesamiento de la información y el análisis de acuerdo al método que nos ocupa.

Será necesario, identificar el estado actual de los 5 km. ( 2.5 km. de ida y 2.5 km de vuelta ( Inicio en el cruce de la avenida América con Avenida Mansiche ( Km 0+00) hasta el Km. 2.5 en el cruce de la avenida América con la avenida Juan pablo II ) mediante un recorrido minucioso, que nos permita identificar las fallas del pavimento y su identificación de acuerdo a las normas del PCI.

En el recorrido efectuado se visualizará, además, el estado de los sistemas de drenaje de la vía, si existen diferencias notables entre los dos carriles de la avenida y otros, tomando las precauciones necesarias para evitar accidentes de tránsito durante la inspección.

En el desarrollo de la tesis, también se emplearán los siguientes instrumentos:

- Formatos PCI.
- Microsoft Word y Excel.
- Esquemas de la zona investigada: Hojas de cálculo o cualquier sistema de almacenamiento de información de campo, que permita registrar: fecha, ubicación, componente, sección, tamaño de la unidad de muestra, número, tipos de falla, grado de severidad, cantidades y nombre del encargado de la inspección.
- Imágenes fotográficas.
- Odómetro.- Es un instrumento que se utiliza para medir longitudes en el pavimento.
- Regla de aluminio.- Instrumento que se utiliza para medir deformaciones en el pavimento.



- Wincha, utilizada para medir la profundidad de la falla.
- Conos de seguridad.- Equipo para aislar el área en estudio y prevenir accidentes de tránsito.

### 3.5. Procesamiento y análisis de datos:

En base a los datos recogidos en el campo se analiza la información, detallando todos los elementos estructurales conformantes de la avenida, preparando el inventario vial para establecer el estado actual de la vía y las medidas por realizar, respecto a las actividades de conservación, rehabilitación o reconstrucción que se necesiten para recuperar la transitabilidad de la avenida.

#### 3.5.1. Formato a utilizar para el cálculo del PCI

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)						
ASTM 6433-99						
Via:	Prog. Inicial:	Unidad de muestreo:	Seccion:			
Fecha:	Prog. Final:	Area de muestreo (m <sup>2</sup> ):	Ing. Resp.:			
Nº	Descripción	Tipos de Fallas		Descripción	Und	Diagrama
		Und	Nº			
1	Piel de cocodrilo	m <sup>2</sup>	11	Parcheo	m <sup>2</sup>	
2	Exudación	m <sup>2</sup>	12	Pulimento de agregados	m <sup>2</sup>	
3	Agrietamiento en bloque	m <sup>2</sup>	13	Huecos	Nº	
4	Abultamientos y hundimientos	m	14	Cruce de vía férrea	m <sup>2</sup>	
5	Corrugación	m <sup>2</sup>	15	Ahuellamiento	m <sup>2</sup>	
6	Depresión	m <sup>2</sup>	16	Desplazamiento	m <sup>2</sup>	
7	Grieta de borde	m	17	Grieta parabolica (Slippage)	m <sup>2</sup>	
8	Grieta de reflexión de junta	m	18	Hinchamiento	m <sup>2</sup>	
9	Desnivel carril/berma	m	19	Desprendimiento de agregados	m <sup>2</sup>	
10	Grietas longitudinal y transv.	m				

Tipos de falla existentes									
Tipo									
Cantidad / Severidad									
Total	L	M	H						

CALCULO DEL PCI			
Tipo de daño	Severidad	Densidad	Valor deducido
q	=	Valor Total Deducido	
		Valor deducido corregido (CDV)	

Observación:	
--------------	--

CROQUIS DE FALLAS			
Nº	Descripción	Und	Localización

Fuente: Elaboración propia con datos del manual ASTM-D6433-99

#### 3.5.2. Unidades de muestra.

La vía se divide en unidades de muestreo de acuerdo al tipo de vía y capa de rodadura.

Para vías con capa de rodadura de asfalto y con un ancho menor a 7.30 metros lineales , el método PCI indica que el área de la unidad de muestra debe estar entre 93 y 230 metros cuadrados, siendo la longitud de la unidad de muestra de 37.5 metros lineales conseguida por interpolación, para un ancho de 6.10 metros, que es el ancho de la vía en estudio.

En nuestro estudio, se han inspeccionado 86 unidades.

**NÚMERO MÍNIMO DE UNIDADES DE MUESTRA:**

Se obtiene mediante la siguiente ecuación, lo cual arroja una confiabilidad del 95%:

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

*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 (e = 5%)

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

En el caso que nos ocupa, tenemos:

N = 86

e = 5

Q = 10.

Reemplazando datos

tenemos :

N= 13.62 , redondeando a 14.

## UNIDADES DE MUESTRA PARA INSPECCIÓN

El intervalo de muestra, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$i = \frac{N}{n} \text{ Ecuación 2.}$$

*Donde:*

**i:** Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo,

4.8 se redondea a 4).

**N:** Número total de unidades de muestreo disponible.

**n :** Número mínimo de unidades para evaluar.

**Ejemplo:**

Si escojo la muestra 3 como muestra inicial del evaluación, las otras unidades de muestra serán la muestra N° 7 ,la 11, la 15 etc.

Cuando se quiere efectuar un estudio más minucioso, se deberá analizar todas las unidades de muestra, o el mínimo obtenido en la ecuación 1.

Para la inspección de las muestras, se deberá implementar las medidas de seguridad para desplazarse a lo largo de la vía en estudio, tales como dispositivos de señalización y advertencia para evitar accidentes de tránsito con el personal que está tomando la información de las fallas en la vía.

Se inspeccionan las unidades de muestra escogidas, con la ayuda de los instrumentos y equipos descritos anteriormente, teniendo en cuenta el tipo de falla, su severidad, su cantidad, registrándose estos daños en el formato correspondiente, de acuerdo aL manual de daños del Método PCI.

### 3.5.3. Cálculo de Valores Deducidos

Completada la información de campo se procede a calcular el Índice de condición del Pavimento.

El cálculo incluye el término valores deducidos de cada daño, de acuerdo a la cantidad y severidad de la falla.

Para esto, es necesario encontrar la densidad de la falla, la misma que está en función del tipo, cantidad y severidad de la falla encontrada, se divide entonces, el metrado de la falla en cada en cada nivel de severidad , entre el área total del daño, expresando el resultado en porcentaje.

“Con las curvas llamadas Valor Deducido del Daño para pavimentos flexibles y que son parte del método PCI se encuentra el valor deducido por cada tipo de daño y su grado de severidad”

Si ninguno o tan solo uno de los valores deducidos encontrados es mayor que 2, se usa el valor deducido total.

#### 3.5.4. Máximo valor deducido corregido. (CDV)

Determinamos el número de valores deducidos ( q ) mayores que 2.

