



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

Maestría en Ingeniería en Construcción

**REHABILITACIÓN DE PAVIMENTO DE LA
CARRETERA:
PACHUCA–PORTEZUELO–PALMILLAS,
EN EL ESTADO DE HIDALGO.**

TESINA

Que para obtener el grado de
MAESTRA EN INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Presenta:

ING. EDITH TREJO TOVAR

Asesor de tesina:

M.I. EMILIO MACHORRO LÓPEZ



BUAP

OFICIO SIEP No. 3993/2014

ING. EDITH TREJO TOVAR

*Maestría en Ingeniería, opción terminal Construcción
Presente.*

El suscrito M.I. Edgar Iram Villagrán Arroyo, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aceptación de Tema de tesina, le autoriza desarrollar el tema intitulado **"Rehabilitación de pavimento de la carretera: Pachuca-Portezuelo-Palmillas, en el Estado de Hidalgo"**, para obtener el grado de Maestra en Ingeniería con opción terminal en Construcción. Asignándose como Asesor de Tesina al M.I. Emilio Machorro López.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"Pensar bien, para vivir mejor"
Puebla, Puebla a 02 de Diciembre de 2014

M.I. EDGAR IRAM VILLAGRÁN ARROYO
Director de la Facultad de Ingeniería



C.c.p. M.I. Emilio Machorro López, Asesor de tesina.
C.c.p. Archivo

GJS/RGP/dsm.

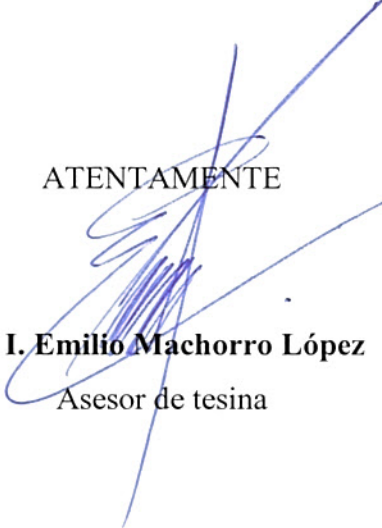
Puebla, Puebla a 11 de diciembre de 2014.

M.I. Edgar Iram Villagran Arroyo
Director de la Facultad de Ingeniería
Presente.

El que suscribe **M. I. Emilio Machorro López**, en atención al **oficio SIEP No. 3993/2014**, en el que se me nombra asesor de tesina, a la cual lleva como tema “**Rehabilitación de pavimento de la carretera: Pachuca-Portezuelo-Palmillas, en el Estado de Hidalgo**”; manifiesto que después de haber revisado la mencionada tesina, autorizo la impresión a la Ing. Edith Trejo Tovar.

Sin otro en particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE



M. I. Emilio Machorro López
Asesor de tesina

C.c.p. Gabriel Jiménez Suarez. Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado.
C.c.p. Edith Trejo Tovar. Alumna de la Maestría en Ingeniería en Construcción.
C.c.p. Archivo

Agradecimientos

Agradezco a Dios porque ha puesto cerca de mí a mucha gente, para corregir mis errores e instruirme por el mejor camino.

Contenido

Portada	i
Agradecimientos	iv
Contenido.....	v
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas	viii
Resumen.....	ix
Introducción	x
CAPITULO 1. Formulación de proyecto	11
1.1 Justificación.....	11
1.2 Hipótesis.....	11
1.3 Objetivo general	12
1.4 Objetivos particulares.....	12
CAPITULO 2. Marco Teórico.....	13
2.1 Pavimentos	13
2.1.1 Definición de pavimento	13
2.1.2 Función de un pavimento,	13
2.1.3 Tipos de pavimentos.....	14
2.1.3.1 Flexibles.....	14
2.1.3.2 Rígido.....	15
2.1.3.3 Compuesto	16
2.1.3.4 Especiales.....	17
2.1.4 Estructura de los Pavimentos flexibles.....	17
2.1.4.1 Funciones y características de los caminos.....	20
2.1.5 Clasificación de carreteras.....	21
2.2 Descripción de los diferentes tipos de fallas en pavimentos flexibles	22

2.2.1 Definición de Falla Estructural.....	22
2.2.1.1 Origen de las fallas estructurales	22
2.2.1.2 Clasificación de deterioros estructurales	23
2.2.2 Definición de Falla funcional	23
2.2.2.1 Origen de las fallas funcionales	23
2.2.2.2 Clasificación de deterioros Superficiales.....	23
CAPITULO 3. La Metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI).....	24
3.1 Definición del Índice de Condición del Pavimento (PCI)	24
3.2 Antecedentes del Índice de Condición del Pavimento (PCI).....	24
3.3 Materiales e instrumentos	24
3.4 Índice de Condición del Pavimento (PCI)	25
3.4.1 Terminología:	26
3.5 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento	26
CAPITULO 4. Marco referencial	34
4.1 Antecedentes de la carretera “Pachuca-Portezuelo–Palmillas”, en el Estado de Hidalgo.....	34
4.2 Localización del proyecto	35
4.3 Características de la carretera.....	37
4.4 Importancia del área de Estudio.....	39
CAPITULO 5. Aplicación a la carretera	40
5.1 Diagnóstico de condiciones actuales del camino	40
5.1.1 Situación que originan el problema.....	40
5.1.2 Zona y poblaciones afectadas	41
5.1.3 Gravedad de la situación negativa que se intenta modificar	42
5.1.4 Intentos anteriores de solución	42
5.2 Problema central y sus causas	42
5.2.1 Problema Central	43

5.3 Desarrollo del estudio	44
5.3.1 Estudio de tráfico.....	44
5.3.2 Levantamiento de la información de campo	45
5.3.3 Levantamiento de la información en oficina	52
5.4 Resultados obtenidos.....	55
Conclusiones	59
Referencias bibliográficas.....	61
Anexos	65

Índice de figuras

Fig. 2.1 Pavimentación flexible	15
Figura 2.2 Pavimentación rígida	16
Fig. 2.3 Estructura de pavimento rígido	16
Fig. 2.4 Esquema de pavimento flexible.....	18
Fig. 3.1 Ejemplo de formulario para cálculo de PCI.	25
Fig. 3.2 Rangos de Calificación para Evaluación de Pavimentos Flexibles.....	26
Fig. 3.3 Identificación de fallas.	29
Fig. 3.4 Total de Nivel de severidad.....	30
Fig. 3.5 Calculo de Densidad.....	30
Fig. 3.6 Valor de CDV	32
Fig. 4.1 Ubicación de Alfajayucan.	35
Fig. 4.2 Localización del proyecto.....	36
Fig. 4.3 Sección de construcción de un terraplén.	38
Fig. 4.4 Planta del proyecto km 13 al 14.	38
Fig. 5.1 Ubicación de la estación de conteo.	44
Fig. 5.2 Tránsito vehicular	45
Fig. 5.3 Tipos de fallas en la carretera.	47
Fig. 5.4 Seccionamiento del pavimento en estudio.	51
Fig. 5.5 Resumen de resultados del caso de estudio.....	52
Fig. 5.6 Grafica de deterioro del camino	54
Fig. 5.7 Grafica de deterioro del camino.	54
Fig. 5.8 Curva de deterioro de un pavimento, zona optima de rehabilitación.....	55
Fig. 5.8 Esquema de mantenimiento y rehabilitación.....	56

Índice de tablas

Tabla 1 Longitudes de muestreo asfaltico.....	27
-----------------------------------------------	----

Resumen

“La Carretera Pachuca- Portezuelo-Palmillas” ubicado en el estado de Hidalgo es una obra que ha reflejado un impacto social y económico importante para la región. Sin embargo, a pesar de que tiene dos años en funcionamiento sufre de envejecimiento prematuro, presentando fallas estructurales y superficiales en el subtramo 13+120 al 14+120, motivo suficiente para aplicar la rehabilitación del camino, resultado obtenido por la utilización de la metodología del *Índice de Condición del Pavimento* (PCI, por sus siglas en inglés).

El PCI se realiza a través de una evaluación visual, cálculo de valores matemáticos y la utilización de gráficos, para determinar el grado de deterioro que presenta la estructura del pavimento.

El estudio de la carretera fue propuesto con la finalidad de mantener con la seguridad, optimizar los costos de operación vehicular, alertar que se encuentra en el punto óptimo para realizar la rehabilitación, conservar el ingreso económico por la salida de la materia prima y visita de turistas a los parques acuáticos ubicados en la región del Valle de Mezquital en el Estado de Hidalgo.

Introducción

Un factor muy importante dentro del campo de la ingeniería civil es la vialidad, para su mejoramiento dependerá de las proyecciones de la utilización del uso especial de los suelos actuales y futuros. El gobierno federal y estatal tiene el compromiso de mejorar las vialidades urbanas y rurales, con el objetivo de fomentar un crecimiento económico a la población. Una de las vías que sufre el proceso de mejoramiento es la carretera “Pachuca-Portezuelo-Palmillas”.

La carretera “Pachuca-Portezuelo-Palmillas” ubicado en el Estado de Hidalgo, concluyo hace dos años su ampliación a cuatro carriles en el subtramo del km 13+120 al km 18+120. Sin embargo, actualmente presenta fallas sobre la superficie del pavimento en el km 13+120 al km 14+120, por lo tanto, este documento tiene la finalidad de diagnosticar el grado de deterioro que presenta el pavimento, mediante el método *Índice de Condición del Pavimento* (PCI, por sus siglas en inglés).

La estrategia para obtener el grado de deterioro del pavimento flexible consistió en acudir al sitio para observar las fallas superficiales y estructurales apoyándose mediante el formulario del *Índice de Condición del Pavimento* con superficie asfáltica, donde es necesario medir las áreas o longitudes de cada falla, clasificar los tipos de deterioros y nivel de severidad, analizar y calcular el PCI a través de gráficas que maneja el manual de deterioro del PCI. Una vez obtenido la condición de deterioro del pavimento de cada uno los puntos analizados se identifican la rehabilitación a aplicar. Lo anterior tiene como objetivo mantener las condiciones del camino, la seguridad del usuario, optimizar la operación del tránsito, conservar el ingreso económico turístico y agropecuario, alertar el incremento de costo tanto del usuario como la conservación del camino.

CAPITULO 1. Formulación de proyecto

1.1 Justificación

El objetivo principal de una vialidad es permitir el traslado de personas y/o productos de un punto a otro, de forma segura, cómoda y expedita, por lo tanto, los pavimentos deben conservarse para cumplir con su objetivo y su vida útil con la misma calidad de servicio. Sin embargo, la carretera “Pachuca–Portezuelo–Palmillas” ubicado en el Estado de Hidalgo, el subtramo 13+120 al 14+120 presenta fallas sobre su estructura, a pesar de tener dos años que concluyo la ampliación a cuatro carriles. Por tal motivo, se pretende analizar el subtramo mencionado utilizando la metodología del cálculo del *Índice de Condición del Pavimento* (PCI, por sus siglas en inglés).

Mediante la metodología del PCI se determinará el grado de deterioro en el que se encuentra el pavimento y así se escogerá el mantenimiento o rehabilitación necesaria.

1.2 Hipótesis

Utilizando el método del *Índice de Condición del Pavimento* (PCI), se identificará la rehabilitación que necesita de acuerdo con el grado de deterioro que presenta el subtramo 13+120 al km 14+120, de la carretera “Pachuca–Portezuelo–Palmillas” en el Estado de Hidalgo.

1.3 Objetivo general

Ubicar en el subtramo 13+120 al 14+120 las fallas del pavimento flexible, para determinar el grado de deterioro del pavimento a través del Método del *Índice de Condición del Pavimento* (PCI, por sus siglas en inglés) y asimismo proporcionar el procedimiento de conservación adecuado para la carretera “Pachuca–Portezuelo–Palmillas” en el Estado de Hidalgo.

1.4 Objetivos particulares

- ✚ Diagnóstico de las condiciones actuales de la carretera.
- ✚ Identificar las fallas de deterioro del pavimento flexible en la autopista.
- ✚ Aplicar la metodología del cálculo de *Índice de Condición del Pavimento* (PCI), para identificar y recomendar el tipo de rehabilitación.
- ✚ Analizar los resultados y establecer conclusiones.

CAPITULO 2. Marco Teórico

2.1 Pavimentos

2.1.1 Definición de pavimento

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento, (Montejo Fonseca, 2002).

2.1.2 Función de un pavimento, (Figueroa Infante , y otros, 2014):

- ✚ Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- ✚ Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- ✚ Presentar una textura superficial adecuada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto esta tiene una influencia decisiva en la seguridad vial.
- ✚ Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.

- ✚ Presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permita una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- ✚ Ser durable.
- ✚ Presentar condiciones adecuadas de drenaje.

2.1.3 Tipos de pavimentos

De acuerdo a la estructura del pavimento se clasifican en:

- ✚ Pavimentos flexibles
- ✚ Pavimentos rígidos
- ✚ Pavimentos compuestos
- ✚ Pavimentos especiales

2.1.3.1 Flexibles

Se entenderá por pavimento flexible aquel que está compuesto por una capa o carpeta asfáltica es decir el pavimento flexible utiliza una mezcla de agregado grueso o fin (piedra machacada, grava y arena) con material bituminoso obtenido del asfalto o petróleo, y de los productos destilación del mismo. Esta mezcla es compacta, pero lo bastante plástica para absorber grandes golpes y soportar un elevado volumen de tránsito pesado, (Hernandez Gutierrez, 2005).



Fig. 2.1 Pavimentación flexible, (elaboración propia, 2013).

Esta estructura se diseña según condiciones especiales, los principales parámetros de diseño de un pavimento por métodos racionales son:

- ✚ Número de ejes o vehículos que pasan por la vía.
- ✚ Módulos elásticos de las capas que conforman el pavimento.
- ✚ Espesores de las capas.

2.1.3.2 Rígido

La norma “N·CTR·CAR·1·04·009/06” menciona que las carpetas de concreto hidráulico son las que se construyen mediante la colocación de una mezcla de agregados pétreos, cemento Pórtland y agua, para proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Tienen además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento, (NIT-SCT, Carpetas de concreto hidráulico, 2006).



Figura 2.2 Pavimentación rígida (Elaboración propia, 2009).

Consiste en una losa de concreto hidráulico, puede no tener una capa subbase entre la base y la subrasante, siempre y cuando cumpla con ciertas condiciones de calidad de dicha capa.

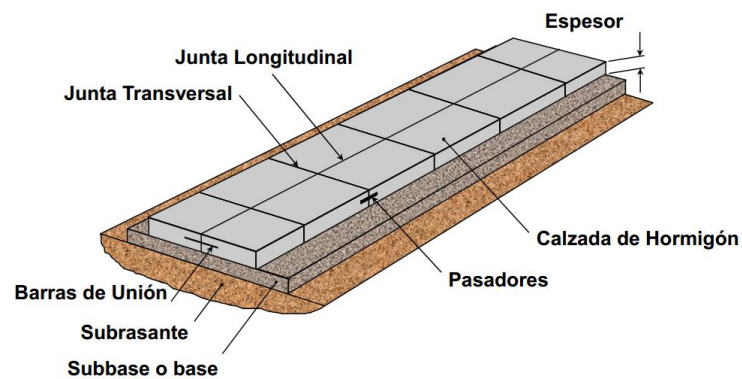


Fig. 2.3 Estructura de pavimento rígido, (Calo, 2012).

2.1.3.3 Compuesto

Este tipo de pavimento constan de una losa de concreto hidráulico, sobre la cual se tiende y compacta una sobre carpeta de concreto asfáltico, la cual servirá como superficie de rodamiento por la cual circularán vehículos a altas velocidades, siendo la losa el elemento estructural principal. Reúne las ventajas y desventajas de ambos tipos

de pavimentos, si bien, aun cuando la carpeta asfáltica puede estar a salvo del fenómeno de la fatiga, su vida útil es corta en comparación con la losa de concreto, requiriendo una conservación similar a la de un pavimento flexible. Otro problema le constituyen la flexión de las juntas y eventualmente de las grietas de las losas de concreto, aspecto que debe tenerse en cuenta para su diseño, (Osuna Ruiz, 2008).

2.1.3.4 Especiales

Son los pavimentos construidos con adoquín de cemento o de piedra debidamente acomodada, (Osuna Ruiz, 2008).

- ✚ Adoquines: Su capa de rodadura está conformada por adoquines de concreto, colocados sobre una capa de arena y con un sello de arena entre sus juntas. De la misma manera que los pavimentos de asfalto, pueden tener una base, o una base con una sub-base, que pueden tener espesores ligeramente menores que los utilizados para los pavimentos de asfalto, (ICPA, 2014).
- ✚ Empedrados: es una capa de rodadura elaborada con piedra, obtenida de los ríos o mediante un proceso de explotación y trituración. El empedrado es un tipo de pavimento flexible, que presenta gran durabilidad y resistencia.

2.1.4 Estructura de los Pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles se estructuran por una carpeta asfáltica, base, subbase, subrasante y terraplén.

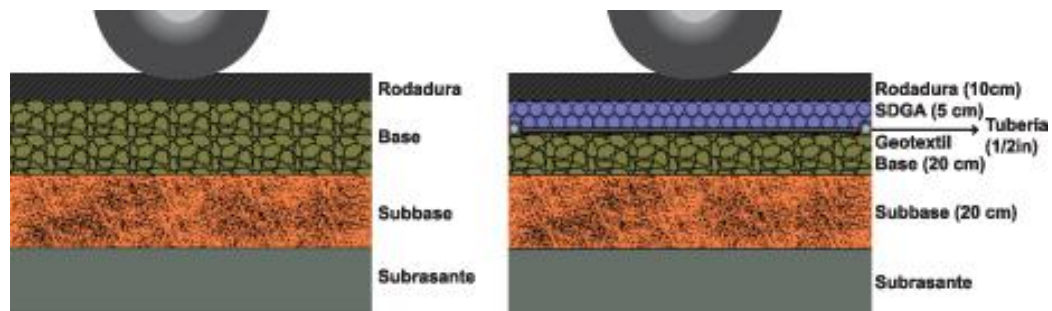


Fig. 2.4 Esquema de pavimento flexible, (Reyes Liscano, 2011).