Con este valor y el valor deducido total se obtiene el valor deducido corregido, haciendo uso de la curva de corrección, brindada por el método PCI.

Se reduce a 2, el menor de los valores deducidos individuales que sea mayor que 2 y se repiten las etapas anteriores hasta que ( q ) sea igual 1.

El máximo CDV es el myor de los CDV, obtenidos en este proceso.

El formato para la obtención del máximo valor deducido corregido en cada muestra es el siguiente:

N°	Valores deducidos	Total	( q )	CDV

Tabla para obtener el valor deducido corregido

Fuente: Elaboración propia

CÁLCULO DEL PCI DE CADA MUESTRA y PCI FINAL DEL TRAMO EN ESTUDIO

El PCI de cada muestra , se calcula restando de 100, el CDV obtenido en cada una de ellas..

Finalmente se obtiene el PCI total del tramo en evaluación, sacando el promedio del PCI encontrado en cada una de las unidades de muestreo.

## IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Análisis e interpretación de resultados

#### 4.1.1. Desarrollo del proyecto

Ubicación del proyecto.

INICIO: INTERSECCIÓN AVENIDA MANSICHE- AVENIDA PABLO CASAL.

FINAL: INTERSECCIÓN AVENIDA AMÉRICA OESTE- AVENIDA JUAN PABLO II.

LONGITUD: 5.4 KM.



Se identificaron 86 unidades de muestra, de las cuales se analizaron 20 unidades que fueron aquellas que mostraron diferentes tipos de fallas.

El ancho de la vía pavimentada es de 6 metros y la longitud analizada fue cada 38.30 metros lineales, abarcando entonces un área investigada de 229.80 m<sup>2</sup>, por cada unidad de muestra seleccionada.

Se muestra el análisis realizado con la muestra N°14, para explicar el método PCI.

Aplicación del método PCI.

Se pondrá como ejemplo una unidad de muestra seleccionada en forma aleatoria, con el objeto de describir el procedimiento desde la evaluación superficial, la obtención del índice de condición del pavimento ( PCI ) para conocer la situación actual de la muestra escogida y finalmente se determinará el tipo de intervención, que se necesita ejecutar.

Se utilizará el formato que utiliza la metodología PCI.

Se ha escogido la muestra N° 14 de proyecto:

En esta muestra se han detectado tres tipos de fallas: Piel de cocodrilo, pulimento de agregados y huecos.

La primera con severidad media, la segunda con severidad baja y la tercera con severidad media.

Con los metrados obtenidos en cada falla, teniendo en cuenta sus respectivas unidades, se calcula la densidad de cada una de ellas, dividiendo la unidad de medida de cada una de ellas entre el área total de la muestra.

La densidad se expresa en porcentaje.

Con la densidad obtenida recurrimos a las curvas denominadas “ Valor deducido del daño”, que son una por cada tipo de falla, y de acuerdo a la severidad de la falla, se encontraron los valores correspondientes a ese valor, los mismos que se muestran en los anexos respectivos.

Luego se identificaron los valores deducidos mayores a 2 y se hicieron las correspondientes ponderaciones, hasta encontrar el mayor valor deducido corregido, haciendo uso de la Curvas de Mayores Valores Deducidos Corregidos, que brinda el método del PCI.

Entonces, con la aplicación del método , hemos hallado para la muestra N° 14, el máximo valor deducido corregido, el mismo que es igual a 44.

Seguidamente , se calcula el Índice de Condición del Pavimento de la muestra, aplicando la relación :  $CPI = 100 - \text{Máximo CDV}$ .

Resulta que  $100 - 44 = 56$  que viene a ser el índice de condición del pavimento en este tramo ( muestra N° 14 ).

Este valor , según la tabla de clasificación del estado del pavimento, en la escala respectiva, que presenta el método PCI, corresponde a un estado BUENO.

De esta manera se procesaron los 20 muestras identificadas en la avenida, usando hojas de cálculo en Excel, obteniéndose así los índices de Condición

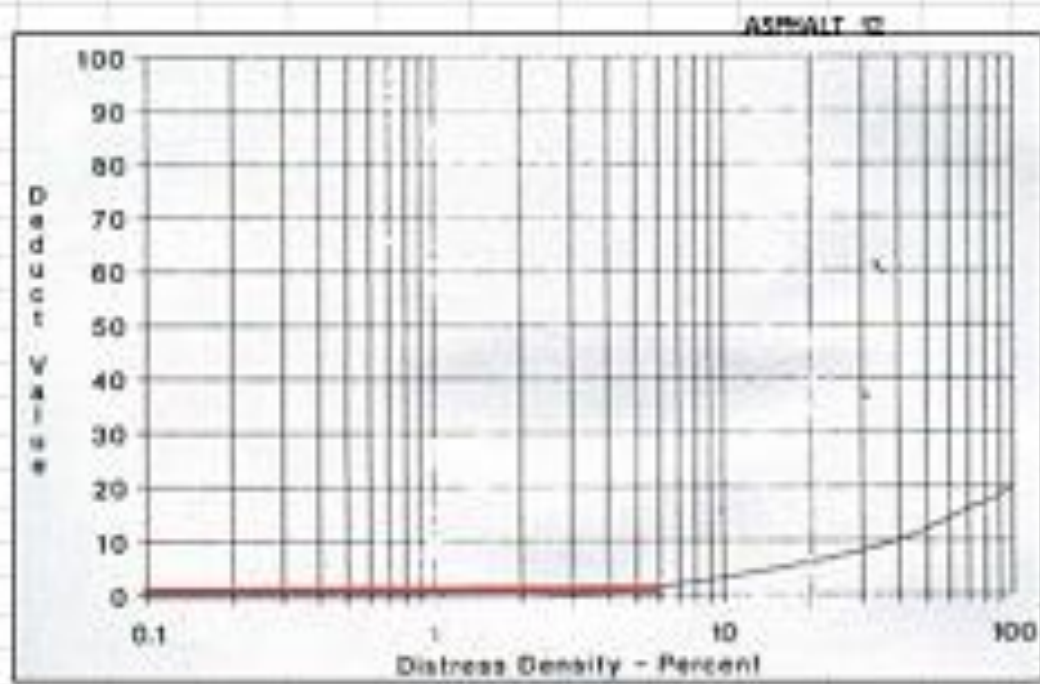
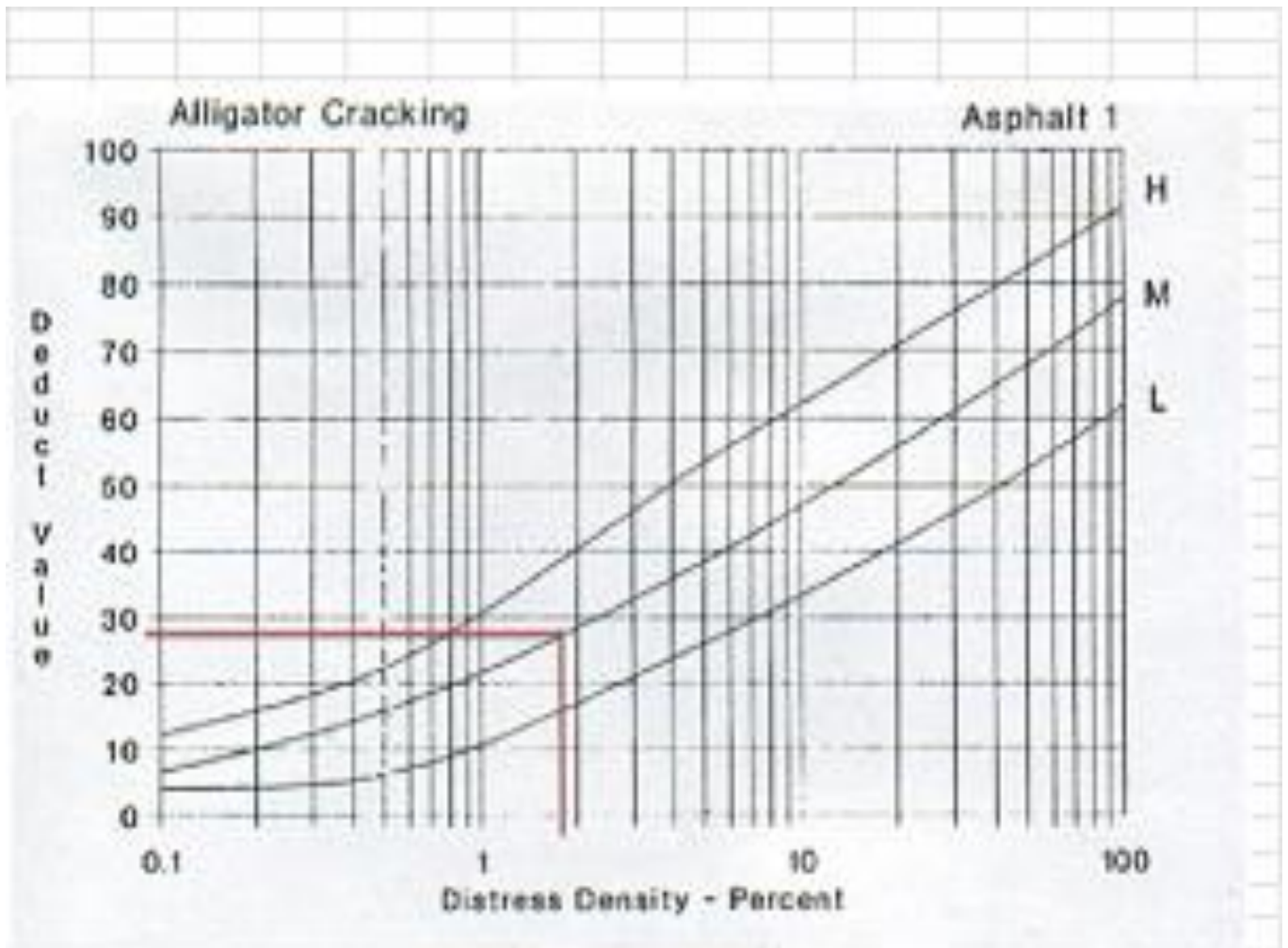
del Pavimento de los tramos escogidos, los mismos que se presentan en los anexos correspondientes.

Al final , se obtiene el promedio total de los PCI, de todas las unidades de muestra y definimos el estado de condición de toda la vía en estudio.

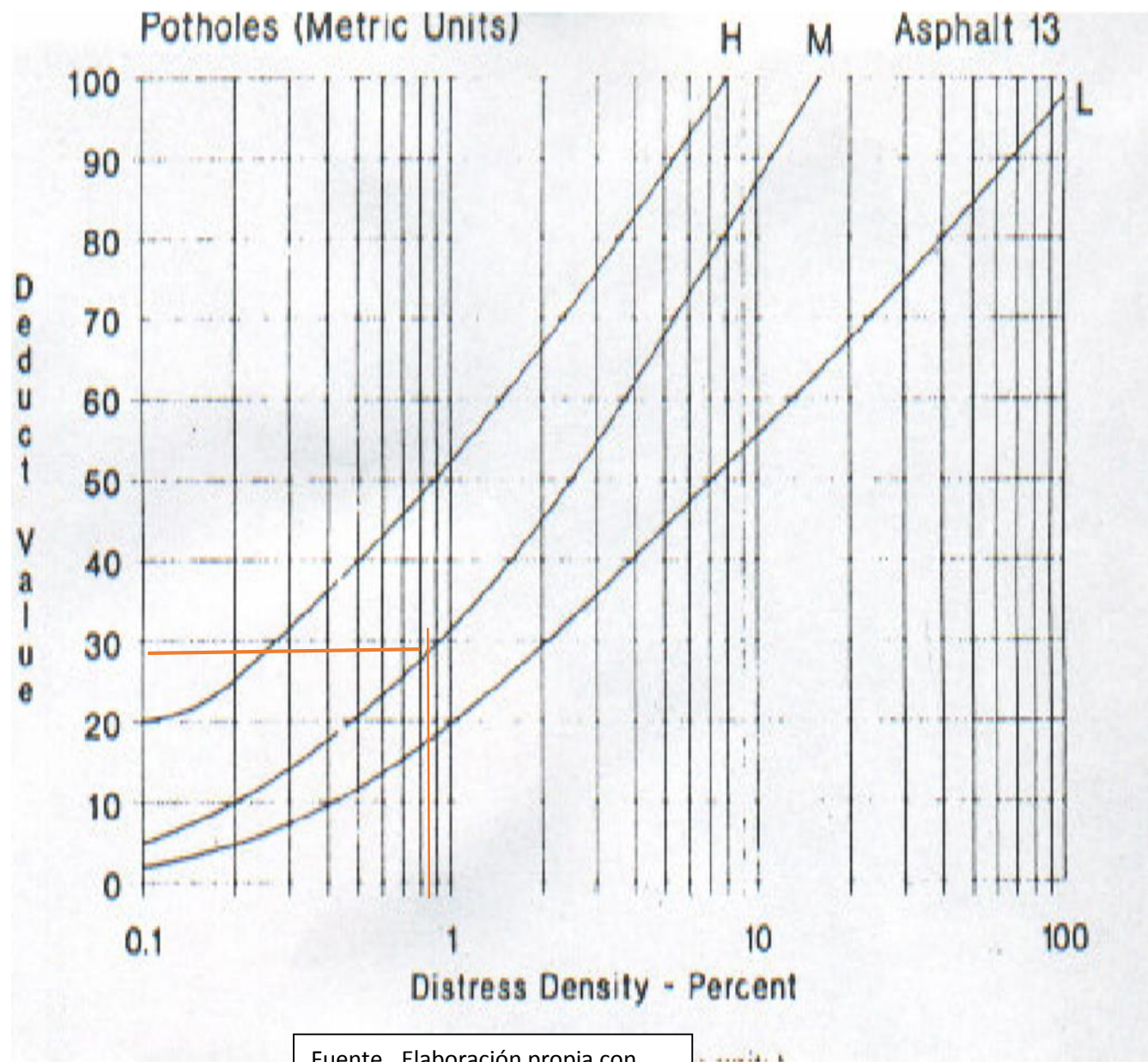
INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)											
ASTM 6433-99											
Via:	/ AMERICA OESTE		Prog. Inicial:	0+498		Unidad de muestreo:	UM 14		Lugar:	TRUJILLO	
Fecha:	23/07/2019		Prog. Final:	0+536		Area de muestreo (m²):	229.80		Ing. Resp.:	ING. A. VARGAS	
Tipos de Fallas						Diagrama					
N°	Descripción	Und	N°	Descripción	Und						
1	Piel de cocodrilo	m²	11	Parqueo	m²						
2	Exudación	m²	12	Pulimento de agregados	m²						
3	Agrrietamiento en bloque	m²	13	Huecos	m²						
4	Abultamientos y hundimientos	m	14	Cruce de vía férrea	m²						
5	Corrugación	m²	15	Ahuellamiento	m²						
6	Depresión	m²	16	Desplazamiento	m²						
7	Grieta de borde	m	17	Grieta parabólica (Slippage)	m²						
8	Grieta de reflexión de junta	m	18	Hinchamiento	m²						
9	Desnivel carril/berma	m	19	Desprendimiento de agregados	m²						
10	Grietas longitudinal y transv.	m									
Tipos de falla existentes											
Falla	Severidad	Cantidades Parciales						Total	Densidad (%)	Valor Deducido (VD)	
1	M	4.50					4.50	1.96	28.00		
12	L	12.00					12.00	5.22	4.00		
13	M	2.00					2.00	0.87	29.00		
Total									61.00		
Numero de valores deducidos > 2 (q):							3	Valor Deducido Corregido (VDC)			
Valor deducido mas alto (HV D1):							29.00				
Numero maximo de valores deducidos (mi):							7.52				
N°	Valores Deducidos						VDI	q	VDC		
1	29.00	28.00	4.00								
2	29.00	28.00	2.00								
3	29.00	2.00	2.00								
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
Max VDC								44.00			
INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI):						PCI =	100	-	(Max VDC Total VD		
CONDICION DEL ESTADO DEL PAVIMENTO						PCI =			56.00		
									Bueno		
Observación:											
CROQUIS DE FALLAS											
			HUECOS			PULIMENTO DE AGREGADOS			PIEL DE COCODRILLO		