Definimos a las carpetas asfálticas de acuerdo con la normativa de la SCT aquellas que se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos de granulometría densa y cemento asfáltico, modificado o no, de acuerdo a la norma “N·CTR·CAR·1·04·006/09” para carpetas con mezcla caliente se utiliza calor como vehículo de incorporación, mientras que las carpetas con mezcla fría son emulsión o rebajado con solventes según la norma “N·CTR·CAR·1·04·007/09” con la finalidad de proporcionar al usuario una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derramamiento, cómoda y segura. Estas carpetas, debido a que generalmente tienen espesores mayores de cuatro (4) centímetros, tienen la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento, (NIT-SCT, Carpeta asfáltica con mezcla caliente, 2009).

Según la normativa “N·CTR·CAR·1·04·002/11” la base hidráulica es Capa de materiales pétreos seleccionados que se construye generalmente sobre la subbase o la subrasante, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, la capa de rodadura asfáltica o la carpeta de concreto hídrico; soportar las cargas que esta le transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, y proporcionar a la estructura del pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua subterránea,, (NIT-SCT, Subbases y Bases , 2011).

La subbase hidráulica según la normativa “N·CTR·CAR·1·04·002/11” de la secretaria de comunicaciones y transportes es una capa de materiales pétreos seleccionados que se construye sobre la subrasante, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la base de un pavimento asfáltico, soportar las cargas que este le trasmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, y prevenir la migración de finos hacia las capas superiores, (NIT-SCT, Subbases y Bases , 2011).

Las terracerías son el volumen de material que se extrae y sirve de relleno para construir un camino. Las terracerías se dividen en dos zonas; el cuerpo del terraplén (parte inferior) y capa subrasante.

La estructura varía de acuerdo a las condiciones topográficas, para ello existen tres tipos de secciones de acuerdo a su estructura:

- ✚ En Terraplén: Según la normativa “N·CTR·CAR·1·01·009/11” son estructuras que se construyen con materiales producto de cortes o procedentes de bancos, con el fin de obtener el nivel de subrasante que indique el proyecto o la Secretaría, ampliar la corona, cimentar estructuras, formar bermas y bordos, y tender taludes, (NIT-SCT, Terracerías, 2011).
- ✚ En corte: de acuerdo a la normativa “N·CTR·CAR·1·01·003/11” de la SCT son las excavaciones ejecutadas a cielo abierto en el terreno natural, en ampliación de taludes, en rebajes en la corona de cortes o terraplenes existentes y en derrumbes, con objeto de preparar y formar la sección de la obra, de acuerdo con lo indicado en el proyecto o lo ordenado por la Secretaría, (NIT-SCT, Corte, 2011).
- ✚ En Balcón: Esta sección se usa para llevar por una ladera la carretera, se usa para evitar cortes en la montaña, generalmente son usados para hacer curvas, (Rubio Vazquez, 2012).

2.1.4.1 Funciones y características de los caminos

✚ Carpeta de concreto asfáltico

- Un espesor mayor a cuatro centímetros.
- Los materiales deben cumplir con la normativa de calidad N·CMT·4·05·003.
- La forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, no se usa material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad alterando la granulometría y pudiendo causar fallas en la carpeta.
- La superficie de rodamiento debe tener capacidad para resistir el desgaste, los efectos abrasivos de los vehículos en movimiento y poseer suficiente estabilidad para evitar daños por la carga de tránsito.
- El grado de compactación de carpeta es del 95 %.

✚ Bases, (NIT-SCT, Subbases y Bases , 2011):

- Apoyo uniforme a la carpeta asfáltica.
- La capa de rodadura asfáltica o la carpeta de concreto hidráulico debe soportar las cargas que esta le transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior.
- Proporcionar a la estructura del pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas.
- Drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua subterránea. Comúnmente el espesor es de 10 a 20 cm y su grado de compactación debe ser al 100 %.

✚ Sub-bases, (NIT-SCT, Subbases y Bases , 2011):

- Apoyo uniforme a la base de un pavimento asfáltico.
- Soporte de las cargas que este le transmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior.
- Prevenir la migración de finos hacia las capas superiores.
- El espesor debe puede ser de 10 a 30 cm y su grado de compactación mínima es al 100 %.

✚ Subrasante, (Sánchez, 2014):

- Resistir las cargas que el tránsito trasmite al pavimento, transmitir y distribuir las cargas al cuerpo del terraplén.
- Evitar que los materiales finos plásticos del cuerpo del terraplén contaminen el pavimento y economizar los espesores de pavimento.
- El espesor mínimo de la capa debe ser de 20 a 50 cm. El tamaño debe ser 7.6 cm. Su grado de compactación es del 95 % ± 2 del peso volumétrico seco máximo

✚ Terraplén:

- Soportar las cargas de tránsito que son transmitidas por las capas superiores y distribuir los esfuerzos de forma adecuada al terreno natural.
- Satisfacer las especificaciones geométricas del proyecto.
- El grado de compactación es de 90 % ± 2 .

2.1.5 Clasificación de carreteras

La clasificación para fines de proyecto geométrico en la normativa mexicana más reciente es básicamente en función del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) esperado al final del horizonte de proyecto. Así, las carreteras se clasifican en, (Mendoza Diaz, Abarca Perez, Mayoral Grajeda, & Quintero Pereda, 2004):

✚ A4, para un TDPA de 5 mil a 20 mil vehículos.

✚ A2, para un TDPA de 3 mil a 5 mil vehículos.

✚ B, para un TDPA de 1,500 a 3 mil vehículos.

✚ C, para un TDPA de 500 a 1,500 vehículos.

✚ D, para un TDPA de 100 a 500 vehículos.

✚ E, para un TDPA de hasta 100 vehículos.

2.2 Descripción de los diferentes tipos de fallas en pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles pueden fallar por diversas causas, siendo las más importantes: el transporte, tanto por el volumen, magnitud de las cargas y distribución de las mismas, los espesores de las capas; las características de los materiales que constituyen el pavimento y las condiciones ambientales, (Roque, 2014). Un pavimento siempre tendera a fallar. Las fallas son estructurales y superficiales.

2.2.1 Definición de Falla Estructural

Colapso, rotura de uno o más de los componentes del pavimento, de una magnitud tal que lo hacen incapaz de soportar las cargas impuestas, (Roque, 2014), es decir, fallas dadas por defectos constructivos quizá bien proporcionados y formados por materiales suficientemente resistentes, en cuya construcción se han producido errores o defectos que comprometen el comportamiento conjunto, (Pita Perez, 2011).

2.2.1.1 Origen de las fallas estructurales

Las fallas las podemos clasificar (Jimenez Saavedra, 2014):

- ✚ Fallas atribuibles a la carpeta.
- ✚ Fallas originadas en la interface, carpeta-base un mal acoplamiento entre un elemento y otro.
- ✚ Fallas originadas en la base, sub-base, terracería, inestabilidad de una o varias capas.
- ✚ Fallas por la repetición de cargas.
- ✚ Fallas ocasionadas por los agentes climáticos.
- ✚ Fallas ocasionadas por hormigueros.
- ✚ Fallas ocasionadas por madrigueras de algún animal.

2.2.1.2 Clasificación de deterioros estructurales

Ver en Anexo A

2.2.2 Definición de Falla funcional

La falla funcional en sí, consiste en deficiencias superficiales del pavimento a las que se asocian precisamente el índice de servicio, que afectan en mayor o menor grado la capacidad del camino en proporcionar al usuario un tránsito cómodo y seguro, (USON, 2014).

2.2.2.1 Origen de las fallas funcionales

- ✚ Mala calidad de los materiales de la carpeta asfáltica.
- ✚ Falta de afinidad de los materiales pétreos.
- ✚ Exceso o escasos de asfalto en mezcla.
- ✚ Repetición de cargas.
- ✚ Agentes climáticos.

2.2.2.2 Clasificación de deterioros Superficiales

Ver Anexo B

CAPITULO 3. La Metodología del Índice de Condición del Pavimento (PCI)






3.1 Definición del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

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.

3.2 Antecedentes del Índice de Condición del Pavimento (PCI)

Este método fue elaborado por el cuerpo de ingenieros del ejército de los Estados Unidos. Inicialmente fue desarrollado para aplicarse en pavimentos de Aeropuertos y posteriormente fue aplicado en autopistas, carreteras y estacionamiento, (Barrantes Jimenez, Sibaja Obando, & Porras Alvarado, 2008)

3.3 Materiales e instrumentos

-  Hoja de registro de datos fig. 3.1
-  Odómetro, flexómetro
-  Regla
-  Pintura
-  Plano de distribución

100	EXCELENTE
85	MUY BUENO
70	BUENO
55	REGULAR
40	MALO
25	MUY MALO
10	FALLADO
0	

Fig. 3.2 Rangos de Calificación para Evaluación de Pavimentos Flexibles, (Vasquez Varela, 2002).

3.4.1 Terminología:

- ✚ Sección: Es un área de pavimento con condiciones de tránsito y de intensidad de carga homogéneas, (Gamboa Chicchón, 2009).
- ✚ Red: Es el conjunto de pavimentos a ser estudiados, tales como aeropuertos o avenidas, (ídem).

3.5 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento

- ✚ Una etapa de trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta su clase, severidad y extensión de cada uno de ellos, utilizando la hoja de registro de datos (fig. 3.1).
- ✚ La segunda fase es el cálculo.

1. Unidad de muestreo.

Es una subdivisión de una sección del pavimento. Las carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho de calzada 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 el Tabla 3.1 se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada, (Vasquez Varela, 2002).

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

Tabla 3.1 Longitudes de muestreo asfáltico, (Vasquez Varela, 2002)

2. Determinación de las unidades de muestreo para la evaluación.

- ✚ Identificar tramos de estudio en un plano.
- ✚ Dividir cada tramo de estudio del pavimento en secciones.
- ✚ Dividir las secciones en unidades muestra.

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, (Vasquez Varela, 2002).

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 y se obtiene mediante la Ecuación 1, la cual produce un estimado del PCI ± 5 del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%, (ídem).

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

Dónde:

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.

σ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

La inspección inicial se asume una desviación estándar (σ) del PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35), (ídem).

3. Selección de las Unidades de Muestreo para Inspección, (ídem).

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

- d. Determine el VALOR DEDUCIDO para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas de “Valor Deducido del Daño”, de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado y la falla, (Vasquez Varela, 2002).
- e. Si ninguno o tan sólo uno de los “Valores Deducidos” es mayor que 2, se usa el “Valor Deducido Total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”, CDV deben seguirse los pasos siguientes:

- + Crear una Lista de los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.
- + Determine el “Número Máximo Admisible de Valores Deducidos” (m), utilizando la siguiente ecuación, (Vasquez Varela, 2002):

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

Dónde:

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

HDV_i : El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo i .

- + El número de valores individuales deducidos se reduce a m , inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que m se utilizan todos los que se tengan, (Vasquez Varela, 2002).
- + Determinar el valor deducido total (CDT), este valor es la suma de los valores deducidos individuales, (Gamboa Chicchón, 2009).
- + Hallar q como el número de valores deducidos mayores a dos, (ídem).
- + Determinar el valor de CDV en forma iterativa a partir de CDT y de “ q ”, empleando las gráficas de corrección (siguiente imagen), (ídem).

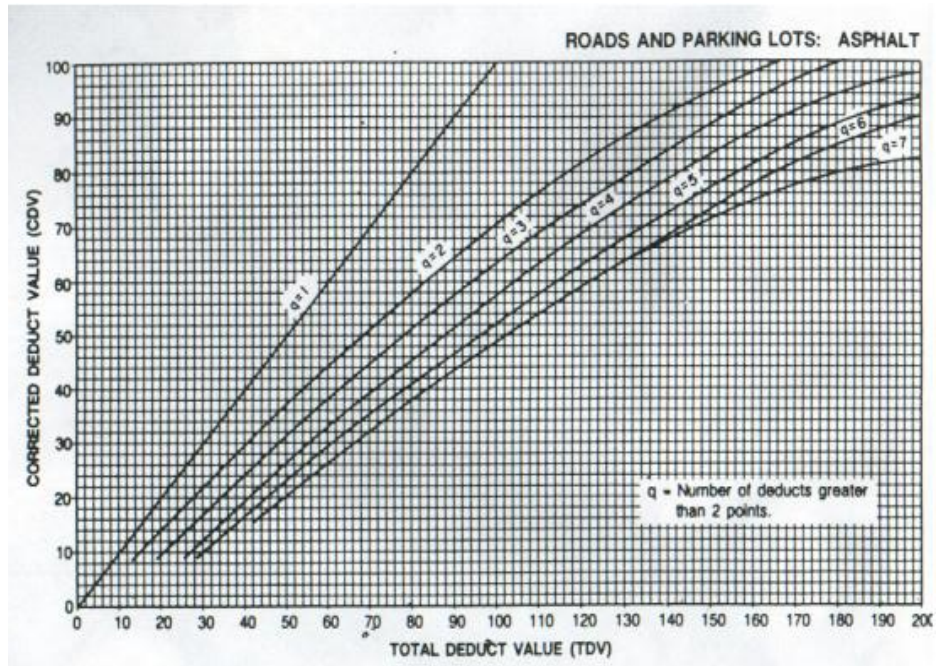


Fig. 3.6 Valor de CDV, (Vasquez Varela, 2002).

✚ El máximo CDV es el mayor.

$$PCI = 100 - CDV_{Max}$$

f. Cálculo del PCI de la sección.

Si la selección de las unidades de muestreo para inspección se hizo mediante la técnica aleatoria sistemática o con base en la representatividad de la sección, el PCI será el promedio de los PCI de las unidades de muestreo inspeccionadas. Si se usaron unidades de muestreo adicionales se usa un promedio ponderado calculado de la siguiente forma:

$$PCI_s = \frac{[(N - A) \times PCI_R] + (A \times PCI_A)}{N}$$

Dónde:

PCIS: PCI de la sección del pavimento.

PCIR: PCI promedio de las unidades de muestreo aleatorias o representativas.

PCIA: PCI promedio de las unidades de muestreo adicionales.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección.

A: Número adicional de unidades de muestreo inspeccionadas.

Si las unidades de muestra inspeccionadas han sido escogidas al azar, entonces el PCI de la sección (PCIs) es calculado como el PCI ponderado del área en que se encuentran las unidades de muestra (PCIr) utilizando la siguiente ecuación, (Gamboa Chicchón, 2009).

$$PCI_s = PCIr = \frac{\sum_{i=1}^n (PCI_{ri} \times A_{ri})}{\sum_{i=1}^n A_{ri}}$$

(Ec.6)

Dónde:

PCIr = PCI ponderado del área de las unidades de muestra

PCIRi = PCI de la unidad de muestra aleatoria i.

Ari = Área de la unidad de muestra aleatoria i.

n = Número de unidades de muestra aleatoria inspeccionadas.

CAPITULO 4. Marco referencial

4.1 Antecedentes de la carretera “Pachuca-Portezuelo–Palmillas”, en el Estado de Hidalgo.

El gobernador de Hidalgo Javier Rojo Gómez inicio los trabajos de construcción en la carretera “Pachuca-Portezuelos-Palmillas”. Con el paso del tiempo el crecimiento vehicular y las lluvias obligaron al camino recibir constantes mantenimientos y rehabilitaciones. Para el año 2006 el flujo vehicular era considerable y el gobierno federal asume el compromiso de ampliar la carretera a cuatro carriles, hasta llegar con los límites entre Hidalgo y Queretaro.

En el 2009 se inició en Hidalgo la ampliación a cuatro carriles en el subtramo 0+000 al km 13+120. Se continuó con la ampliación de la carretera de este último cadenamiento hasta llegar al km 18+120 en el año 2011.

Actualmente en la carretera federal número 45 en el subtramo 13+120 al 14+120 sufre de un envejecimiento prematuro, presentando fallas en la carpeta asfáltica y manifestando la realización de una rehabilitación de la carretera, para continuar con las condiciones del tránsito vehicular, seguridad del usuario y estética de la autopista.

Construir, ampliar y modernizar la infraestructura carretera del estado tiene como fin de ofrecer mayores oportunidades de progreso y desarrollo, generando una sociedad competitiva en la medida que será capaz de movilizar a su población, transportar bienes y mercancías e intercambiar ideas e información de manera ágil y eficiente.

4.2 Localización del proyecto

El sitio de estudio se encuentra ubicado en el municipio de Alfajayucan localizado geográficamente al occidente dentro del Valle del Mezquital en el Estado de Hidalgo.

📍 Entidad federativa: Hidalgo

📍 Municipio: Alfajayucan.



Fig. 4.1 Ubicación de Alfajayucan. (Explorando México, 2014).

📍 Colindantes de la localidad:

- Al norte: con los municipios de Huichapan, Tecozautla y Tasquillo.
- Al este: con los municipios de Tasquillo, Ixmiquilpan y Chilcuautla.
- Al oeste: con los municipios de Chapantongo y Huichapan.
- Al sur: con los municipios de Chilcuautla y Chapantongo

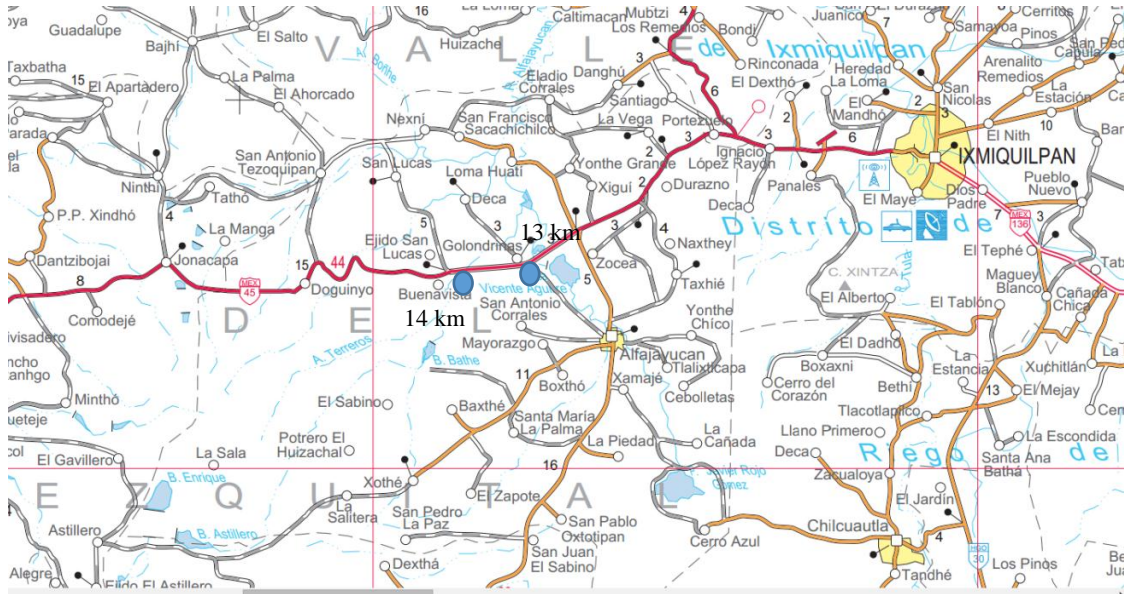


Fig. 4.2 Localización del proyecto. (Mapas Hidalgo, 2014).