Fuente: Elaboración propia con base en datos del Manual ASTM-D6433-99



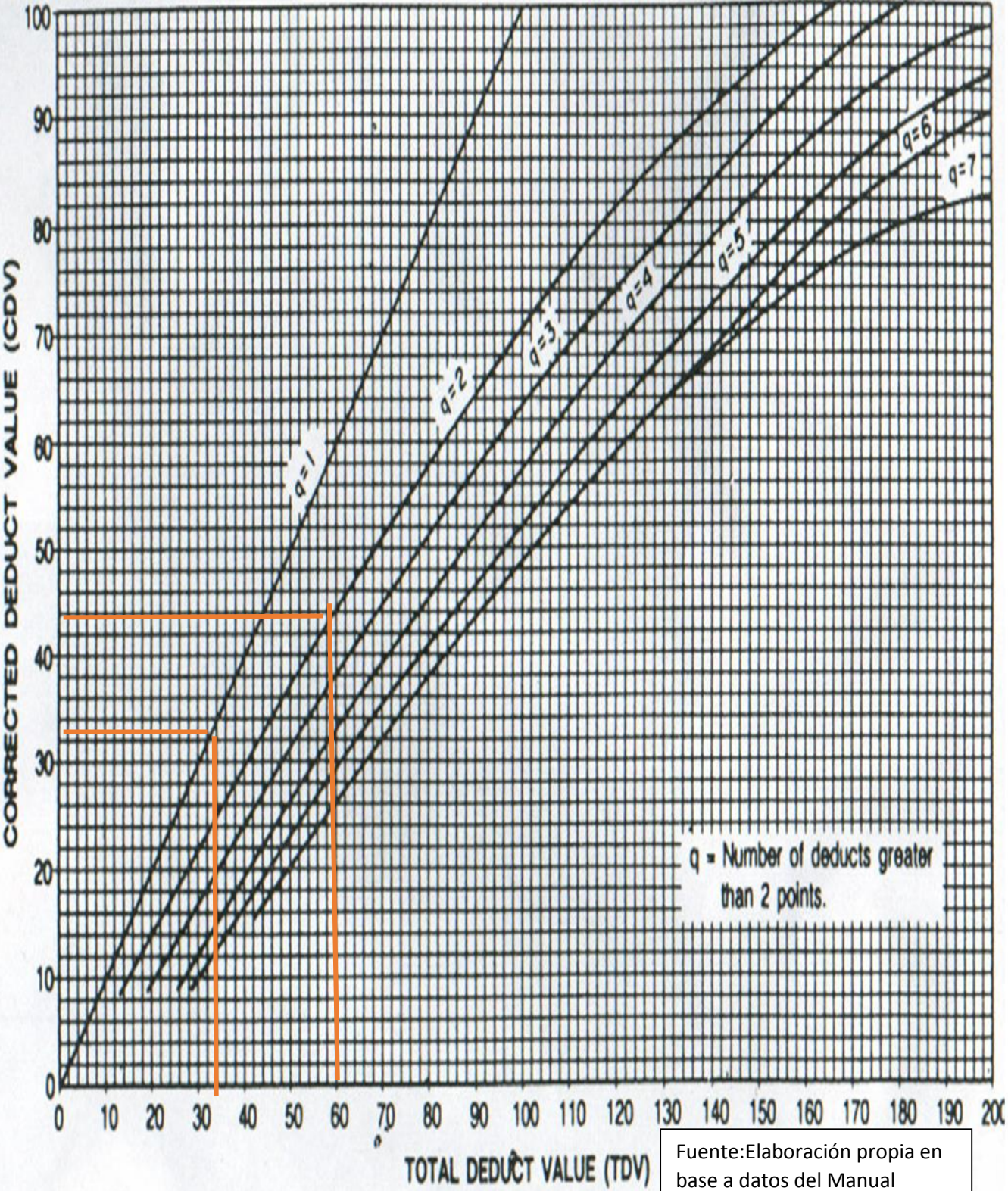


Fuente:  
Elaboración  
propia con base  
en datos del  
Manual ASTM-  
D-6433-99



Fuente.. Elaboración propia con base en datos del Manual ASTM-D6433-99

ROADS AND PARKING LOTS: ASPHALT



Fuente:Elaboración propia en base a datos del Manual ASTM-d- 6433-99

#### 4.1.2. Metrado de fallas

Se han identificado 20 unidades de muestra en el tramo en estudio, presentándose a continuación el metrado de las fallas encontradas, obtenido de la evaluación superficial de cada una de las unidades de muestra.