- + **Clima:** Cuenta con un clima templado subhúmedo con lluvia en verano, el cual predomina en un 29.80% de la superficie municipal, mientras que en el 70.20% del territorio, prevalece el clima semiseco templado. Tiene una temperatura media anual de 17°C con una precipitación pluvial media anual de 510 milímetros, (Angeles García, 2012).

- + **Tipo de suelo:** El territorio del Municipio está formado por dos tipos de suelo: de la era cenozoica y era mesozoica, su composición es pardo, rojizo y castaño, es rico en materias orgánicas y nutrientes, (ídem).

- + **Coordenadas geográficas del proyecto:**

El proyecto iniciará en el Km. 13+120 y terminará en el km 14+120, de la carretera federal 45 Portezuelos-Huichapan. Las coordenadas según google earth INEGI 2014 nos indica:

Cadenamiento	Latitud	Longitud
13+120	20°26'06.53" N	99°24'04.61" O
14+120	20°26'06.40" N	99°24'20.23" O

- ✚ Tiempo de vida útil del proyecto: De acuerdo a los datos adquiridos de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte, Centro SCT-Hidalgo se estimó 20 años tiempo promedio de uso y se brindara el mantenimiento adecuado.

4.3 Características de la carretera

La sección geométrica del trazo carretero, de acuerdo a las especificaciones que nos indican las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes corresponden a:

- ✚ Un tramo carretero tipo A4.
- ✚ Ancho de corona de 21.00 m.
- ✚ Ancho de calzada con 16.00 m.
- ✚ 2 carriles de circulación de 7.3 m por sentido.
- ✚ Barra separadora central de 1.00 m con acotamientos internos de 0.50 m.
- ✚ Acotamientos externos de 2.50 m
- ✚ Derecho de vía de 40.00 m.

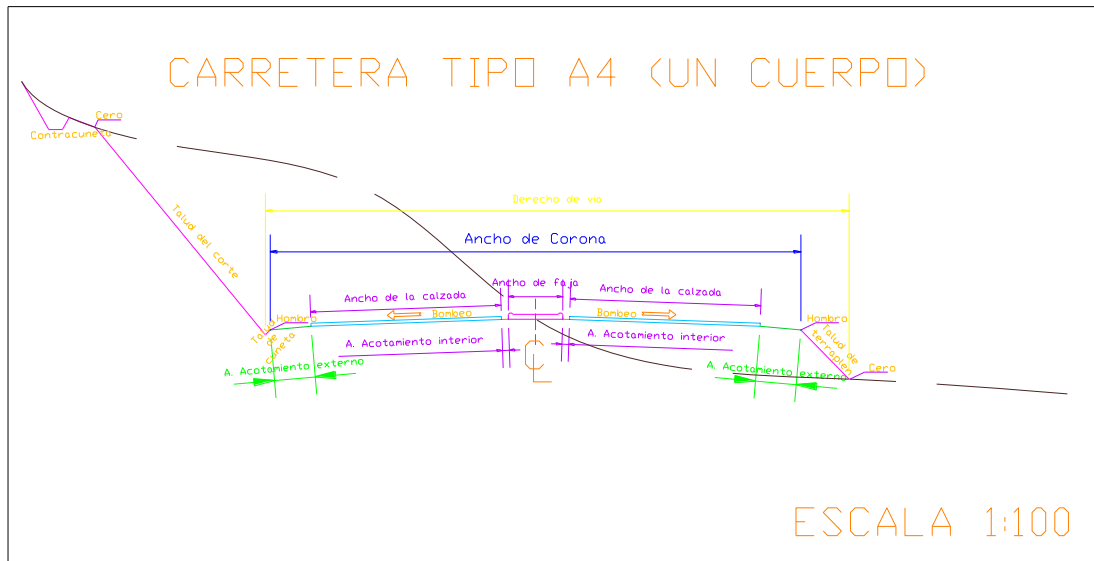


Fig. 4.3 Sección de construcción de un terraplén. (Elaboración propia, 2014).

- ✚ Terraplén de acuerdo a lo que nos da el camino existente.
- ✚ Subrasante de 30 cm de espesor.
- ✚ Base hidráulica de 15 cm de espesor.
- ✚ Carpeta asfáltica de 10 cm de espesor.

Cuenta con obra complementaria como:

- ✚ Bordillos.
- ✚ Lavaderos.

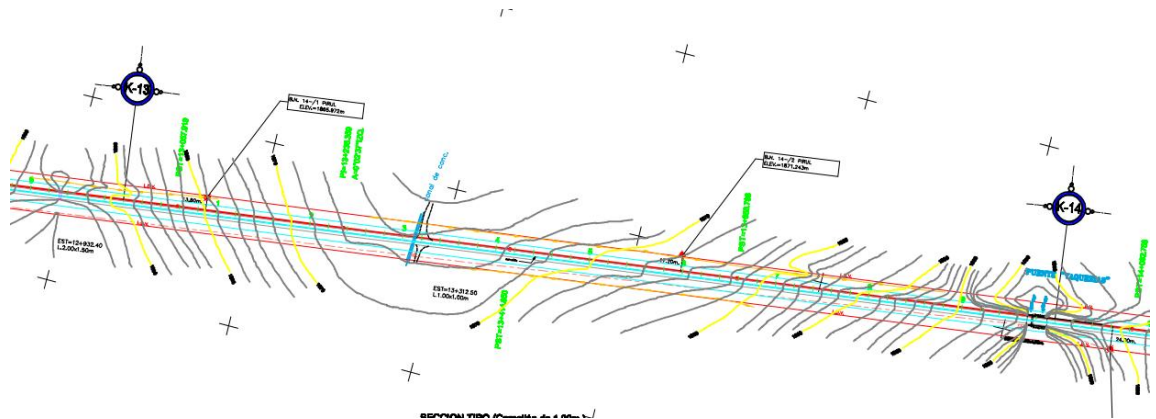


Fig. 4.4 Planta del proyecto km 13 al 14. (SCT, 2008).

4.4 Importancia del área de Estudio.

La carretera “Pachuca-Portezuelos-Palmillas” ubicado en el Estado de Hidalgo fue necesaria su construcción y ampliación a cuatro carriles, por su transitabilidad que esta posee. Es transitada para evitar el pago de cuota, visitas a los parques turísticos de Hidalgo, trasladar las mercancías de la región a Estados vecinos o para evadir el paso por la Ciudad de México, cuyo destino sea a ciudades de la zona sur o norte del país.

La modernización de la vía trajo beneficios de carácter económico, social, deducción de los congestionamientos vehiculares y disminución del índice de accidentes.

La Secretaria de Comunicaciones y Transportes aprovecho el trazo existente del camino, para la construcción de esta, mejorando el alineamiento horizontal y vertical de algunas de las curvas que se presentan, generando seguridad a los usuarios de la misma. Actualmente la carretera sufre fallas sobre la carpeta asfáltica debido a un mal proceso constructivo, lluvias y transito constante. Generando inseguridad e incomodidad al usuario. Para ello este proyecto sugiere realizar a través de la metodología del cálculo de Índice de Condición del Pavimento (PCI) determinar el grado de deterioro del pavimento en el subtramo 13+120 al 14+120.

CAPITULO 5. Aplicación a la carretera

5.1 Diagnóstico de condiciones actuales del camino

Este punto describe lo que se está viviendo en la zona por la existencia del problema.

5.1.1 Situación que originan el problema

Antecedentes y motivos que generaron la propuesta del proyecto

Se presenta el proyecto a causa del envejecimiento prematuro que sufre la carretera “Pachuca-Portezuelos-Palmillas” en el km 13+120 al km 14+120 ubicado en el estado de Hidalgo. Es notable el desgaste que ha sufrido el pavimento asfáltico a pesar de que fue diseñado por la SCT con una vida útil de 20 años y mantenimientos aplicados periódicamente a cada 5 años, como lo especifica la normativa. Sin embargo a 2 años de vida útil presenta fallas.

Las características de la situación negativa que se intenta modificar.

Actualmente en la vialidad, los vehículos transitan de manera moderada, pero la superficie de rodadura presenta principios de fallas y agravándose en épocas de lluvias. Todo esto es como consecuencia de un mal proceso constructivo, o bien, mala calidad de los materiales y el tipo de tránsito que transita.

- ✚ Las razones por la que es de interés resolver dicha situación.

Hay varias razones por la cual es indispensable resolver esta realidad, entre ellas es los costos de rehabilitación, comodidad y seguridad del usuario, debido a que es una carretera federal transitable por los excursionistas a las zonas turísticas de la entidad, trabajadores a la zona industrial de Querétaro, medio por el cual los agricultores de la zona transportan su mercancía a otros Estados o pasajeros que se dirigen a Estados del norte o sur del País que no quieran pasar por la Ciudad de México.

- ✚ La explicación de porqué es competencia del Estado resolver dicha situación.

La Secretaria de Comunicaciones y Transportes de la entidad debe otorgar de infraestructura vial adecuada, atender la demanda de esta carretera para promover un servicio de transporte terrestre eficiente y seguro, además que las características del servicio de transporte vial es de carácter federal.

5.1.2 Zona y poblaciones afectadas

Municipios tales como Alfajayucan, Ixmiquilpan, Huichapan, Tasquillo, Chilcuahutla, Nopala, Chapantongo y Tecozahutla son las zonas con más afectación porque dependen de este subtramo para dirigirse a otras entidades, trasladando mercancías, surtiéndose de viáticos o utilizando servicios médicos o escolares.

Afecta a estados como Hidalgo con dirección a Querétaro, San Luis Potosí, Guanajuato, entre otras localidades del norte, o Estados ubicados al norte de Hidalgo que no quieran pasar por la Ciudad de México con trayectoria a las entidades de la zona sur.

5.1.3 Gravedad de la situación negativa que se intenta modificar

La ampliación a cuatro carriles generó un impacto económico mayor, beneficiando a las localidades cercanas a esta. Sin embargo, por la condición que presenta la carretera, los operadores de vehículos le generan incomodidad, inseguridad y aumento en los costos de llantas, aceites y combustible. Además de que la zona del Valle del Mezquital tiene como sustento económico el traslado de mercancías como son; las artesanías, la ganadería y los productos agrícolas. Gran parte de los recursos primarios y las artesanías son trasladados a otros Estados, como consecuencia del deterioro del pavimento provocaría el atraso de entrega del producto o pérdida de clientes.

5.1.4 Intentos anteriores de solución

La Secretaria de Comunicaciones y Transportes tuvo como objetivo cumplir con las especificaciones de calidad y la aplicación de los procesos constructivos adecuados, para cumplir con su vida útil de la carretera. Pero por cuestiones laborales no cumplió con su objetividad y por ello se propone una solución.

5.2 Problema central y sus causas

Frente a cualquier problema corresponde siempre tratar de explicar, la causa del problema e identificar las principales variables o factores que lo afectan.

5.2.1 Problema Central

+ Causas Indirectas:

- Tránsito pesado.
- Falta de sistema de drenaje.

+ Causa Directa:

- Vialidad con fallas sobre el pavimento flexible.

+ Efectos Indirectos:

- Flujo vehicular será restringido.
- Aumentará tiempo de viaje.
- Disminuirá el comercio.
- Incrementará la tarifa de transporte para pasajeros y carga.

+ Efectos Directos:

- Aumento de los costos de transporte y tiempo de viaje.
- Incremento de accidentes.
- Disminuirá el turismo.

El no ejecutarse la inversión en la rehabilitación creara:

+ Deterioro de la carretera, reduce transitabilidad, incrementa costos en el transporte y tiempo de circulación en la vía.

+ Generará rehabilitaciones con un costo económico mayor, si el deterioro avanza.

+ Los niveles actuales de comercio agrícola, ganadero o comercios básicos disminuirán.

+ Afectaran en el traslado para los servicios públicos como son de salud y educativos.

5.3 Desarrollo del estudio

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie del mismo a través de un estudio visual, para que de esta manera pueda adoptar las medidas adecuadas de reparación a través de la metodología del *Índice de Condición del Pavimento (PCI)*.

5.3.1 Estudio de tráfico

El flujo vehicular que circula en la vialidad del pavimento es constante, es decir, no hay variaciones significativas del tránsito entre los dos tramos existentes. Se realizó el conteo de tránsito, el día lunes 17 de noviembre de 2014, ubicando la estación de conteo en el km 13+120 por la localidad de Alfajayucan. El objetivo fue observar que el diseño propuesto se haya determinado de acuerdo al tránsito que circula en la vía.

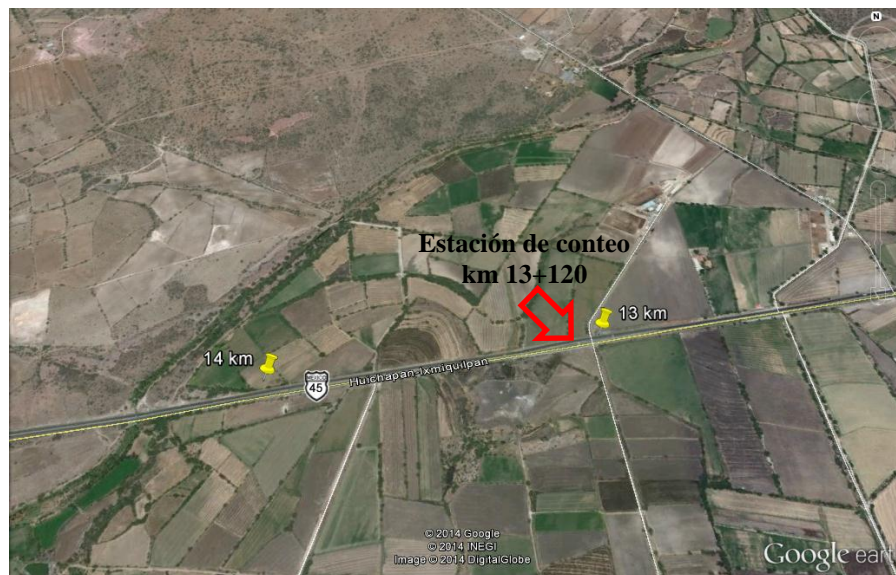


Fig. 5.1 Ubicación de la estación de conteo. (Elaboración propia, 2014).

Comprobar que la carretera tiene una demanda constante por los usuarios.



Fig. 5.2 Tránsito vehicular, (Elaboración propia, 2014).




Se demuestra a través del aforo vehicular (ver Anexo C), que “La Carretera Pachuca-Portezuelos-Palmillas” es transitada por vehículos particulares y de carga. Utilizando el método visual se analiza que el Tránsito Promedio Diario Anual corresponde a 4,242 vehículos diarios.






5.3.2 Levantamiento de la información de campo

Consiste en determinar los siguientes puntos.

- a) Tipos de daños encontrados en el tramo.

Nomenclatura indica:

-  Nivel de severidad Bajo (Low): L
-  Nivel de severidad Medio (Medium): M
-  Nivel de severidad Alto (High): H

Núm.	Tipo de deterioro	Imagen
1	Pulimiento	
	Nivel de severidad: L, M y H.	
2	Elevaciones y hundimientos	
	Nivel de severidad: M y H.	
3	Desprendimiento de agregados	
	Nivel de severidad: H	
4	Falla de bloque o agrieta de bloque	
	Nivel de severidad: L, M y H.	
5	Grietas longitudinales	
	Nivel de severidad: M y H	




6	Parqueo, baches y zanjas separadas	
	Nivel de severidad: M	
7	Piel de cocodrilo	
	Nivel de severidad: H	
8	Huecos	
	Nivel de severidad: M y H.	

Fig. 5.3 Tipos de fallas en la carretera, (Elaboración propia, 2014).

b) Divisiones del pavimento en unidades de muestra.

Una unidad de muestra es definida por una sección del pavimento, elegida solamente para su inspección. Para las carreteras de asfalto que poseen un ancho de calzada menor a 7.30 m, el área de muestreo debe oscilar entre $230 \pm 93 \text{ m}^2$, como lo indica el manual de las condiciones de pavimentos.

De acuerdo con la tabla 1, la longitud de muestreo es de 31.5 m, sin embargo, para facilitar el seccionamiento del tramo, se propone realizar la unidad de muestra a cada 30 m de longitud.

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

Tabla 6.1 Longitudes de muestreo asfáltico, (Vasquez Varela, 2002)

Por lo tanto resumimos los siguientes datos por sentido del carril:

Longitud de la vialidad	1,000.0 m
Ancha de calzada	7.3 m
Longitud de la muestra	30.0 m

Es necesario saber el número de unidades de muestreo, para evaluar el estado de la carrera “Portezuelos-Palmillas”. Por lo tanto determinamos el valor de N.

1. El valor de N la obtenemos de la siguiente manera:

$$N = \frac{\text{Longitud}}{\text{Longitud de la muestra}} = \frac{1,000 \text{ m}}{30 \text{ m}} = 33.33 \cong 33 \text{ muestras}$$

Datos:

$l=1000$ m

Longitud de muestra = 30 m

Es decir, en 1000 m de longitud con un ancho de calzada de 7.30 m de carretera, se necesita seccionar 33 muestras a cada 30 m, para evaluar la situación del camino. El método de PCI propone disminuir el número de muestras, para agilizar el procedimiento de identificación de fallas, por lo tanto necesitamos conocer el valor de n .

2. Determinar el número mínimo de unidades de muestreo para la evaluación (n):

La evaluación del *Índice de Condición del Pavimento* (PCI) debe inspeccionar un número mínimo de muestreo y se evalúa mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N-1) + \sigma^2} = \frac{33 \times (10)^2}{\frac{(5)^2}{4} \times (33-1) + (10)^2} = 11 \text{ muestras}$$

Datos:

n : ?

N : 33 muestras

e : $\pm 5\%$

σ : 10 unidades

Se obtiene 11 unidades de muestra para realizar la inspección visual, mientras que al inicio eran 33 unidades de muestra.

c) Selección de las unidades de muestreo para inspección

Las muestras deben ser igualmente espaciadas a través de toda la sección, seleccionando la primera muestra al azar. Las unidades de muestra se calculan con la siguiente formula:

$$i = \frac{N}{n} = \frac{33}{11} = 3 \text{ el intervalo}$$

Datos:

N=33 muestras

n= 11 muestras

Por lo tanto de acuerdo a los datos obtenidos resumimos, las muestras a realizar se harán en los siguientes tramos:

 Carril derecho

Núm. De muestra	Tramo	Núm. De muestra	Tramo
1	13+220.00 --13+250.00	7	13+719.98 --13+749.98
2	13+303.33 --13+333.33	8	13+803.31 --13+833.31
3	13+366.66 --13+396.66	9	13+886.64 --13+906.64
4	13+469.99 --13+499.99	10	13+969.97 --13+999.97
5	13+553.32 --13+583.32	11	14+053.30 --14+083.30
6	13+636.65 --13+666.65		

✚ Carril izquierdo

Núm. De muestra	Tramo	Núm. De muestra	Tramo
1	13+220.00 --13+250.00	7	13+719.98 --13+749.98
2	13+303.33 --13+333.33	8	13+803.31 --13+833.31
3	13+366.66 --13+396.66	9	13+886.64 --13+906.64
4	13+469.99 --13+499.99	10	13+969.97 --13+999.97
5	13+553.32 --13+583.32	11	14+053.30 --14+083.30
6	13+636.65 --13+666.65		

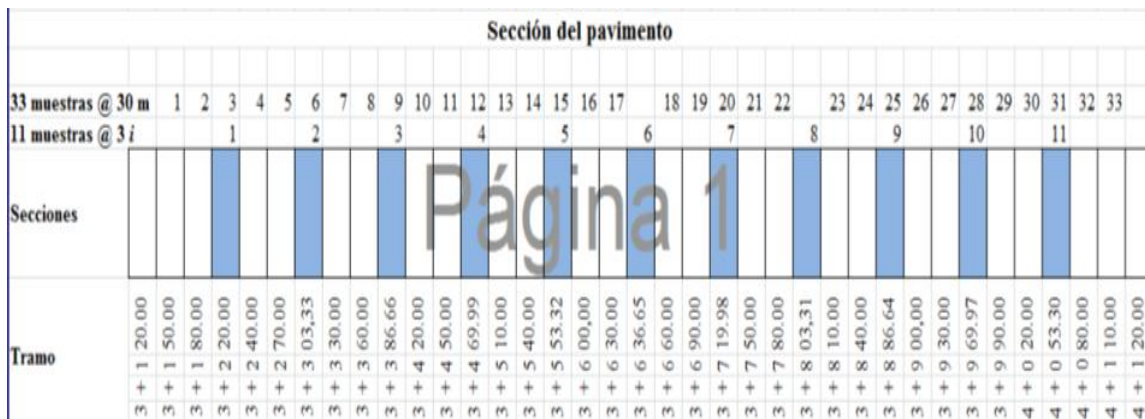


Fig. 5.4 Seccionamiento del pavimento en estudio. (Elaboración propia, 2014).

En figura 5.4 se observan secciones de color azul las cuales serán evaluadas para calcular el PCI.

Para la realización de los trabajos se necesita:

✚ Equipo:

- Odómetro para medir longitudes del tramo y las áreas de los daños presentadas por el pavimento.
- Regla y flexómetro para determinar las profundidades de los ahuellamientos o depresiones.
- Formatos del manual de PCI para el levantamiento de los daños del pavimento midiendo el grado de nivel de severidad.

5.3.3 Levantamiento de la información en oficina

- d) Inspección de unidades de muestreo para identificar el tipo de falla, medir la cantidad de fallas y el nivel de severidad de los daños registrando la información en el formato correspondiente.

A continuación se muestra el resumen de resultados obtenidos por el método PCI (ver Anexo D).

Resumen de resultados											
Muestra	Tramo inicial	Tramo final	Área (m ²)	PCI	Descripción	Muestra	Tramo inicial	Tramo final	Área (m ²)	PCI	Descripción
CARRIL DERECHO						CARRIL IZQUIERDO					
U1	13+220.00	13+250.00	219	78.00	Muy bueno	U12	13+220.00	13+250.00	219	92.00	Excelente
U2	13+303.33	13+333.33	219	16.00	Muy malo	U13	13+303.33	13+333.33	219	18.00	Muy malo
U3	13+366.66	13+396.66	219	16.00	Muy malo	U14	13+366.66	13+396.66	219	74.00	Muy bueno
U4	13+469.99	13+496.99	219	42.00	Regular	U15	13+469.99	13+496.99	219	85.00	Excelente
U5	13+553.32	13+543.32	219	26.00	Malo	U16	13+553.32	13+543.32	219	48.00	Regular
U6	13+636.65	13+666.65	219	36.00	Malo	U17	13+636.65	13+666.65	219	69.00	Bueno
U7	13+719.98	13+749.98	219	45.00	Regular	U18	13+719.98	13+749.98	219	59.00	Bueno
U8	13+803.31	13+833.31	219	38.00	Malo	U19	13+803.31	13+833.31	219	18.00	Muy malo
U9	13+886.64	13+906.64	219	41.00	Regular	U20	13+886.64	13+906.64	219	18.00	Muy malo
U10	13+969.97	13+999.97	219	15.00	Muy malo	U21	13+969.97	13+999.97	219	12.00	Muy malo
U11	14+053.30	14+083.30	219	62.00	Bueno	U22	14+053.30	14+083.30	219	19.00	Muy malo

Fig. 5.5 Resumen de resultados del caso de estudio, (elaboración propia, 2014).

Para obtener el resultado fue necesario elaborar un levantamiento visual de las fallas existentes en el pavimento flexible. Dicho procedimiento consistió en llenar el formato PCI (Ver Anexo D) por cada unidad de muestra, es decir, se realizaron 22 muestreos de los cuales 11 corresponden a cada carril. Cada muestra se identificó diferentes tipos de fallas, así mismo se midió y se evaluó las condiciones del pavimento.

Se observa en la tabla 5.5 que el carril derecho presenta un mayor deterioro que el carril izquierdo.

En la sección 1 que corresponde al carril derecho, se observa en la muestra U2 a la U10 que la situación del pavimento es regular a malas condiciones. Determinando el valor promedio de PCI correspondería a 38. Por lo tanto, de acuerdo al esquema de clasificación de pavimentos es considerado como una condición mala.

En la sección 2 correspondiente al carril del cuerpo izquierdo, la unidad de muestras que refleja mayor problema en la situación del pavimento es de la U19 a la U22. El valor promedio para esta sección corresponde al PCI=47, indicando que se encuentra en una condición regular de acuerdo al esquema de clasificación del pavimento.

De manera general el promedio total para ambos cuerpos obtendríamos un valor de PCI= 42 e indicaría que el pavimento posee una condición regular.

En la fig. 5.6 (Ver Anexo E) se identifica la evaluación actual de deterioro del camino. Concluimos que la falla que más influye en las condiciones del pavimento es el agrietamiento en bloque, la cual corresponde a un deterioro estructural, seguido del

pulimiento de agregados, esta última falla corresponde a un deterioro de superficie y continúa con la falla de piel de cocodrilo, clasificado como deterioro estructural.

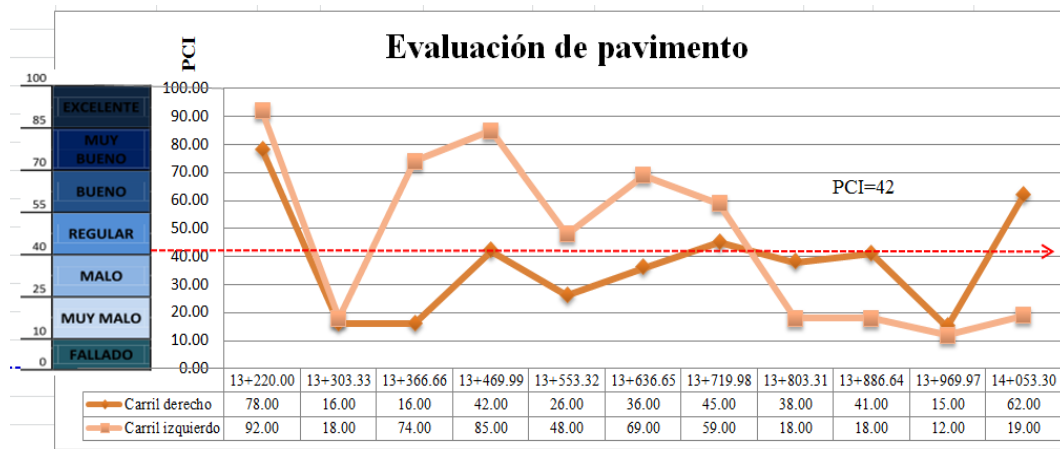


Fig. 5.6 Grafica de deterioro del camino, (elaboración propia, 2014)

Las fallas que menos han afectado al pavimento de la carretera en estudio, es el desprendimiento de agregados y huellas. Son áreas pequeñas comparadas con el resto de las fallas observadas. Lo anterior se representa gráficamente en la fig. 5.7.

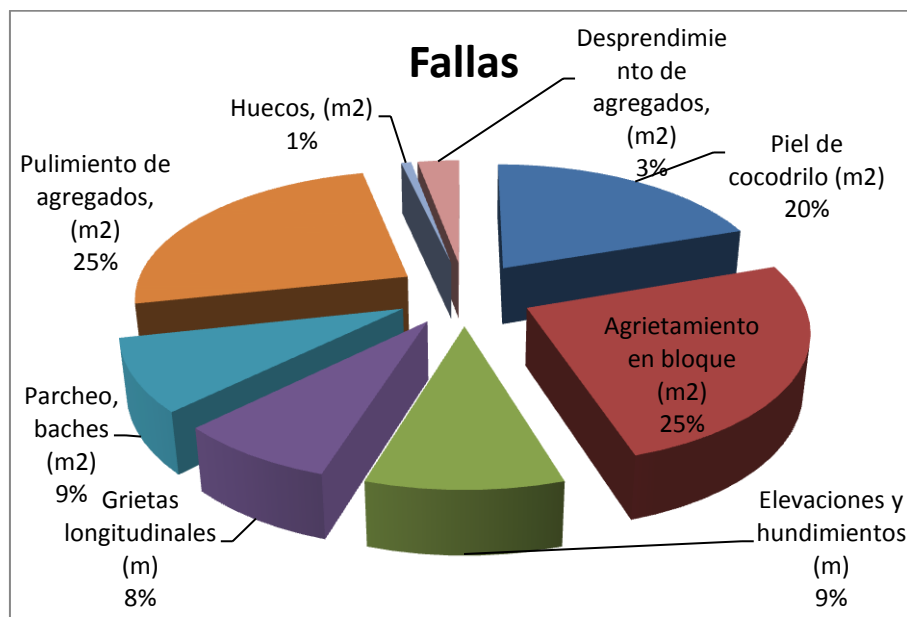


Fig. 5.7 Grafica de deterioro del camino. (Elaboración propia, 2014).

5.4 Resultados obtenidos

El comportamiento de un pavimento muestra distintas relaciones de deterioro-tiempo de acuerdo a los factores involucrados en el mecanismo de deterioro, esto está reflejado en la curva de deterioro de la fig. 5.8.

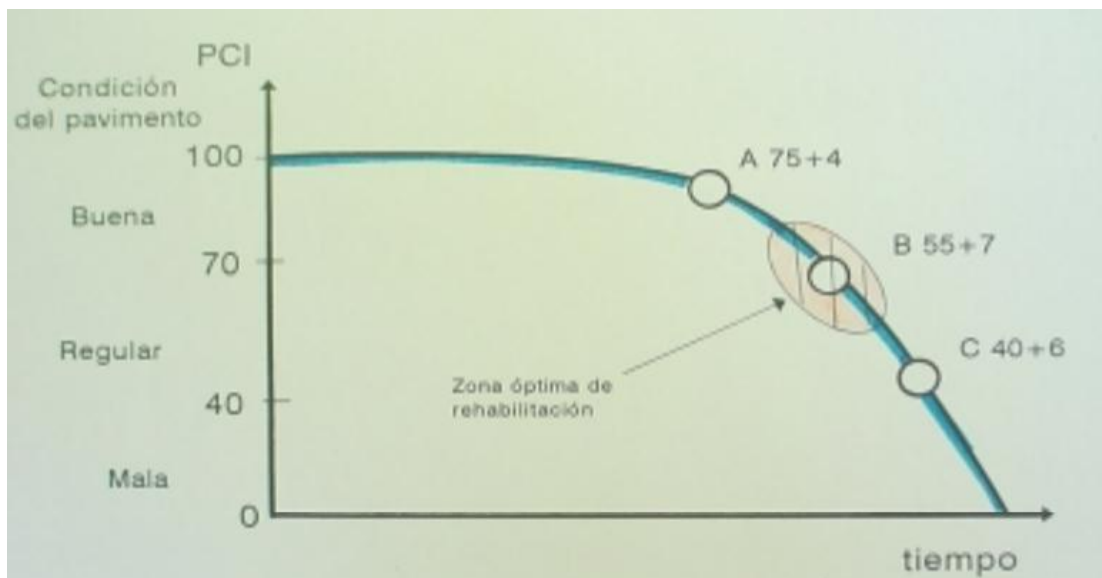


Fig. 5.8 Curva de deterioro de un pavimento, zona óptima de rehabilitación. (Jugo, 2002).

Donde nos indica que el Punto B comienza a crecer rápidamente el deterioro, puede requerirse algún tipo de acción mayor. Este punto está dentro de la zona denominada "óptima de rehabilitación", en la que inversiones relativamente pequeñas producen grandes beneficios. La estructura del pavimento y su calidad de rodaje no se han deteriorado severamente, el pavimento aún conserva buena parte de su resistencia original, y una adecuada acción de rehabilitación mejorará considerablemente su condición y estructura, (Jugo, 2014).







ZONA DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACION	PCI		ESCALA
Menor	100		Excelente
	85		Muy bueno
Menor (Rutinario) Mayor (efectivo)	70		Bueno
	55		Regular
Mayor (correctivo)	40		Pobre
Mayor (correctivo) Reconstrucción	25		Muy pobre
	10		Malo

Fig. 5.8 Esquema de mantenimiento y rehabilitación, (Jugo, 2002).

El esquema de mantenimiento y rehabilitación nos indica que el estado de la carretera “Pachuca-Portezuelo-Palmillas” corresponde a un mantenimiento menor, consistiría en aplicar acciones que se ejecutan para proteger el pavimento y corregir fallas, es decir, dicha carretera económicamente se encuentra en el momento óptimo para rehabilitarse.

Para este proyecto se sugiere se realice un mantenimiento de carácter menor, generalmente las fallas de bloque son originadas por la contracción del concreto asfáltico y los cambios de temperatura. Mientras que la falla de piel de cocodrilo es causada por fatiga de la capa de rodadura asfáltica, bajo la acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento longitudinal se inicia en el fondo de la capa asfáltica, donde los esfuerzos y deformaciones de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Las grietas longitudinales dejan de serlo para convertirse en fallas de piel de cocodrilo.

Para proteger la estructura del pavimento en estudio, se propone realizar una rehabilitación. Dicha rehabilitación consiste en aplicar la renivelación local con mezcla asfáltica. Se aplicara de acuerdo a lo establecido la normativa N.CSV-CAR-3-02-001/10 de SCT.

La zonas con imperfecciones permanentes y en los tramos con baches mayores a 5 cm de profundidad, se propone realizar bacheos (bacheo superficial o profundo) como lo establece la normativa N.CSV-CAR-2-02-003/00 y N.CSV-CAR-2-02-004/03 de la SCT. El caso de los baches que estén fallando por la estructura de la terracería, el laboratorio analizará la estructura del pavimento y propondrá como trabajar los materiales, para que la estructura de la terracería no vuelva a fallar a temprana edad.

La renivelación local se realiza sobre la superficie para eliminar las imperfecciones permanentes, con el propósito de establecer las características geométricas de la vía y del drenaje superficial. Para este punto no debe existir insuficiencia estructural del pavimento mayor a 5 cm porque no funcionaria. Si este llega a ser mayor aplicar el método de bacheo.

Para iniciar el trabajo sobre la superficie de la carpeta asfáltica:

1. Delimitar con pintura las áreas por reparar, identificadas en el levantamiento de daños (Ver Anexo D).
2. En las secciones que necesitan de renivelación local
 - ✚ Abrir una caja perimetral con una profundidad no mayor a 5 cm.
 - ✚ Picarse el área a corregir para que esta capa se adhiera a la nueva.
 - ✚ Barrer correctamente.
 - ✚ Colocar riego asfáltico sobre la superficie a tratar.

- ✚ Extender la mezcla a mano o con la ayuda de equipos de construcción (minicargadores, motoniveladoras, etc., según el caso). La mezcla asfáltica se elaborará en caliente o en frío, rango de veinte (20) a doscientos diez (210) grados Celsius.
- ✚ La mezcla es compactada, empleando equipos de rodillo liso o aplanadora, hasta obtener una compactación adecuada (95%).

3. Para secciones con bacheo profundo

- Recortar en líneas rectangulares con profundidad de acuerdo al bache.
- La remoción de bases, subbases o material de subrasante, se hará cuando no se encuentre una superficie de apoyo sólida. Los casos más comunes son: exceso de humedad, falta de compactación, contaminación y/o materiales de pobre calidad, entonces hay que limpiar, reemplazar el material (base, subbase o subrasante) y compactarla adecuadamente.
- Impregnar con producto asfáltico, el fondo y las paredes de la excavación.
- Dejar secar el asfalto hasta que este pegajoso
- Rellenar con mezcla asfáltica y compacta en capas no mayores a 7 cm de espesor.

Se propuso estas posibles soluciones al problema, lo importante es que la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, realice la rehabilitación a través de concursos para que una constructora lo pueda realizar antes de que el deterioro y el costo económico aumenten.

Se recomienda realizar la rehabilitación de la carretera “Pachuca-Portezuelo-Pachuca” antes de que el deterioro sea mayor y los costos de conservación incrementen.