Item	Tipo de Falla	Unidad	Nivel de Severidad	METRADO
1	PIEL DE COCODRILO	m2	L	6.00
			M	19.50
			H	22.96
2	EXUDACIÓN	m2	L	0.00
			M	0.00
			H	0.00
3	AGRIETAMIENTO EN BLOQUE	m2	L	0.00
			M	23.00
			H	8.00
4	ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS	m2	L	10.52
			M	11.00
			H	1.50
5	CORRUGACIÓN	m2	L	0.00
			M	0.00
			H	0.00
6	DEPRESIÓN	m	L	0.00
			M	0.00
			H	0.00.
7	GRIETA DE BORDE	m	L	0.00
			M	0.00
			H	0.00
8	GRIETA DE REFLEXIÓN	m	L	0.00
			M	0.00
			H	0.00

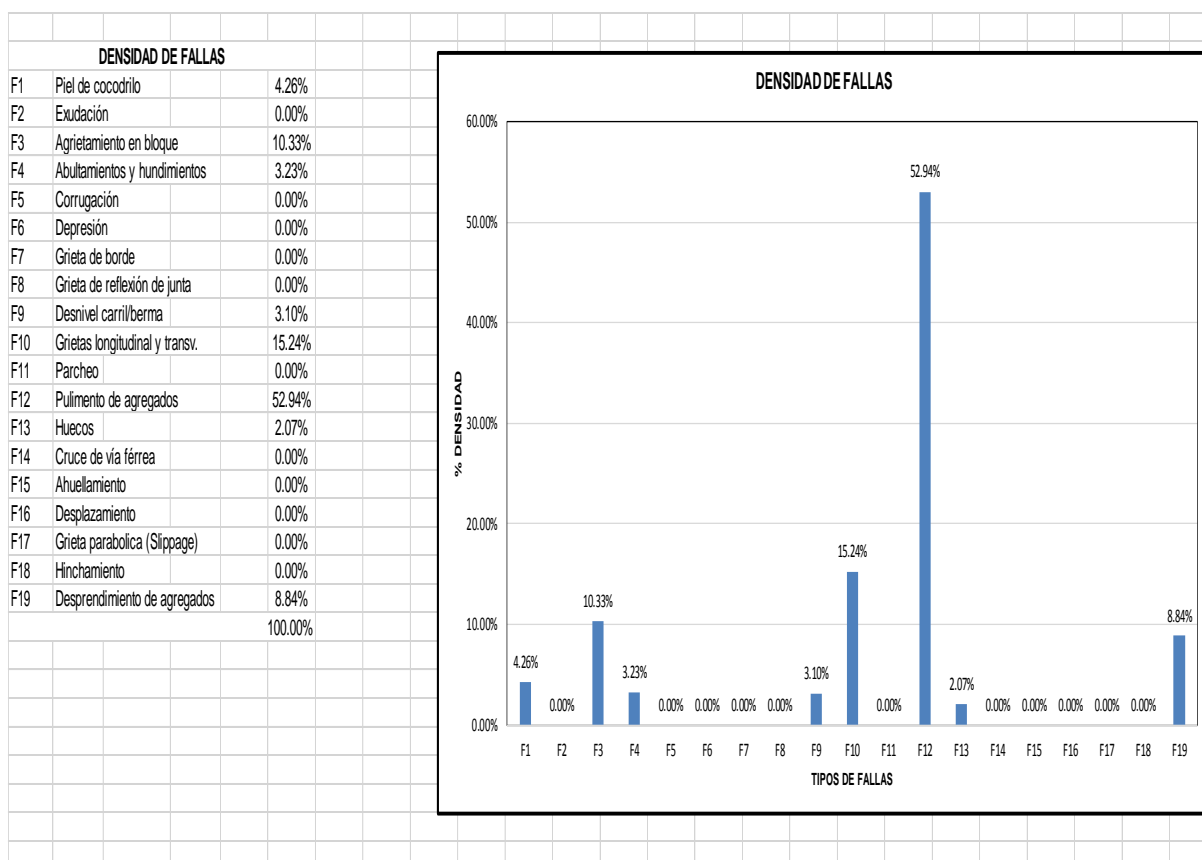
Ítem	Tipo de Falla	Unidad	Nivel de Severidad	METRADO
9	DESNIVEL CARRIL BERMA	m	L	0.00
			M	0.00
			H	0.00
10	GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	m	L	7.00
			M	33.00
			H	4.00
11	PARCHEO	m2	L	12.00
			M	132.00
			H	12.78
12	PULIMIENTO DE AGREGADOS	m2	L	164.50
			M	46.50
			H	0.00
13	HUECOS	und	L	1.00
			M	6.00
			H	1.00
14	CRUCE DE VÍA FÉRREA	m2	L	0.00
			M	0.00
			H	0.00
15	AHUELLAMIENTO	m2	L	0.00
			M	0.00
			H	0.00
16	DESPLAZAMIENTO	m2	L	0.00
			M	0.00
			H	0.00
17	GRIETA PARABÓLICA	m2	L	0.00
			M	0.00
			H	0.00
18	HINCHAMIENTO	m2	L	0.00
			M	0.00
			H	0.00
19	DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS	m2	L	14.00
			M	20.00
			H	0.00

**Fuente:** Elaboración Propia

Observamos que la clase de falla que tiene una mayor extensión y es la más importante es la "12" : Pulimento de Agregados cuyas severidades baja (L) y media (M) son las más preponderantes en el tramo en estudio.

Se puede notar además, que en toda la vía se presentan 8 tipos diferentes de fallas en el pavimento, cada una con su propio grado de severidad. (bajo, medio, alto)

Se presenta un gráfico que relaciona la densidad de las fallas con el tipo de fallas encontradas en la evaluación de la vía.



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3. Cálculo del índice De Condición Del Pavimento.

Obtenidos los metrados de las fallas en cada una de las muestras evaluadas, se aplicó para cada una de las muestras el método del PCI y obtuvimos finalmente el estado de situación en que se encuentra la avenida.