Conclusiones

- ✚ Los deterioros se inician en los puntos débiles o deficientes de alguna de las partes fundamentales de la estructura, causados por el tránsito, las lluvias, por irregularidades y/o escases de los espesores de las capas estructurales, o bien, por la mala calidad de los materiales que constituyen a la estructura del pavimento y las condiciones ambientales.
- ✚ El *Índice de Condición del Pavimento* (PCI) es un método sencillo y que aplicado adecuadamente resulta de gran utilidad, ya que, permite estimar según el valor del PCI, el estado real del pavimento y las posibles técnicas de conservación, mantenimiento y/o rehabilitación a emplear.
- ✚ Los proyectos de rehabilitación consisten en la reconstrucción total o parcial de las vías existentes, por las condiciones de la superficie de rodamiento o la estructura del pavimento. La rehabilitación se puede dar mediante la reposición de material, construcción de drenajes, obras de protección, reparación y/o sustitución de dichos elementos de dicha estructura.

Lo observado en la carretera “Pachuca-Portezuelo-Palmillas” se concluye:

- ✚ En la sección 1 que corresponde al carril derecho, se determina el valor promedio de PCI igual a 38, considerado el pavimento con una condición mala de acuerdo a la fig. 3.2 (Calificación para Evaluación de Pavimentos Flexibles).

- ✚ En la sección 2 correspondiente al carril del cuerpo izquierdo tiene un PCI igual a 47, de acuerdo a la fig. 3.2 (Calificación para Evaluación de Pavimentos Flexibles) el subtramo se encuentra en una situación regular.
- ✚ Derivado de lo anterior, con base a los resultados obtenidos y criterios del método PCI, se propone una rehabilitación menor, sugiriendo la renivelación local y bacheo.

Referencias bibliográficas

- Figuroa Infante , A. S., Flórez Valero, C. F., León Neira, M. P., Muñoz Díaz, E. E., Ojeda Moncayo, B. J., Reyes Lizcano, F. A., y otros. (2 de Noviembre de 2014). Manual para el mantenimiento de la Red Vial Secundaria (Pavimentada y en Afirmado). *Ministerio del transporte*.
- Alarcon Ibarra, J. (2014). *Firmes Asfálticos Composición, Deterioro y Rehabilitación* . (Bitstream, Ed.) Recuperado el 26 de Septiembre de 2014, de <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5906/09CAPITULO2.pdf;jsessionid=DE072B337D5E4DC4552314642B193381.tdx2?sequence=9>
- Angeles García, O. A. (2012). *Plan Municipal de desarrollo Alfajayucan 2012-2014*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2014, de <http://alfajayucan.hidalgo.gob.mx/PLANDALFA.pdf>
- Castillo. (2009). *Tipos de evaluacion de un pavimento Rigido*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2009/castillo_ra/pdf/castillo_ra-TH.2.pdf
- Corros, M., Urbáez, E., & Corredor, G. (Mayo de 2009). *Evaluacion de Pavimentos*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de Manual de evaluacion de Pavimentos: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-evaluacion1.pdf>
- Dalimier, M., Saade, J. L., & Fernandez Luco, L. (2014). *Procedimiento Constructivo, Control de Calidad y Evaluacion Preliminar de su Desempeño*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2014, de Recubrimientos ultradelgados: <http://www.icpa.org.ar/publico/files/utilizacion%20UTWFT%20DEF.pdf>
- Gamboa Chicchón, K. P. (10 de Diciembre de 2009). *Indice de Condicion de Pavimento (PCI)*. Recuperado el 4 de Diciembre de 2014, de Cálculo de Índice de Condición en el Pavimento Flexible en la Av. Las palmeras de Piura: http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1351/ICI_181.pdf?sequence=1
- Iberoamerica, C. d. (2002). *Catalogo de deterioros de pavimentos flexibles*. (S. d. México, Ed.) Recuperado el 10 de Noviembre de 2014, de Slideshare:

<http://es.slideshare.net/hender1/catalogo-de-deterioro-de-los-pavimentos-flexibles>

- ICPA. (2014). *icpa.org*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de <http://www.icpa.org.ar/publico/files/pavadoq.pdf>
- IMT. (1991). *Catalogo de deterioros en pavimentos Flexibles de carreteras Mexicanas*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2014, de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt21.pdf>
- Jimenez Savedra, E. (4 de Junio de 2014). *Fallas en pavimentos segun su tipologia*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2014, de Pavimentos flexibles, rigidos y articulados: <http://es.scribd.com/doc/228172022/Fallas-en-Pavimentos-Edgar-Jimenez-Saavedra>
- Jugo B., A. (2005). *Manual de Mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles*. Recuperado el 2014 de Noviembre de 28, de http://vialidad21.galeon.com/manual_mrvial.pdf
- Leal, K., Gonzalez, E., & Ramirez, L. (29 de Junio de 2013). *Prezi*. (A. Piñango, Productor) Recuperado el 6 de Noviembre de 2014, de Deformaciones en Pavimentos Flexibles: https://prezi.com/8aezifwvxk2a/deformaciones-en-pavimentos-flexibles/#_=_
- Marchan Moreno, R. M. (2005). *Metodos de Rehabilitación en pavimentos*. México ., DF., México: IPN.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingenieria de Pavimentos para Carreteras* (Segunda reimpression ed.). Bogota, Colombia: Universidad Catolica de Colombia ediciones y publicaciones.
- NIT-SCT. (2000). Pavimentos. En S. d. Transportes, *CSV. Conservacion* (Vol. 2, pág. 7). Mexico, Mexico.
- NIT-SCT. (2003). Pavimentos. En S. d. Transportes, *Pavimentos* (Vol. 3, pág. 23). Mexico, Mexico: SCT.
- NIT-SCT. (2006). Pavimentos. En S. d. Transportes, *Construcción* (Vol. 4, pág. 37). Mexico: SCT.
- NIT-SCT. (2011). Terraceria. En S. d. Transportes, *Construcción* (Vol. 1, pág. 11). Mexico: SCT.

- NIT-SCT. (2011). Terracerias. En S. d. Transportes, *Construcción* (Vol. 1, pág. 14). México: SCT.
- NIT-SCT. (2013). Pavimentos. En S. d. Transportes, *Conservacion* (Vol. 2, pág. 13). Mexico: SCT.
- NIT-SCT. (2013). Pavimentos. En S. d. Transportes, *Conservacion* (Vol. 2, pág. 16). Mexico: SCT.
- Osuna Ruiz, R. E. (2008). *Ptolomeo unam*. Recuperado el 3 de Noviembre de 2014, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2547/osunaruiz.pdf?sequence=1>
- Pita Perez, J. D. (27 de Septiembre de 2011). "*Procedimiento constructivo de los Pavimentos Flexibles en la carretera: la Ventosa-Arriaga tramo: paso por Niltepec; subramo: del km: 716 + 000 al km:720 + 220; en el Estado de Oaxaca*". Recuperado el 5 de Noviembre de 2014, de Pavimentos Flexibles: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30364/1/PitaPerez.pdf>
- Roque, J. (5 de Noviembre de 2014). Vialidad. *Pavimento Flexible*. Mexico.
- Rubio Vazquez, R. H. (2012). *Conceptos generales*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/444/A4.pdf?sequence=4>
- Salomon , D. (2014). *Conservacion de Pavimentos: Metodología y Estrategias*. Boise, USA: Pavement Preservation Systems, L.L.C.
- Sanchez. (2014). *Capitulo 2*. Recuperado el 4 de Noviembre de 2014, de Pavimentos Flexibles: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/sanchez_r_se/capitulo2.pdf
- Sanchez Sabogal, F. (2014). Selección de tratamientos y de estrategias de rehabilitación. *Rehabilitacion de pavimentos*, (pág. 130). Mexico.
- SCT. (1977). *Manual de Proyecto Geometrico de Carreteras*. México, México: Secretarias de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.
- SCT. (1984). *Catalogo de Fallas de pavimentos* (Direccion general de Comunicacion Social de la SCT ed.). D.F., Mexico, Mexico: Talleres Litograficos Ingramex.

- Soto Sanchez, J. A. (14 de Diciembre de 2006). *Vida Útil. Necesidad de Rehabilitacion con Soluciones Unnovadoras*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2014, de Vida util del pavimento: http://catedramln.unizar.es/files/cursos/2006-2007/bituminosas/conferencia_Soto.pdf
- USON. (2014). *Fallas en pavimentos Flexibles*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2014, de Capitulo 4: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3024/Capitulo4.pdf>
- Vasquez Varela, L. R. (2002). *Pavement Condition Index (PCI)*. (Ingepav, Ed.) Manizales.
- Zecua Muñoz, M. (1998). *Instituto tecnologico de la construccion*. Recuperado el 7 de Noviembre de 2014, de Conservacion, rehabilitacion y construccion de pavimentos flexibles: http://infonavit.janium.net/janium/TESIS/Licenciatura/Zecua_Munoz_Moises_44638.pdf

ANEXOS

ANEXO A

A. Clasificación de deterioros estructurales

a) Deformaciones

Las deformaciones son cambios repentinos en los perfiles de los pavimentos. Estos cambios tienen a repercutir negativamente en la comodidad de los usuarios.

✚ Elevaciones y Hundimiento: Son áreas localizadas en la superficie del pavimento con niveles ligeramente más bajos que el pavimento a su alrededor. En el pavimento seco las depresiones pueden ubicarse gracias a las manchas causadas por el agua almacenada. Las depresiones son formadas por el asentamiento de la subrasante o por una construcción incorrecta en las capas superiores del pavimento, (IMT, 1991).

Causas, (ídem):

- Uso de ligantes (asfalto) blandos.
- Dosificación de ligante (asfalto en exceso).
- Uso de agregados redondeados.
- Compactación o calidad deficiente de la base.

✚ Ondulación: son una forma de movimiento plástico tipificado por ondas a través de la superficie del pavimento asfáltico. El desplazamiento es un movimiento plástico del que resultan hundimientos y levantamientos, localizados en la superficie del pavimento. Este tipo de deformación ocurre en sitios donde los vehículos frenan durante la bajada, en curvas cerradas y donde los vehículos golpean un resalto y balancean, (Leal, Gonzalez, & Ramirez, 2013).

Causas, (ídem):

- Circulación lenta en pendientes pronunciadas.
- Frenado de vehículos pesados en intersecciones.
- Dosificación de ligante inadecuado.
- Agregados redondeados.
- Ligantes blandos.
- Alta proporción de agregado fino.
- Contaminación con aceite.
- Alto contenido de humedad.

✚ **Corrugación:** Son caídas más bruscas del nivel si aparecen en un patrón perpendicular al flujo del tránsito y están espaciadas a menos de 3 m, el daño se llama corrugación, (Leal, Gonzalez, & Ramirez, 2013).

Se clasifican en:

- Longitudinal
- Transversal

✚ **Huella de rodada:** Puede presentarse el levantamiento del pavimento a lo largo de los lados del ahuellamiento, pero en muchos casos, este solo es visible después de la lluvia, cuando las huellas este llenas de agua. El ahullamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o de la subrasante, (Leal, Gonzalez, & Ramirez, 2013).

Causas, (ídem):

- Por consolidación o por movimientos laterales producidos por el tránsito de una o más capas inferiores.
- Por desplazamiento de la misma capa asfáltica de rodamiento superficial.

- En pavimentos de muy poca o escasa compactación, durante la construcción.
 - Por efectos de movimientos plásticos en una mezcla con diferente estabilidad capaz de soportar el tráfico.
- ✚ Roderas: Asentamiento o deformación permanente de la carpeta asfáltica en el sentido longitudinal debajo de las huellas o rodadas de los vehículos, (IMT, 1991) .

Pueden ser:

- Surco de gran radio
- Surco de pequeño radio

Causas, (ídem):

- Baja estabilidad de la carpeta.
- Carpeta mal compactada.
- Consolidación de una o varias de las carpetas subyacentes.

b) Agrietamientos

Son varios tipos de grietas que se presentan en la carpeta asfáltica, siendo algunos de estas, etapas tempranas de posteriores fallas que requieren de soluciones más costosas, si no se realizan las reparaciones a tiempo, dentro de las grietas más comunes tenemos, (Zecua Muñoz, 1998).

✚ Agrietamientos

Longitudinales: áreas de pavimentos localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño, en el sentido longitudinal al eje del camino, en especial en los extremos laterales de la superficie de rodamiento, (IMT, 1991).

Causas, (IMT, 1991):

- Deformación diferencial vertical del suelo de cimentación o de las capas que forman la estructura del pavimento.
- Peso propio de la sección del pavimento.
- Cargas excesivas o superiores a las de diseño.
- Cambios volumétricos del cuerpo de terraplén
- Compactación inadecuada.
- Asentamientos diferenciales longitudinales.
- Procedimientos de construcción inadecuados.
- Drenaje o sub-drenaje deficientes.
- Contaminación de capas inferiores.
- Desplome de cavidades subterráneas.
- Canalización del tránsito.

Se clasifican en:

- Longitudinal por el eje: Fisura o grieta paralela al eje del camino o en muchos casos sobre el eje del camino, (IMT, 1991).

Causas, (ídem):

- Deficiencias en la junta de construcción longitudinal.
- Reflejo de grietas en capas por el tránsito.
- Asentamientos de capas por el tránsito.
- Espesor insuficiente.

- Construcción de materiales de la capa de rodamiento.
 - Asentamientos aislados de capas interiores.
 - Drenaje insuficiente.
- Longitudinal por la orilla: Consisten en la aparición de grietas longitudinales de no gran abertura (en el orden de 0.5 cm) en toda el área que corresponde a la de circulación de las cargas más pesadas, (Pita Perez, 2011).

Causas, (IMT, 1991):

- Movimiento diferencial en ampliaciones de corona.
- Cambios volumétricos diferenciales entre el hombro del terraplén y la parte central del mismo.
- Rotura de equilibrio hidráulico.
- Degeneración por fallas de talud.
- Empuje hidrostático de agua almacenada.
- Influencia de la compactación (nula/poca/excesiva).
- Susceptibilidad suelos finos al agrietamiento.
- Uso de materiales finos muy plásticos.
- Acción capilar intensa.
- Acción solar fuerte.
- Alternación, periódico seco-lluvia.

Transversal: Áreas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño, en el sentido transversal al eje del camino, (IMT, 1991).

Causas, (ídem):

- Deformación diferencial vertical del suelo de cimentación o de las capas que forman la estructura del pavimento.
- Peso propio de la sección del pavimento.
- Suelos o cimentaciones resilientes.
- Cargas excesivas o superiores a la de diseño.

- Cambios volumétricos del cuerpo del terraplén.
- Compactación inadecuada.
- Asentamientos diferenciales transversales.
- Procedimientos de construcción inadecuados.
- Drenaje o sub-drenaje deficientes.
- Contaminación de capas inferiores.
- Desplome de cavidades subterráneas.

✚ Piel de cocodrilo de retícula chica: Agrietamiento en forma de cuadrícula que se produce en las capas superficiales, (SCT, 1984).

Causas:

- Vejez del pavimento e insuficiente espesor de la carpeta asfáltica (3 cm), (ídem).

✚ Piel de cocodrilo de retícula grande: agrietamiento en forma de cuadrícula que se produce en las capas superficiales, (ídem).

Causas:

- Fatiga de las capas del pavimento, (ídem).

✚ Agrietamiento en forma de dientes de sierra: agrietamiento en desorden de la carpeta asfáltica, siguiendo patrones longitudinales en forma errática zig-zag.

Causas, (ídem):

- Acción del hielo.
- Cambios extremos de temperatura.
- Base defectuosa.
- Terraplenes con taludes inestables.

✚ Agrietamiento parabólico: Grietas con forma de parábola o de media luna que se forma en la carpeta asfáltica en la dirección del tránsito, (IMT, 1991).

Causas, (ídem):

- Carpetas de rodamiento débil.
- Zonas de drenaje de las ruedas.
- Mezcla inestable.
- Efecto en el arranque de las ruedas.

✚ Falla de bloque: Consiste en una serie de fisuras que se derivan de una principal, pero no se cierran para formar polígonos. Difiere de la piel de cocodrilo en que no forma una malla cerrada, (Figuroa Infante , y otros, 2014).

Causas (ídem):

- Uso de ligantes asfálticos muy duros.
- Reflejo de fisuras en bases estabilizadas.

ANEXO B

B. Clasificación de deterioros Superficiales

a) Desprendimientos

✚ Desgranamiento o pérdida de agregados: Desprendimiento de la gravilla de la carpeta asfáltica construida con emulsión, (SCT, 1984).

Causa:

- Haberse abierto el tramo a la circulación poco tiempo después de terminados trabajos, provocando el desprendimiento de la gravilla mal adherida a la emulsión asfáltica, (ídem).

✚ Escarapelado o descascamiento: Desprendimiento de la película de asfalto que envuelve el material pétreo, (SCT, 1984).

Causa:

- Ataque al asfalto por arcilla. Mala adherencia del pétreo con el asfalto, (ídem).

✚ Bache: Oquedades de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento o desintegración inicial. Desprendimiento inicial de los agregados que al paso de los vehículos van formando oquedades, (IMT, 1991).

Causas, (ídem):

- Falta de resistencia de la carpeta.
- Escasez de contenido de asfalto.
- Espesor deficiente.
- Drenaje deficiente.
- Desintegración localizada por tránsito.
- Puntos débiles en la superficie.

b) Alisamiento

- ✚ Exudación de asfalto: Presencia de asfalto sin agregados pétreos en la superficie, (Figueroa Infante , y otros, 2014).

Causas, (ídem):

- Exceso de ligante asfáltico en la dosificación.
- Uso de ligante asfáltico muy blando.
- Derrame de solventes.

- ✚ Pavimento liso o pulimiento: Presencia de agregados pétreos que presentan una cara plana en la superficie, generalmente embebidos en el ligante asfáltico, (Figueroa Infante , y otros, 2014).

Causa:

- Uso de agregados pétreos blandos susceptibles al pulimento, como son las calizas.

c) Exposición de agregados

- ✚ Pedida de película ligante: Presencia de agregados parcialmente expuestas fuera del mortero ligante (asfalto) arena.

Causa:

- Uso de agregados pétreos con tamaño inadecuado y distribución granulométrica deficiente en el rango de las arenas.
- Segregación de los agregados pétreos durante su manejo en obra.
- Defecto en la dosificación de ligante asfáltico.

ANEXO C

C. Análisis de tránsito

La medición de volúmenes de tránsito fue realizada por conteo visual.