A continuación se muestran los resultados de los índices de condición de los tramos estudiados:

<b>Av. AMÉRICA OESTE-TRUJILLO</b>					
<b>UM</b>	<b>PRO GRESIVA INICIAL</b>	<b>PRO GRESIVA FINAL</b>	<b>VDT o Máx VDC</b>	<b>PCI</b>	<b>CONDICIÓN</b>
<b>UM 14</b>	0+497.90	0+536.20	<b>44.00</b>	<b>56.00</b>	<b>BUENO</b>
<b>UM 20</b>	0+727.70	0+766.00	<b>6.00</b>	<b>94.00</b>	<b>EXCELENTE</b>
<b>UM 24</b>	0+880.90	0+919.20	<b>16.00</b>	<b>84.00</b>	<b>MUY BUENO</b>
<b>UM 26</b>	0+957.50	0+995.80	<b>28.00</b>	<b>72.00</b>	<b>MUY BUENO</b>
<b>UM 27</b>	0+995.80	1+034.10	<b>24.00</b>	<b>76.00</b>	<b>MUY BUENO</b>
<b>UM 30</b>	1+110.70	1+149.00	<b>16.00</b>	<b>84.00</b>	<b>MUY BUENO</b>
<b>UM 35</b>	0+302.20	1+340.50	<b>34.00</b>	<b>66.00</b>	<b>BUENO</b>
<b>UM 36</b>	1+340.50	1+378.80	<b>29.00</b>	<b>71.00</b>	<b>MUY BUENO</b>
<b>UM 40</b>	0+493.70	1+532.00	<b>36.00</b>	<b>64.00</b>	<b>BUENO</b>
<b>UM 43</b>	1+608.60	1+646.90	<b>32.00</b>	<b>68.00</b>	<b>BUENO</b>
<b>UM 46</b>	1+723.50	1+761.80	<b>15.00</b>	<b>85.00</b>	<b>MUY BUENO</b>
<b>UM 48</b>	1+800.10	1+838.40	<b>40.00</b>	<b>60.00</b>	<b>BUENO</b>
<b>UM 50</b>	1+876.70	1+915.00	<b>22.00</b>	<b>55.00</b>	<b>REGULAR</b>
<b>UM 54</b>	2+029.90	2+068.20	<b>10.00</b>	<b>90.00</b>	<b>EXCELENTE</b>
<b>UM 63</b>	3+408.70	3+447.00	<b>32.00</b>	<b>68.00</b>	<b>BUENO</b>
<b>UM 71</b>	3+715.10	3+753.40	<b>2.00</b>	<b>98.00</b>	<b>EXCELENTE</b>
<b>UM 79</b>	4+021.50	4+059.80	<b>32.00</b>	<b>68.00</b>	<b>BUENO</b>
<b>UM 81</b>	4+519.40	4+557.90	<b>5.00</b>	<b>95.00</b>	<b>EXCELENTE</b>
<b>UM 84</b>	4+557.90	4+825.80	<b>10.00</b>	<b>90.00</b>	<b>EXCELENTE</b>
<b>UM 86</b>	4+825.80	5+000.00	<b>12.00</b>	<b>88.00</b>	<b>EXCELENTE.</b>
	PROMEDIO PCI			<b>76.60</b>	<b>BUENO</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Manual ASTM-D-6433-99.

### **CONDICIÓN DEL PAVIMENTO.**

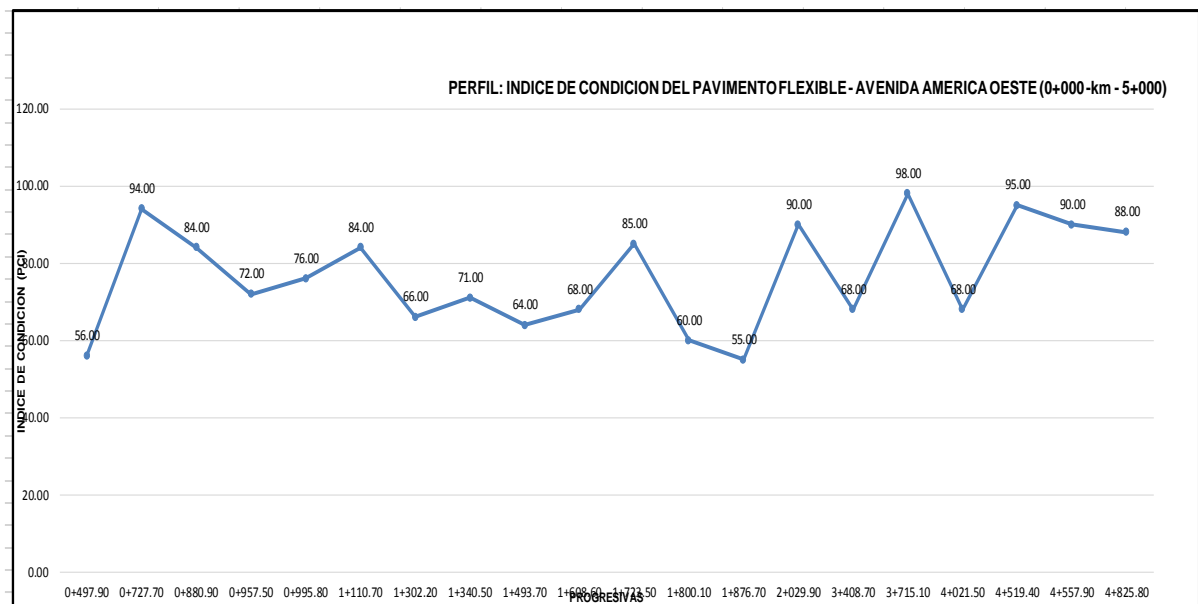
En el cuadro anterior se han determinado los índices de condición del pavimento, de todas las muestras escogidas.

Se ha determinado también el porcentaje del estado de condición, (excelente, muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo y fallado), que en promedio representan cada una de las muestras escogidas en relación al 100% de dichas muestras:

Condición	Unidades de muestra	Porcentaje
<b>Excelente</b>	6	30%
<b>Muy bueno</b>	6	30%
<b>Bueno</b>	7	35%
Regular	1	5%
<b>Total</b>	20	100%

Fuente: Elaboración propia

Es decir que las muestras que tienen la condición de excelente y muy bueno, representan cada una el 30% de las muestras escogidas para evaluación, seguidas del estado bueno, que representa el 35% del total de muestras escogidas, y finalmente tenemos el estado de condición regular que representa el 5% del total de muestras.



Este gráfico visualiza la variación del PCI en las diferentes unidades de muestra

Fuente: Elaboración propia



Finalmente, el índice de condición promedio , entre el total de las muestras escogidas es de 76.60 %, es decir que el estado de los tramos evaluados ,en promedio , obede a la condición de Bueno.(PCI =76.60 )

## **V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

Dentro del presente estudio, se observó que las fallas más predominantes fueron el pulimento de agregados, desprendimiento de agregados, huecos y agrietamientos longitudinales y transversales. Esto debido a la falta de drenaje de las vías, las conexiones e instalaciones de agua y red de alcantarillado que se realizan constantemente; así como los residuos de construcciones producto del crecimiento urbano de la zona.