Síntesis del Estudio Origen-Destino

Estación: Alfajayucan Hidalgo

Carretera: **Pachuca-Portezuelo-Palmillas**

Lugar: **km 13+120**

Origen: **Alfajayucan Hgo.**

Tramo: **km 13+120 al km 14+120**

Fecha: **Estudio Efectuado 17 de Noviembre de 2014**

a) Aforo Vehicular

TIPO DE VEHICULO	CANTIDAD DE VEHICULOS (15 MIN)	CANTIDAD POR HR	%
AP	52	208	45.61%
AC	35	140	30.70%
B2	5	20	4.39%
B3	2	8	1.76%
C2	10	40	8.77%
C3	4	16	3.51%
T3-S3	6	24	5.26%
	114	456	100.00%

b) Ajustes por factores:

HORA	CANT (HR)	FEH	VOL (DIA)	FED	VOL (SEM)	FEM	TDPA
11:00--12:00	456	18.52	8445	5.724	6906	1.365	9427

TIPO DE VEHICULO	%	CANTIDAD TDPA	COMPOSICION DEL TRANSITO	
AP	45.6%	4300	CARGADOS	100%
			VACIOS	0%
AC	30.7%	2894	CARGADOS	100%
			VACIOS	0%
B2	4.4%	413	CARGADOS	100%
			VACIOS	0%
B3	1.8%	165	CARGADOS	100%
			VACIOS	0%
C2	8.8%	827	CARGADOS	50%
			VACIOS	50%
C3	3.5%	331	CARGADOS	75%
			VACIOS	25%
T3-S3	5.3%	496	CARGADOS	67%
			VACIOS	33%
TOTAL	100.0%	9,427.00	ok	100%

c) Analisis de transito

$$TDPA\ c/p = TDPA * (FDT)$$

TDPA=	9,427.00	
FDT=	0.45	
TDPA c/p=	<u>4,242.00</u>	VEHICULOS

# num. De carriles	FACTOR DE DISTRIBUCION DE TRANSITO (FDT)	
2	50%	
4	40%	50%
6	30%	40%

ANEXO D

D. Resultados por unidad de muestra

Resumen de resultados

Muestra	Tramo inicial	Tramo final	Área (m2)	PCI	Descripción	Muestra	Tramo inicial	Tramo final	Área (m2)	PCI	Descripción
<i>CARRIL DERECHO</i>						<i>CARRIL IZQUIERDO</i>					
U1	13+220.00	13+250.00	219	78.00	Muy bueno	U12	13+220.00	13+250.00	219	92.00	Excelente
U2	13+303.33	13+333.33	219	16.00	Muy malo	U13	13+303.33	13+333.33	219	18.00	Muy malo
U3	13+366.66	13+396.66	219	16.00	Muy malo	U14	13+366.66	13+396.66	219	74.00	Muy bueno
U4	13+469.99	13+496.99	219	42.00	Regular	U15	13+469.99	13+496.99	219	85.00	Excelente
U5	13+553.32	13+543.32	219	26.00	Malo	U16	13+553.32	13+543.32	219	48.00	Regular
U6	13+636.65	13+666.65	219	36.00	Malo	U17	13+636.65	13+666.65	219	69.00	Bueno
U7	13+719.98	13+749.98	219	45.00	Regular	U18	13+719.98	13+749.98	219	59.00	Bueno
U8	13+803.31	13+833.31	219	38.00	Malo	U19	13+803.31	13+833.31	219	18.00	Muy malo
U9	13+886.64	13+906.64	219	41.00	Regular	U20	13+886.64	13+906.64	219	18.00	Muy malo
U10	13+969.97	13+999.97	219	15.00	Muy malo	U21	13+969.97	13+999.97	219	12.00	Muy malo
U11	14+053.30	14+083.30	219	62.00	Bueno	U22	14+053.30	14+083.30	219	19.00	Muy malo

	Derecho	Izquierdo
PCI promedio=	37.72	46.54
PCI promedio total=	42.13	

Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
 Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+220
 Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
 Unidad de muestreo:

1

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| No. Tipo de falla | No. Tipo de falla | No. Tipo de falla |
| 1 Piel de cocodrilo (m2). | 8 Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 Exudación (m2). | 9 Desnivel carril/berma, (m). | 15 Ahullamiento, (m2). |
| 3 Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 Desplazamiento, (m2). |
| 4 Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 Parcheo, baches y zanjas separadas (| 17 Grieta parabólica, (m2). |
| 5 Corrugación, (m2). | 12 Pulimiento de agregados, (m2). | 18 Hinchamiento, (m2). |
| 6 Depresión, (m2). | 13 Huecos, (m2). | 19 Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 Grieta de borde, (m). | | |
- CARRIL DERECHO

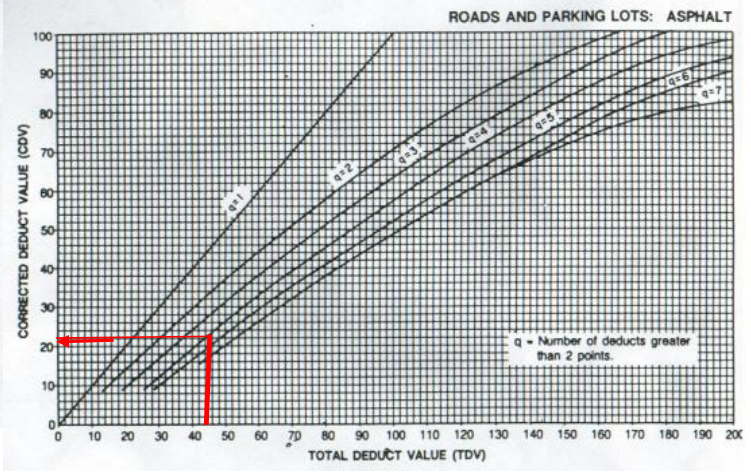
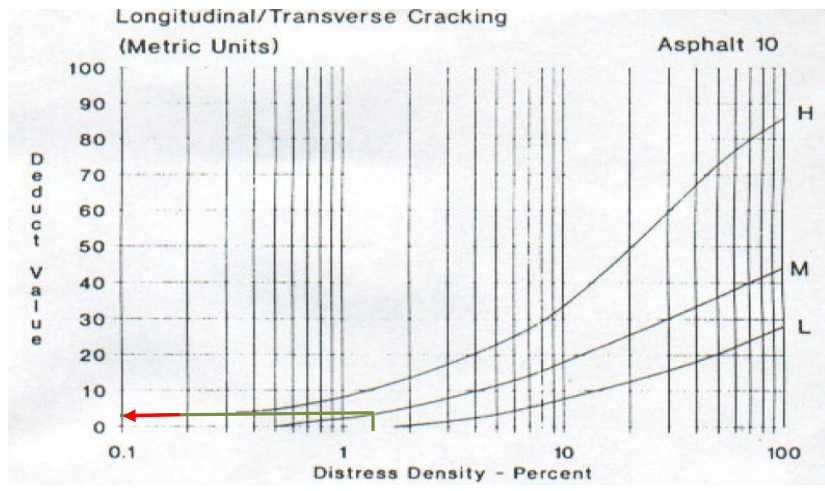
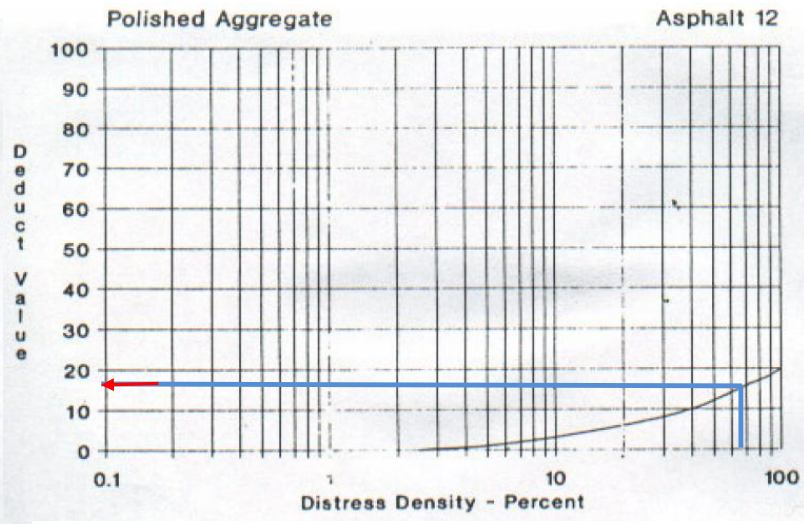
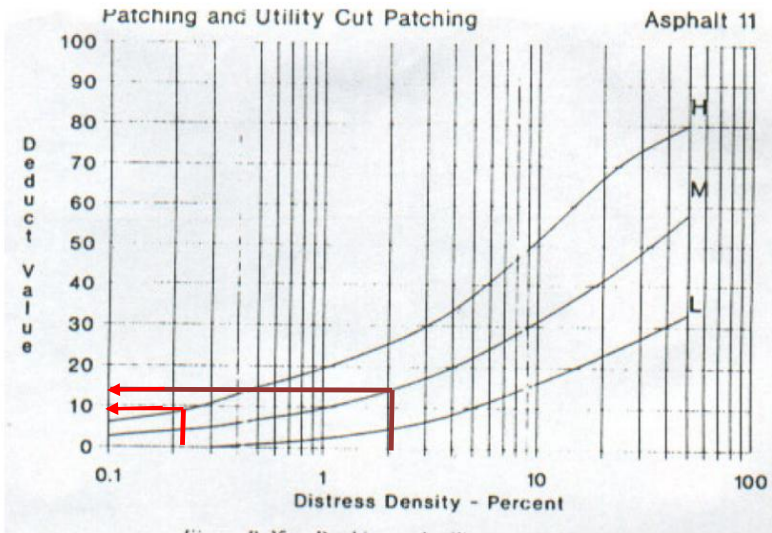
Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
11 (Bache m2)		12 (Pulimiento o m2)		10 (Grieta longitudi			Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
0.5	H	10.5	M	3	M		11 (Bache m2)	2.05%	M	14
4.5	M	140	M				11 (Bache m2)	0.22%	H	9.5
							12 (Pulimiento m2)	68.72%	PCI	18
							10 (Grieta longitudinal m	1.36%	M	2.5
TOTAL	Bajo (L):	0	0	0	0	0				
	Medio (M):	4.5	150.5	3	0	0				
	Alto (H):	0.5	0	0	0	0				

Valor total de deducción (VDT): 44.00
 Valor de reducción corregido (VDC): 22

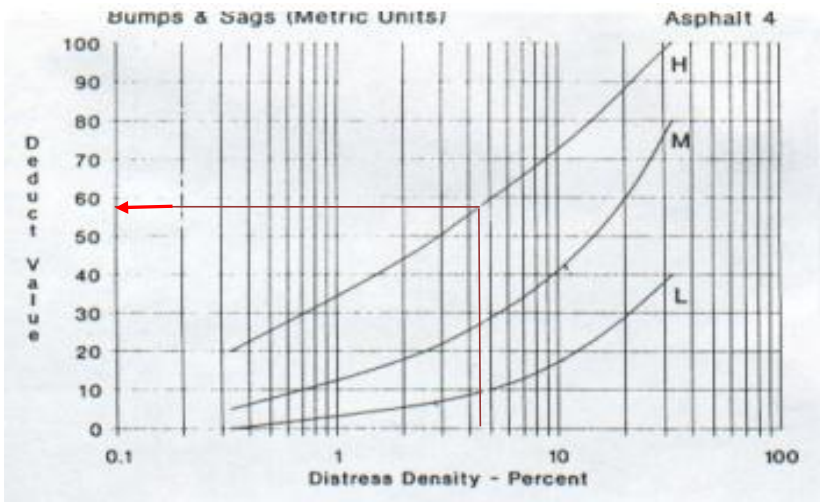
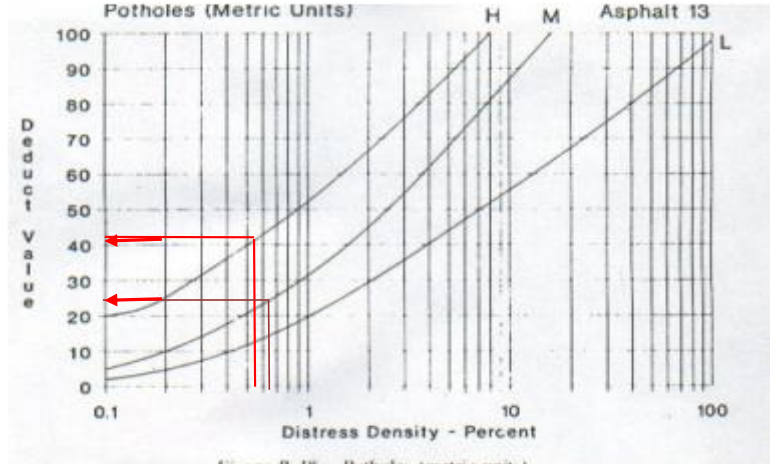
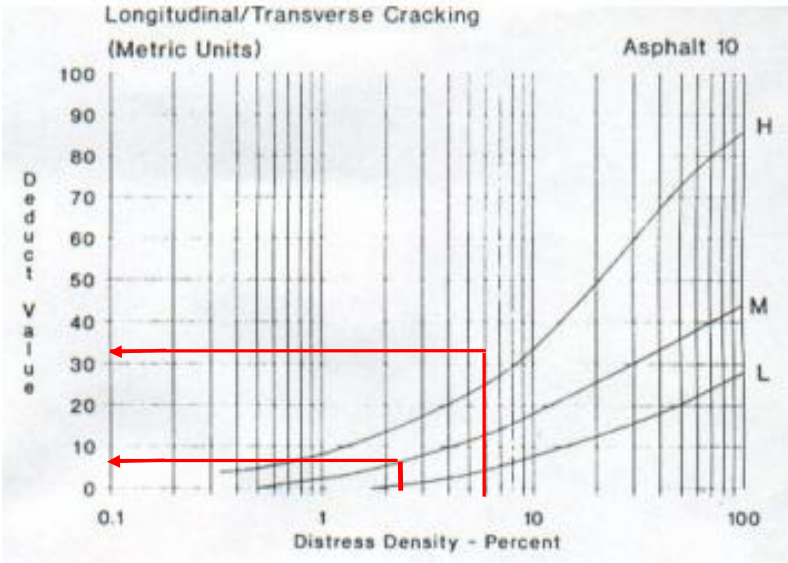
PCI= 100-VDC 78.00

Condición del pavimento: Muy bueno

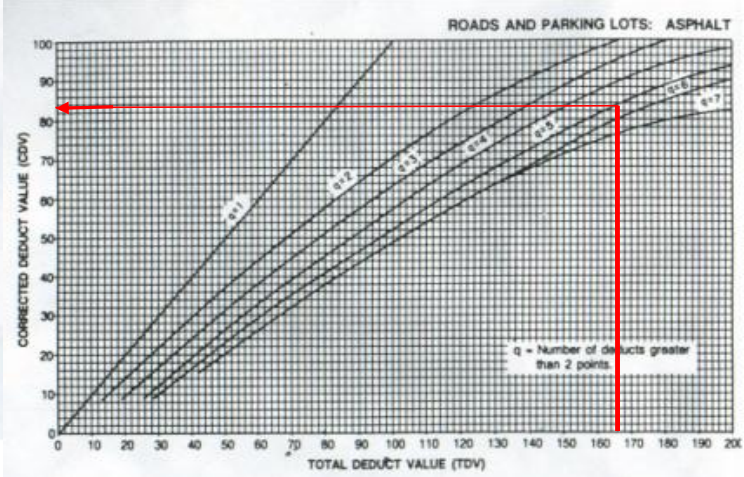




La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por tanto $q=4$.



La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por tanto $q=5$.



Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+366.66
Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
Unidad de muestreo:

3

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| No. Tipo de falla | No. Tipo de falla | No. Tipo de falla |
| 1 Piel de cocodrilo (m2). | 8 Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 Exudación (m2). | 9 Desnivel carril/berma, (m). | 15 Ahullamiento, (m2). |
| 3 Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 Desplazamiento, (m2). |
| 4 Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 Parcheo, baches y zanjas separadas (1 | 17 Grieta parabólica, (m2). |
| 5 Corrugación, (m2). | 12 Pulimiento de agregados, (m2). | 18 Hinchamiento, (m2). |
| 6 Depresión, (m2). | 13 Huecos, (m2). | 19 Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 Grieta de borde, (m). | | |
- CARRIL DERECHO**

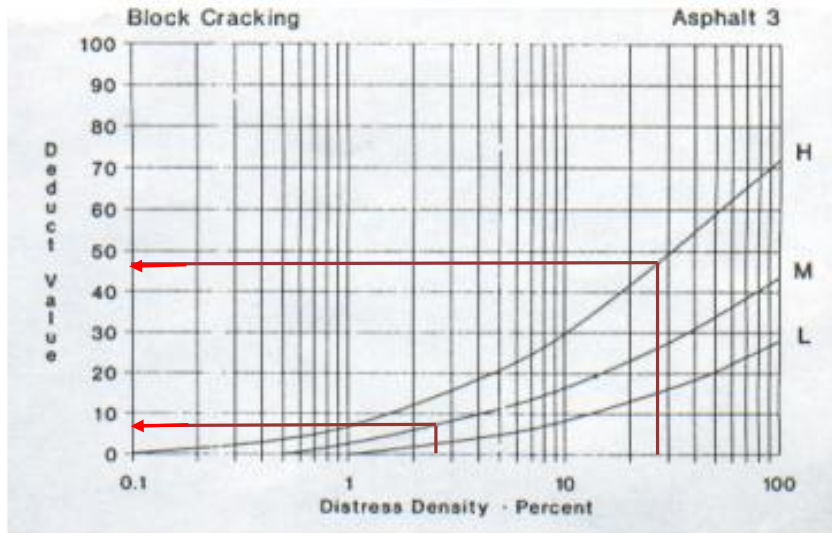
Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
3 (Agrietamiento en bloque m2)							Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
63	H						3 (Agrietamiento en bloqu	2.73%	M	8
6	M						3 (Agrietamiento en bloqu	28.76%	H	48
TOTAL	Bajo (L):	0	0	0	0	0				
	Medio (M):	6	0	0	0	0				
	Alto (H):	63	0	0	0	0				