El estado de condición predominante en las diferentes muestras tomadas en la avenida, es el estado bueno, seguido de muy bueno, excelente , y regular.

No se presentaron estados de condición malo ni fallado.

Para las unidades de muestra que presentan un estado de condición muy bueno y bueno, es decir que el grado de severidad de la falla es bajo o medio, recomiendo aplicar un riego de liga, para incrementar el PCI, el cual puede ser ( slurry seal ) o un riego pulverizado. ( fog seal ).

Los riegos asfálticos evitan el deterioro del pavimento y los efectos de los agentes climatológicos, proporcionando una mayor duración y una excelente superficie de rodadura, además mejoran considerablemente el resquebrajamiento existente en los pavimentos, los agrietamientos en la superficie, corrugación, peladuras, abultamientos y hundimientos, superficie resbaladiza, etc.)

En las unidades de muestra que tienen un PCI alto y que corresponde a un estado de condición excelente, no se aplicará ningún tipo de tratamiento.

En cuanto a las unidades que presentan hundimientos, es necesario aplicar un bacheo superficial nivelante con mezcla en frío o en caliente.

Para corregir los huecos y baches, de nivel bajo o nivel medio, se recomienda un bacheo superficial con mezcla en frío o caliente y un recapeo delgado con mezcla asfáltica.

Es necesario indicar que, en el cuadro referente a la condición del pavimento en las diferentes unidades de muestra ( cuadro pág.45), se presentan los resultados obtenidos con la condición excelente, muy bueno, bueno y regular, resultados que tienen relación con el cálculo del Índice de Condición del Pavimento ( PCI), siendo que mientras más alto es el PCI,el estado de condición del pavimento es mejor.

Para las unidades de muestra que presentan piel de cocodrilo y pulimento de agregados con severidad media y baja, se recomienda usar también un riego de liga para incrementar el PCI : emulsión asfáltica slurry seal o riego pulverizado).

El mismo tratamiento usaremos para las muestras que presentan agrietamientos en bloque y grietas longitudinales y transversales.

Finalmente, se obtuvo el promedio de los PCI de las unidades de muestra, arrojando un PCI de 76.60, lo que quiere decir que los 5 km. de la avenida en estudio, en líneas generales, presenta un estado bueno, para lo cual aplicaremos el tratamiento ya mencionado líneas arriba.

## **VI.- CONCLUSIONES.**

El estado de condición en que se encuentra el pavimento de la Avenida América Oeste de la ciudad de Trujillo,se ha efectuado teniendo en cuenta los dos tramos que conforman la avenida,cada uno de 2.5 km., es decir los dos sentidos de la avenida, haciendo un total de 5 Km.

De todas las unidades de muestra que se tomaron para evaluar la vía, se puede apreciar que la falla que más se repite en dichas unidades es el PULIMENTO DE AGREGADOS, con un porcentaje mayoritario de 52.94% de densidad de falla.

Seguidamente se encuentra la falla correspondiente a grietas longitudinales y transversales con un porcentaje de 15.24%, seguida por el agrietamiento en bloque, que representa el 10.33%.

También se encontró, desprendimiento de agregados con 8.84%, piel de cocodrilo con 4,26%, luego abultamientos y hundimientos en un 3.21%, desnivel carril –

berma en un 3.10% y finalmente la presencia de huecos de severidad baja en un 2.07% .

En el cuadro correspondiente al índice de condición de pavimento flexible, se puede apreciar que el promedio del índice de condición de pavimento arroja un valor de 76.60, lo cual significa que el estado de conservación del pavimento en las zonas intervenidas de la avenida América Oeste de la ciudad de Trujillo , en líneas generales tiene un estado de conservación correspondiente a la categoría de BUENO.

Esta condición del pavimento, es debido a las obras de mantenimiento realizadas continuamente por la Municipalidad Provincial de Trujillo, como bacheos y riegos de liga en determinadas zonas, lo cual ha mejorado la calidad del pavimento, sin llegar a la condición de muy bueno y mucho menos sin ser excelente.

## **VII.-RECOMENDACIONES.**

Las fallas más significativas encontradas son el pulimento de agregados y las grietas longitudinales y transversales, con nivel de severidad bajo.

Gran parte de las unidades de muestra, presentaron este tipo de fallas, pero con densidades variables.

Para corregir las grietas longitudinales y transversales de severidad baja se recomienda aplicar un sellado con asfalto líquido o emulsión bituminosa, más arena, o un sellado superficial con lechada asfáltica( slurry seal ).

Para corregir el pulimento de agregados se recomienda aplicar un riego de liga, Este riego de liga, puede ser una emulsión asfáltica ( slurry seal )) o un riego pulverizado ( fog seal).

Los riegos asfálticos, evitan el deterioro del pavimento y los efectos de los agentes climatológicos, proporcionando una mayor duración y una excelente superficie de rodadura.

Además el riego de liga, mejora considerablemente el resquebrajamiento existente en los pavimentos, agrietamientos en la superficie, corrugación, peladuras, abultamientos y hundimientos, superficie resbaladiza, etc.

Entonces, al obtener un PCI de estado bueno, concluimos que las fallas encontradas, no afectan el tránsito normal de los vehículos y causan poca incomodidad a los conductores.

Cuando el valor deducido es mayor, el daño que las fallas producen en el pavimento, también es mayor, pues este valor deducido, según se aprecia en las curvas correspondientes, está en función del nivel de severidad de la falla y la cantidad (metrado ) de la falla.

Por el contrario, un valor deducido de cero, significa que la falla es muy pequeña y dentro de la unidad de muestra es despreciable.

Cuando el valor del PCI, obtenido es bajo, el estado del pavimento es malo, el cual causa daño significativo a la pista, pues consecuentemente, este tipo de fallas

dañan la estructura del pavimento ( capas), así como la transitabilidad del mismo, pues el usuario no viaja en forma cómoda al transitar por un pavimento deteriorado.

Para mejorar el PCI promedio obtenido en el presente estudio, es necesario incrementar el PCI, de cada una de las unidades de muestra en peor estado, a través de técnicas de reparación, dentro de cuales se encuentran el BACHEO, ya sea profundo o superficial, reemplazando así mismo los parches deteriorados.

Finalmente, si queremos mejorar la condición de toda la avenida, sugerimos aplicar un riego de liga para solucionar el problema del pulimento de agregados, desprendimiento de agregados y fisuras longitudinales y transversales.

El riego de liga, como ya se señaló anteriormente consistirá en la aplicación de lechadas asfálticas ( slurry seal ) o en la aplicación de un riego pulverizado también llamado fog seal.

Una lechada asfáltica es la combinación de agregado bien graduado con emulsión asfáltica, agua, filler y en ciertos casos aditivos, que se aplican sobre el pavimento para proteger la carpeta.

Se superan así, también irregularidades superficiales menores ( corrugaciones ), se evita también el pulimento y desprendimiento de agregados y se impermeabiliza el pavimento en su superficie,, proporcionando mayor resistencia al desgaste.

Un riego pulverizado ( fog Seal ), tiene como función dotar de una ligera emulsión asfáltica a la superficie del pavimento, pero sin el uso de agregados. Este tipo de mantenimiento, se usa para el sellado del pavimento que recién empieza a presentar desintegración, o en pulimentos de severidad baja, debido a que las capas cercanas a la superficie del pavimento empiezan a endurecerse.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Díaz G .(2018) “Rehabilitación y Conservación de Carreteras ”Curso de maestría en Transportes y Conservación Vial. UPAO – Trujillo

Díaz G .(2018) “Operación de Conservación Vial II “Curso de maestría en Transportes y Conservación Vial. UPAO – Trujillo

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014): “Manual de Carreteras, sección suelos y pavimentos “R.D N°10-2014.

Ministerio de Transportes y comunicaciones (2018): “Manual de Carreteras : Mantenimiento y Conservación Vial“ R.D N° 05-2016.

Rodríguez V. (2009) Tesis Pre-grado “ Cálculo del Índice de Condición de Pavimento Flexible en la Avenida Luis Montero-Distrito de Castilla-Piura.” Universidad de Piura-Piura

Rabanal P. (2014) Tesis pre-grado “ Análisis del Estado de conservación del Pavimento flexible en la vía de evitamiento Norte de la Ciudad de Cajamarca, utilizando el método de Índice de Condición del Pavimento. Universidad Privada del Norte- Cajamarca.

## **ANEXO A:**

### **Cálculo del Índice de Condición del Pavimento en cada una de las unidades de muestra seleccionadas para el estudio.**

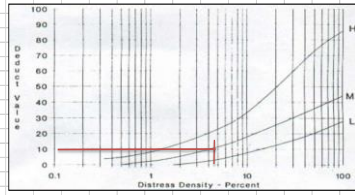
Para este fin se utilizaron los formatos y curvas obtenidos en base al Manual ASTM-D6433-99 , habiéndose hallado las densidades para hallar el grado de severidad de las fallas encontradas en cada unidad de muestra, así como también los valores deducidos corregidos, para finalmente encontrar el valor del PCI en cada unidad de muestra.,

Se ha hecho el cálculo de el PCI, en cada unidad de muestra ( 20 Unidades) de las cuales se ha tomado como ejemplo de cálculo la metodología de la muestra N° 14, explicada en las páginas 38,39,40 y 41 de esta tesis, que muestra el estado de condición del pavimento en esta unidad como BUENO.

Adicionalmente, presento también el cálculo del Índice de Condición del Pavimento Flexible de la unidad de muestra N°50, que presenta el estado de condición del pavimento en esta unidad como REGULAR.

Via: / AMERICA OESTE Prog. Inicial: 1+876.70 Unidad de muestreo: UM 50 Lugar: DIST. TRUJILLO  
 Fecha: 10/11/2018 Prog. Final: 1+915.00 Area de muestreo (m<sup>2</sup>): 229.80 Ing. Resp.: AVARGAS

Tipos de Fallas					Diagrama
Nº	Descripción	Und	Nº	Descripción	Und
1	Piel de cocodrilo	m <sup>2</sup>	11	Parqueo	m <sup>2</sup>
2	Exudación	m <sup>2</sup>	12	Pulimento de agregados	m <sup>2</sup>
3	Agrietamiento en bloque	m <sup>2</sup>	13	Huecos	NP
4	Abultamientos y hundimientos	m	14	Cruce de vía férrea	m <sup>2</sup>
5	Corrugación	m <sup>2</sup>	15	Ahuellamiento	m <sup>2</sup>
6	Depresión	m <sup>2</sup>	16	Desplazamiento	m <sup>2</sup>
7	Grieta de borde	m	17	Grieta parabólica (Slippage)	m <sup>2</sup>
8	Grieta de reflexión de junta	m	18	Hinchamiento	m <sup>2</sup>
9	Desnivel carriberma	m	19	Desprendimiento de agregados	m <sup>2</sup>
10	Grietas longitudinal y transvers.	m			



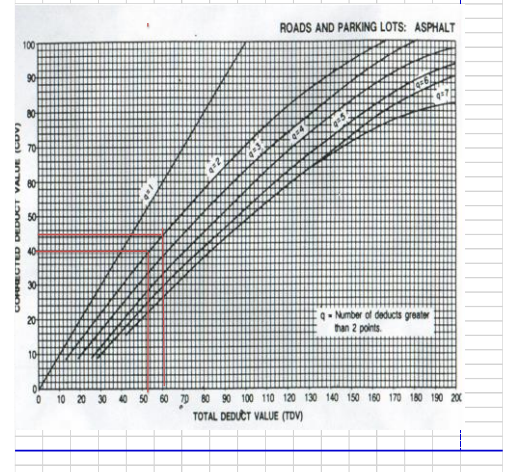
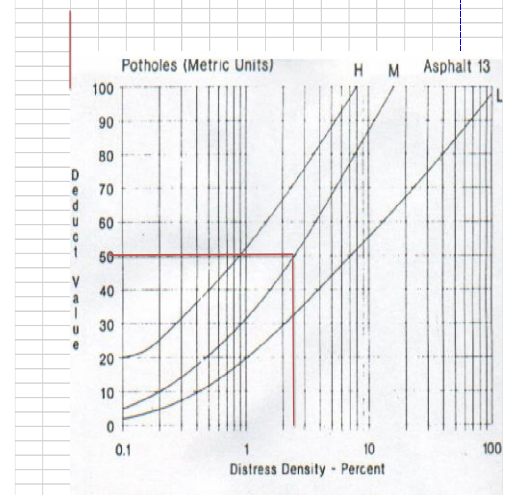
Tipos de falla existentes						
Falla	Severidad	Cantidades Parciales			Total	Valor Deducido (VD)
13	M	6.00			6.00	2.61
10	M	10.00			10.00	4.35
					Total	60.00

Numero de valores deducidos > 2 (q): 2  
 Valor deducción mas alto (HV/DI): 50.00  
 Numero maximo de valores deducidos (m): 5.59  
 Valor Deducido Corregido (VDC):

Nº	Valores Deducidos			VDT	q	VDC
1	50.00	10.00		60.00	2	45.00
2	50.00	2.00		52.00	1	40.00
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
					Max VDC	45.00

INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO (PCI): PCI = 100 - (Max VDC Total VD)  
 PCI = 55.00  
 CONDICION DEL ESTADO DEL PAVIMENTO: Regular

Observación:



### UNIDAD DE MUESTRA N° 50

Fuente: Elaboración propia, en base a datos del Manual ASTM-D-6433