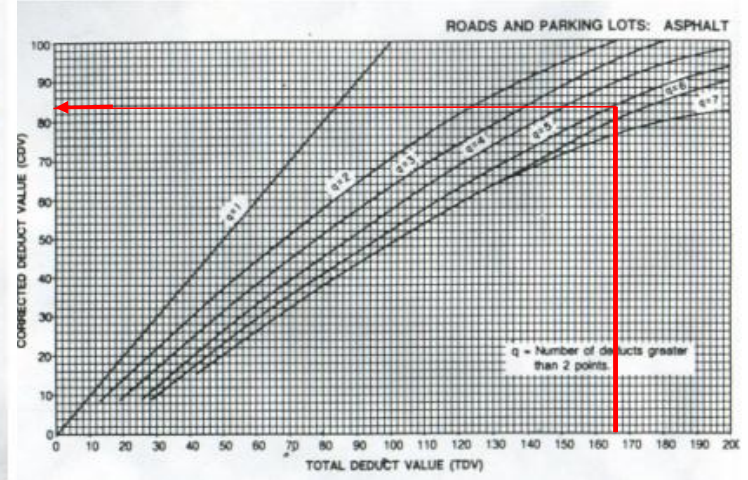
Valor total de deducción (VDT): 56.00
Valor de reducción corregido (VDC): 84

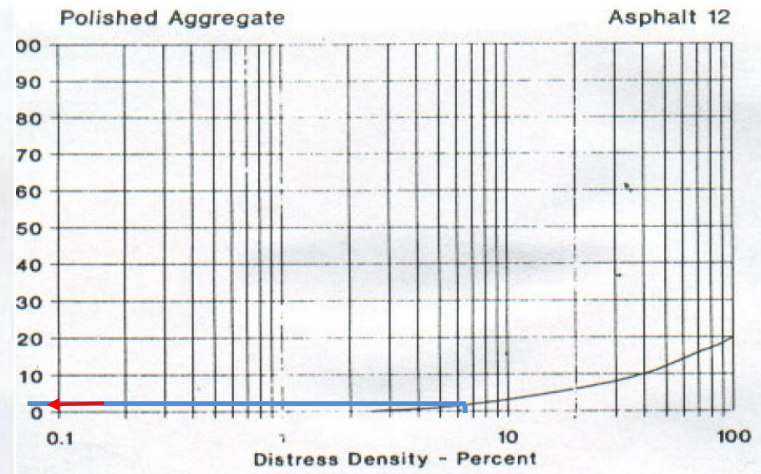
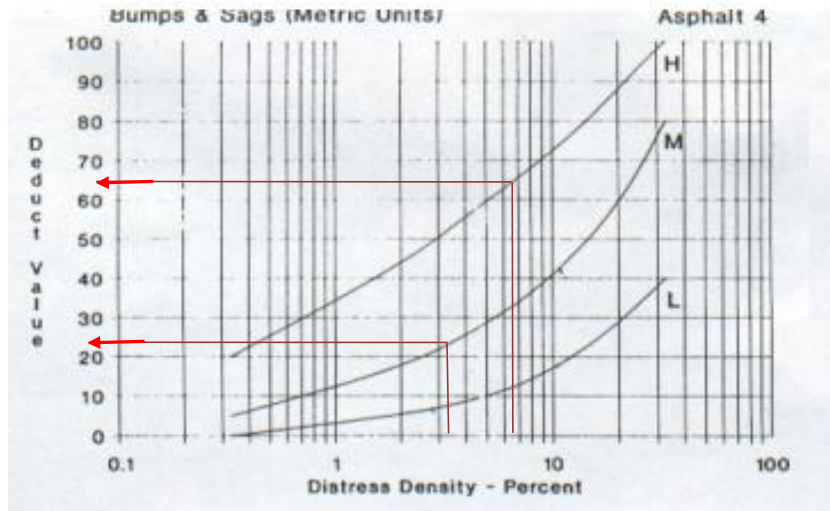
PCI= 100-VDC 16.00

Condición del pavimento: Muy malo

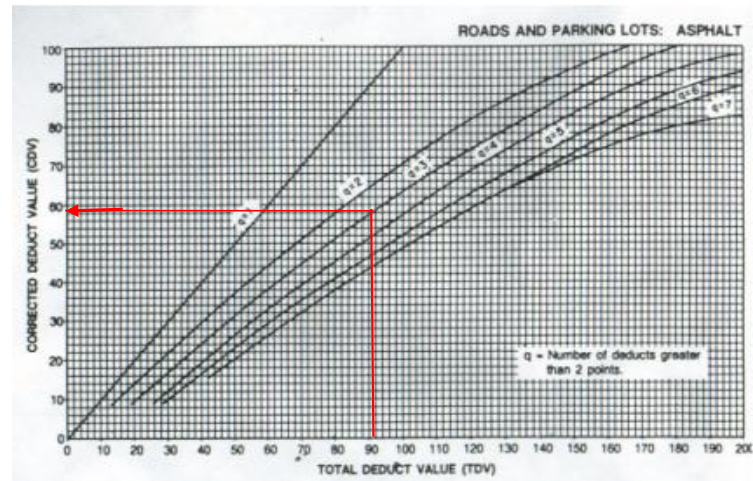


La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=2$.





La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=3$.



Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
 Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+553.32
 Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
 Unidad de muestreo:

5

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| No. Tipo de falla | No. Tipo de falla | No. Tipo de falla |
| 1 Piel de cocodrilo (m2). | 8 Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 Exudación (m2). | 9 Desnivel carril/berma, (m). | 15 Ahullamiento, (m2). |
| 3 Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 Desplazamiento, (m2). |
| 4 Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 Parcheo, baches y zanjas separadas (| 17 Grieta parabólica, (m2). |
| 5 Corrugación, (m2). | 12 Pulimiento de agregados, (m2). | 18 Hinchamiento, (m2). |
| 6 Depresión, (m2). | 13 Huecos, (m2). | 19 Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 Grieta de borde, (m). | | |
- CARRIL DERECHO**

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
4 (Hundimien to, (m))	H						Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
								25		
TOTAL	Bajo (L):	0	0	0	0	0				
	Medio (M):	0	0	0	0	0				
	Alto (H):	25	0	0	0	0				

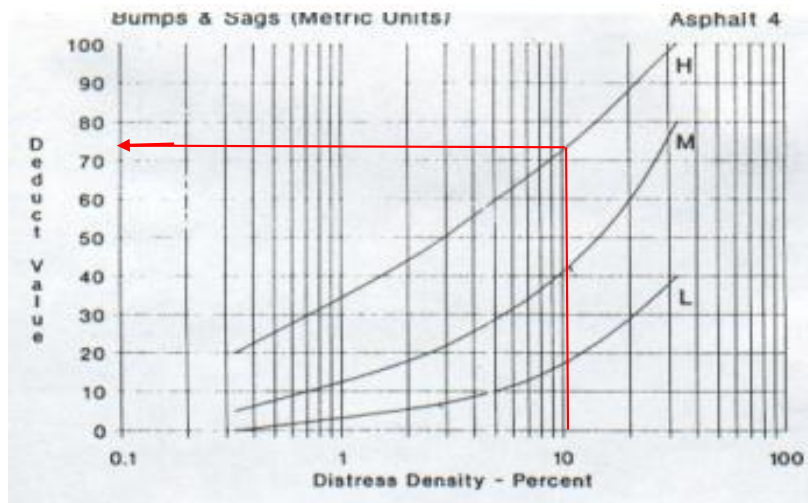
Valor total de deducción (VDT): 74.00
 Valor de reducción corregido (VDC): 74.00

PCI= 100-VDC 26.00

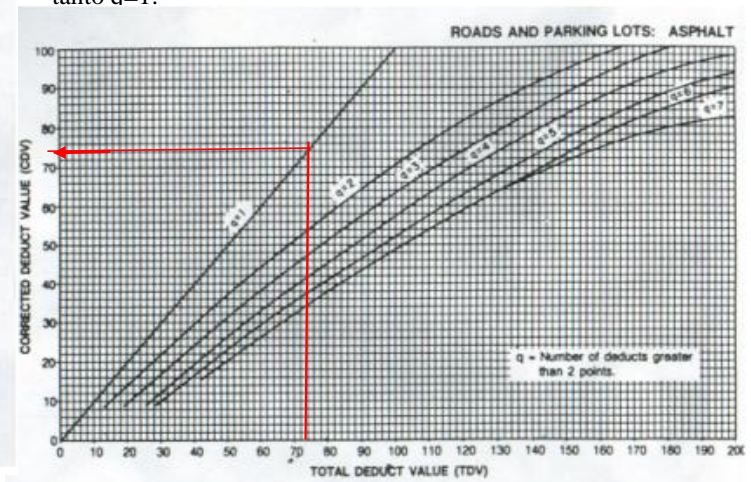
Condición del pavimento: Malo

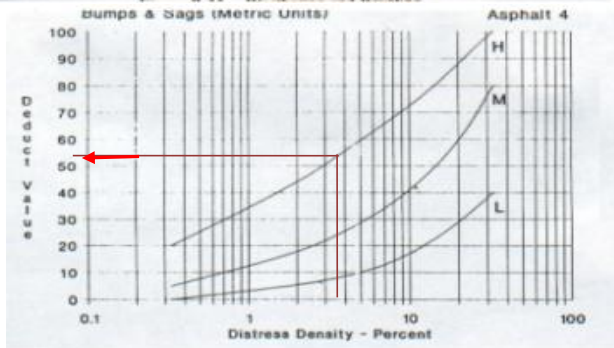
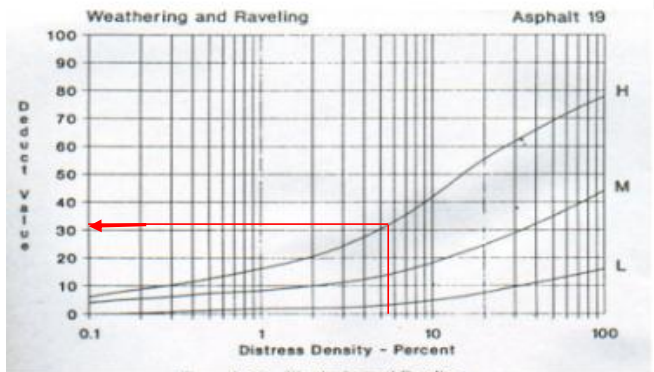
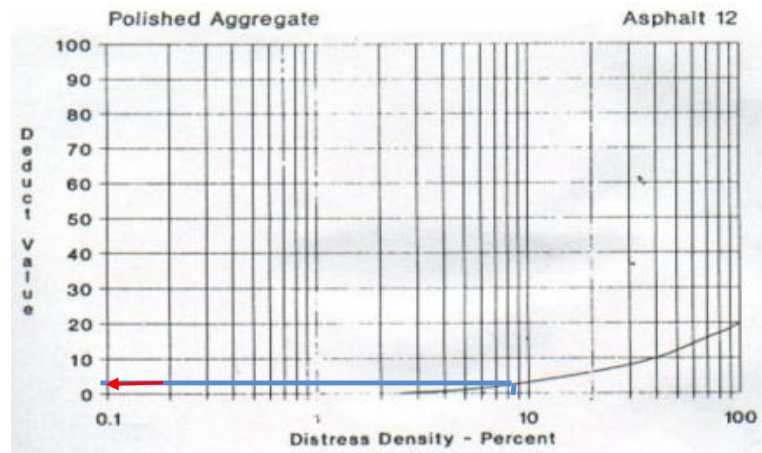
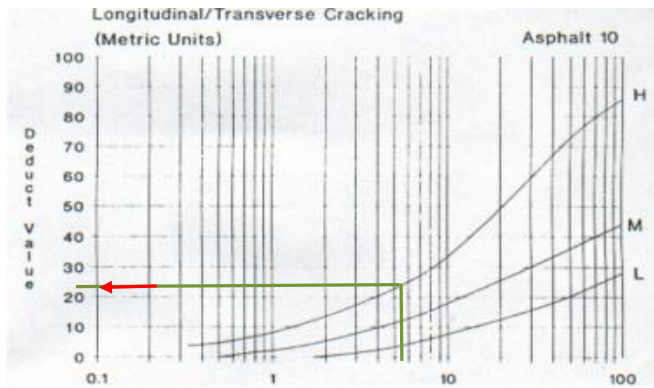
Imagen



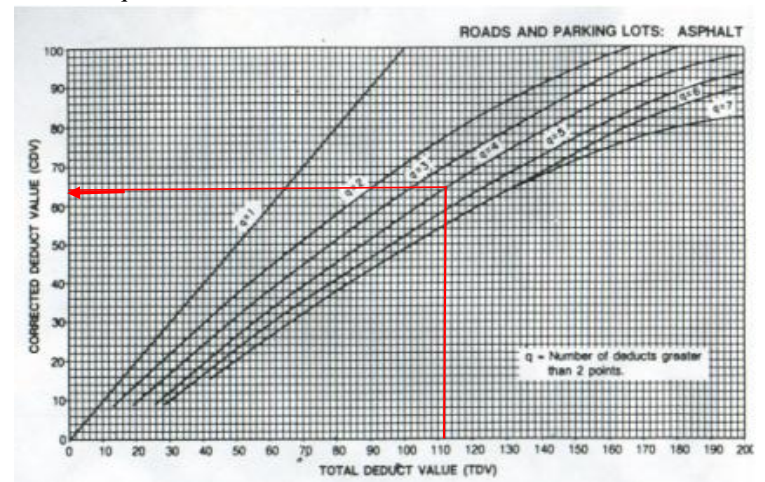


La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=1$.





La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por tanto $q=4$.



Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+719.98
Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
Unidad de muestreo:

7

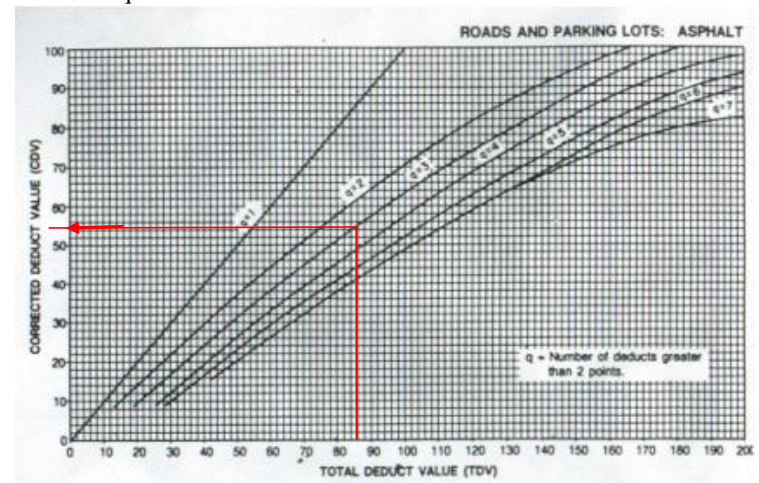
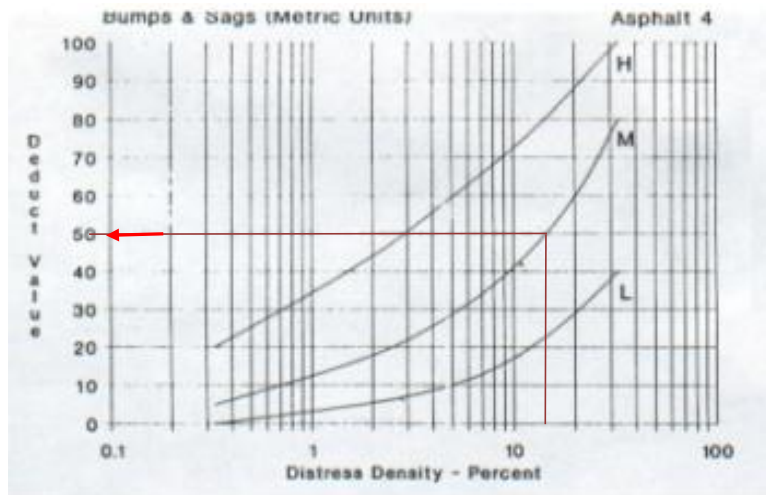
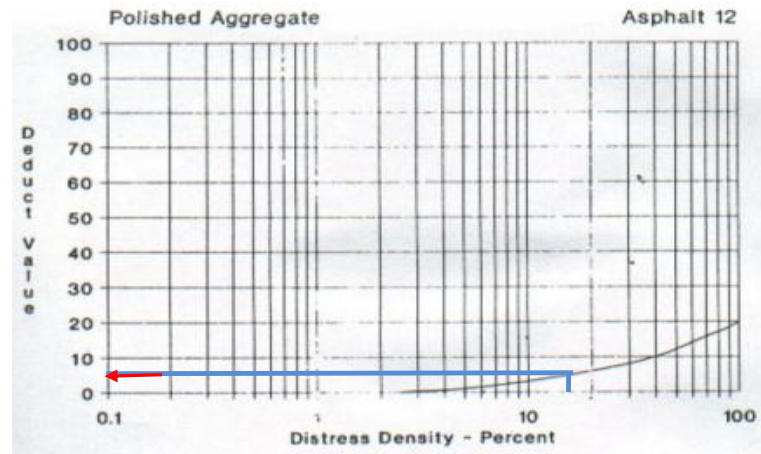
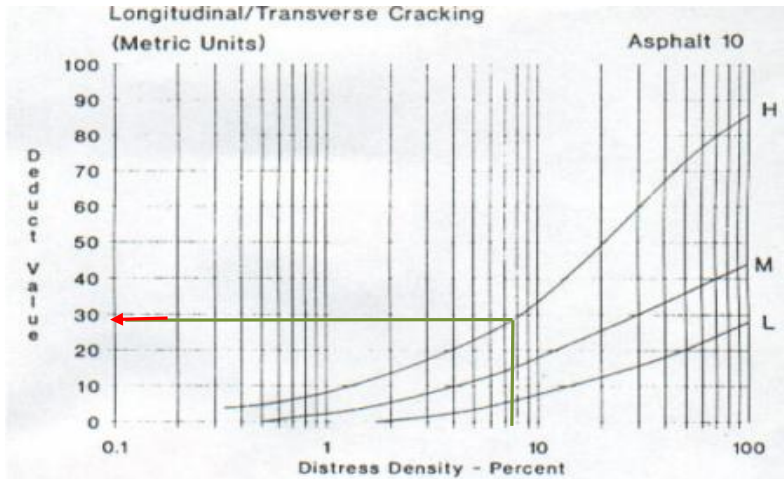
- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| No. Tipo de falla | No. Tipo de falla | No. Tipo de falla |
| 1 Piel de cocodrilo (m2). | 8 Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 Exudación (m2). | 9 Desnivel carril/berma, (m). | 15 Ahullamiento, (m2). |
| 3 Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 Desplazamiento, (m2). |
| 4 Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 Parcheo, baches y zanjas separadas (| 17 Grieta parabólica, (m2). |
| 5 Corrugación, (m2). | 12 Pulimiento de agregados, (m2). | 18 Hinchamiento, (m2). |
| 6 Depresión, (m2). | 13 Huecos, (m2). | 19 Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 Grieta de borde, (m). | | |
- CARRIL DERECHO**

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI				
10 (Grieta longitudinal m)		12 (Pulimiento o m2)		4 (Hundimiento, (m))			Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción	
15.5	H	36	H	35	M		10 (Grieta longitudinal m	7.07%	H	29	
							12 (Pulimiento m2)	16.43%	PCI	7	
							4 (Hundimiento, (m))	15.98%	H	50	
TOTAL	Bajo (L):	0	0	0	0	0					
	Medio (M):	0	0	35	0	0					
	Alto (H):	15.5	36	0	0	0					
										Valor total de deducción (VDT):	86.00
										Valor de reducción corregido (VDC):	55
										PCI= 100-VDC	45.00

Imagen



Condición del pavimento: Regular



La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por tanto $q=3$.

Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
 Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+803.31
 Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
 Unidad de muestreo:

8

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| No. Tipo de falla | No. Tipo de falla | No. Tipo de falla |
| 1 Piel de cocodrilo (m2). | 8 Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 Cruce de vía férrea, (m2). |
| 2 Exudación (m2). | 9 Desnivel carril/berma, (m). | 15 Ahullamiento, (m2). |
| 3 Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 Desplazamiento, (m2). |
| 4 Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 Parcheo, baches y zanjas separadas (| 17 Grieta parabólica, (m2). |
| 5 Corrugación, (m2). | 12 Pulimiento de agregados, (m2). | 18 Hinchamiento, (m2). |
| 6 Depresión, (m2). | 13 Huecos, (m2). | 19 Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 Grieta de borde, (m). | | |
- CARRIL DERECHO**

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
TOTAL		10 (Grieta longitudinal m)	4 (Hundimiento, (m))	11 (Bache, (m2))			Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
	Bajo (L):	0	0	0	0	0				
	Medio (M):	11	0	1	0	0	10 (Grieta longitudinal m	5.02%	M	12
	Alto (H):	7	18	0.6	0	0	10 (Grieta longitudinal m	3.19%	H	19
							4 (Hundimiento, (m))	8.21%	H	69
							11 (Bache, (m2))	0.45%	M	8
							11 (Bache, (m2))	0.27%	H	10

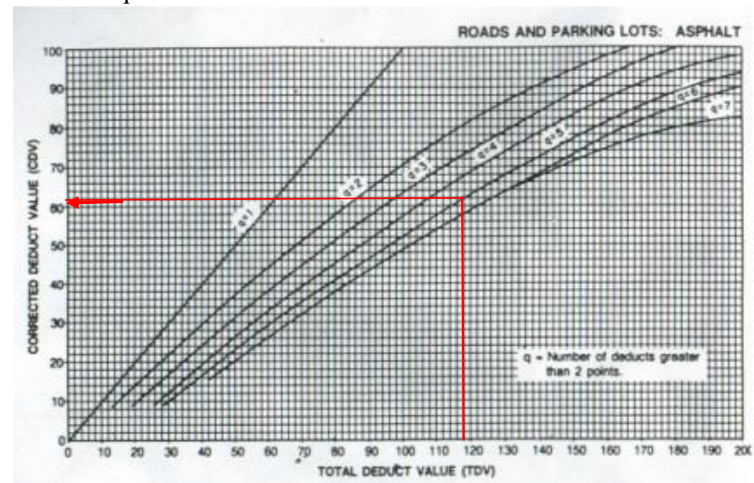
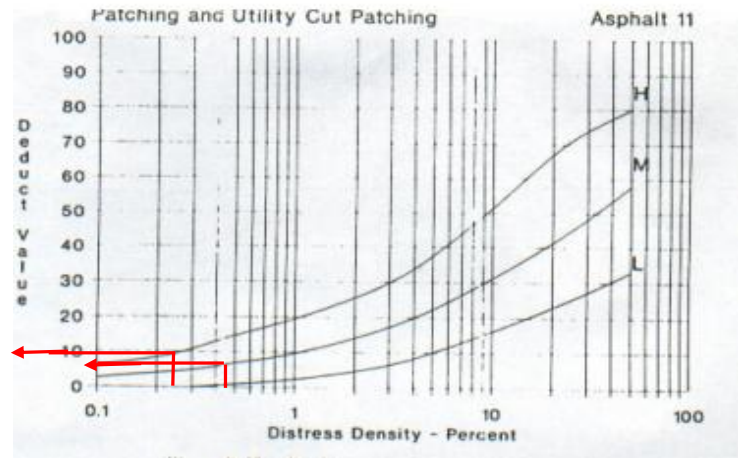
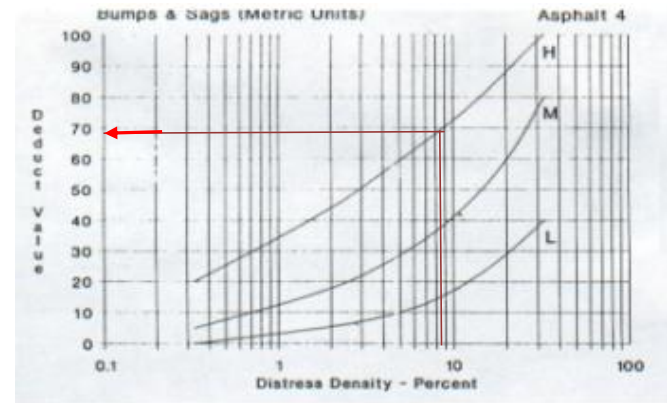
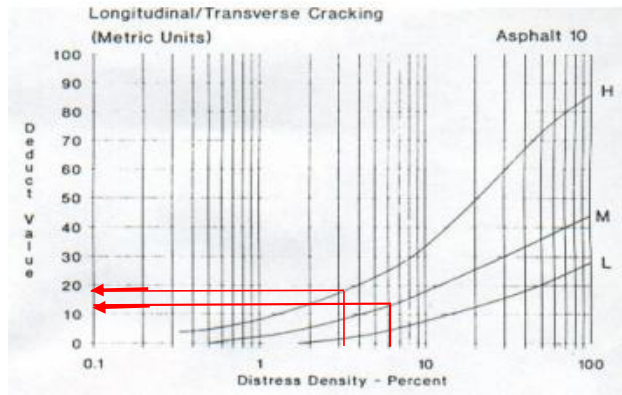
Valor total de deducción (VDT): 118.00
 Valor de reducción corregido (VDC): 62

PCI= 100-VDC 38.00

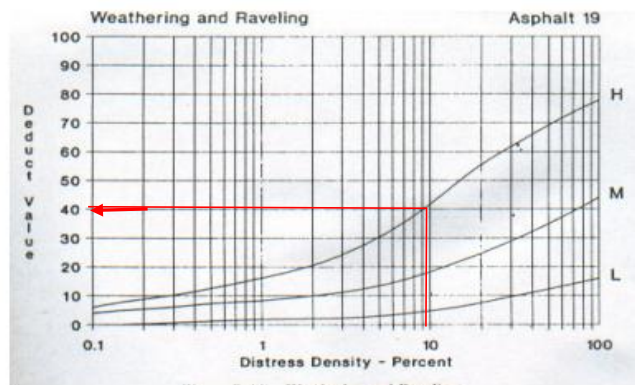
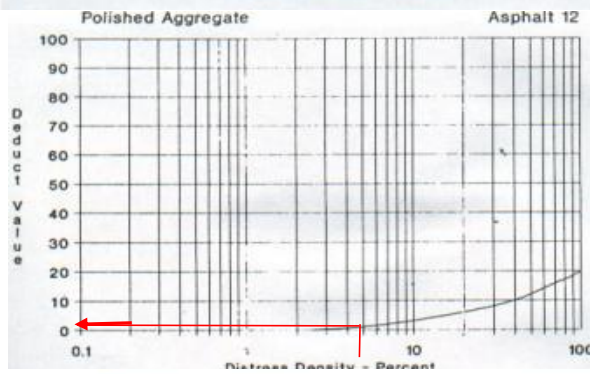
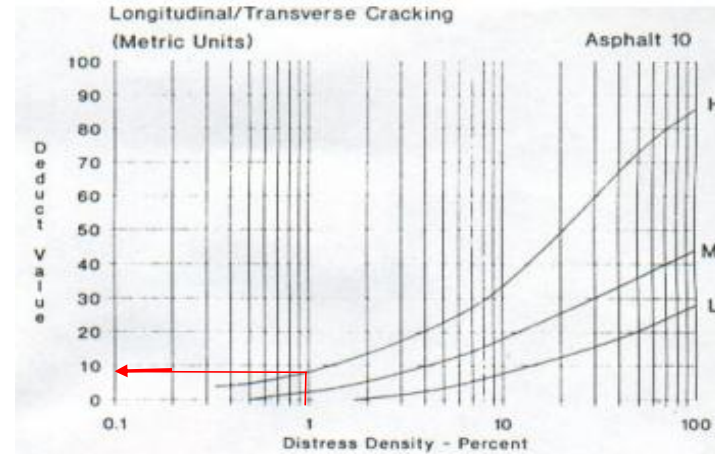
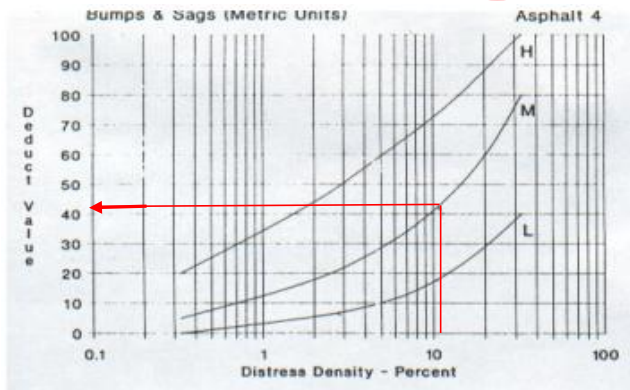
Condición del pavimento: Malo

Imagen

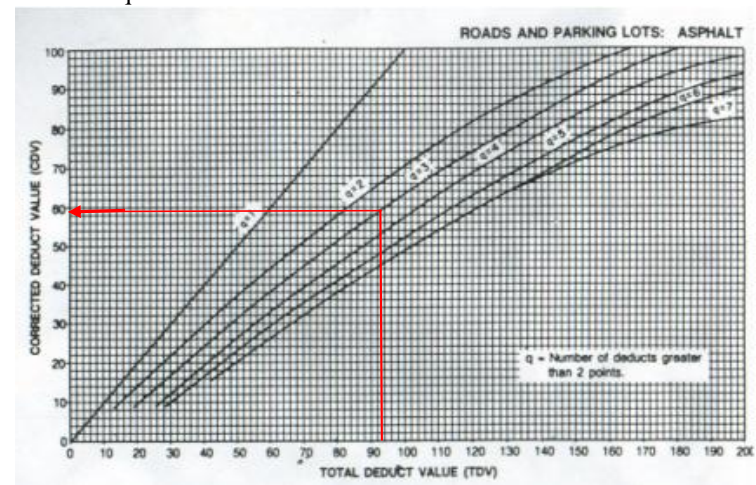




La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por tanto $q=5$.



La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por tanto $q=3$.



Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+969.97
Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
Unidad de muestreo: 10

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| No. Tipo de falla | No. Tipo de falla | No. Tipo de falla |
| 1 Piel de cocodrilo (m2). | 8 Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 Exudación (m2). | 9 Desnivel carril/berma, (m). | 15 Ahullamiento, (m2). |
| 3 Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 Desplazamiento, (m2). |
| 4 Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 Parcheo, baches y zanjas separadas (| 17 Grieta parabólica, (m2). |
| 5 Corrugación, (m2). | 12 Pulimiento de agregados, (m2). | 18 Hinchamiento, (m2). |
| 6 Depresión, (m2). | 13 Huecos, (m2). | 19 Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 Grieta de borde, (m). | | |
- CARRIL DERECHO**

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
	4 (Hundimiento, (m))	10 (Grieta longitudinal m)	11 (Bache, (m2))	12 (Pulimiento m2)	19 (Desprendimiento, (m2)).		Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
		3 H	0.5 H				10 (Grieta longitudinal m)	3.65%	H	20
							11 (Bache, (m2))	0.59%	H	18
							12 (Pulimiento m2)	4.56%	PCI	2
							19 (Desprendimiento, (m)	8.21%	H	38
TOTAL	Bajo (L): 0	0	0	0	0	0				
	Medio (M): 0	0	0	10	0	0				
	Alto (H): 15	8	1.3	0	18	0				

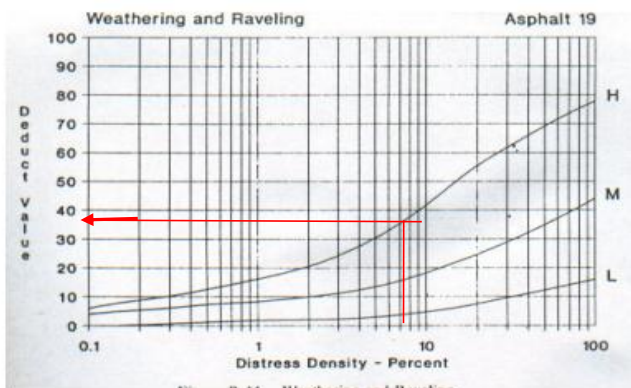
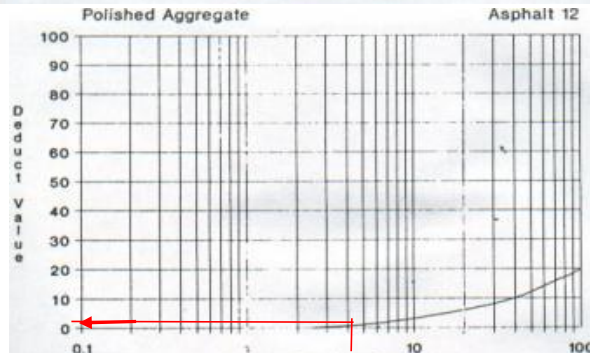
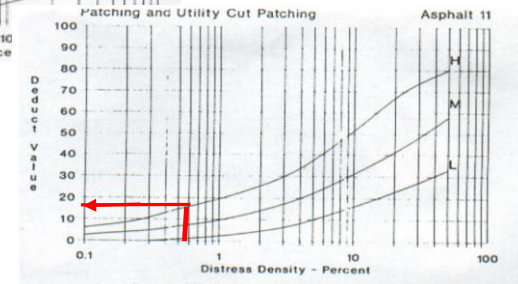
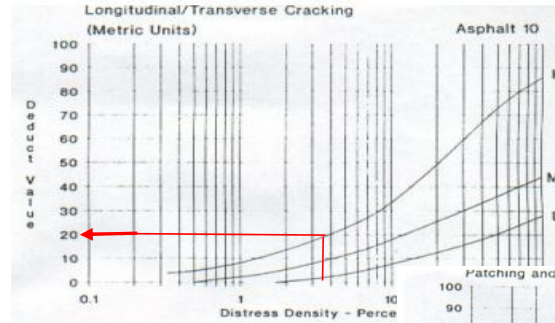
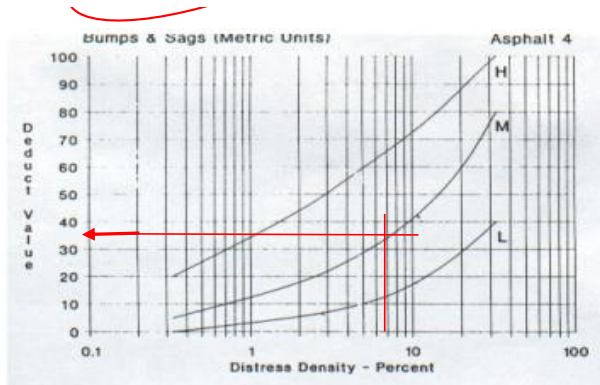
Valor total de deducción (VDT): 113.00
Valor de reducción corregido (VDC): 85

PCI= 100-VDC 15.00

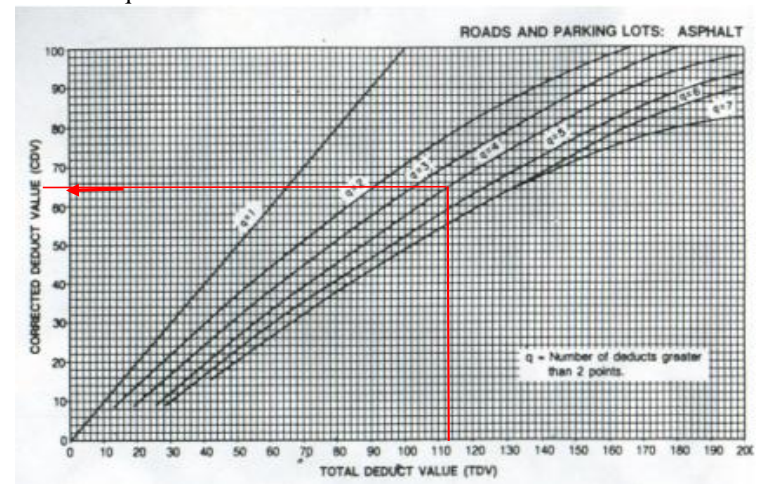
Condición del pavimento: Muy malo

Imagen





La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=4$.



Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
 Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 14+053.30
 Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
 Unidad de muestreo:

11

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| No. Tipo de falla | No. Tipo de falla | No. Tipo de falla |
| 1 Piel de cocodrilo (m2). | 8 Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 Exudación (m2). | 9 Desnivel carril/berma, (m). | 15 Ahullamiento, (m2). |
| 3 Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 Desplazamiento, (m2). |
| 4 Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 Parcheo, baches y zanjas separadas (| 17 Grieta parabólica, (m2). |
| 5 Corrugación, (m2). | 12 Pulimiento de agregados, (m2). | 18 Hinchamiento, (m2). |
| 6 Depresión, (m2). | 13 Huecos, (m2). | 19 Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 Grieta de borde, (m). | | |
- CARRIL DERECHO**

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
3 (Agrietamiento en bloque m2)		10 (Grieta longitudinal m)					Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
21	M	5	H				3 (Agrietamiento en bloqu	9.58%	M	30
							10 (Grieta longitudinal m	2.28%	H	18
TOTAL	Bajo (L):	0	0	0	0	0				
	Medio (M):	21	0	0	0	0				
	Alto (H):	0	5	0	0	0				

Valor total de deducción (VDT):

48.00

 Valor de reducción corregido (VDC):

38

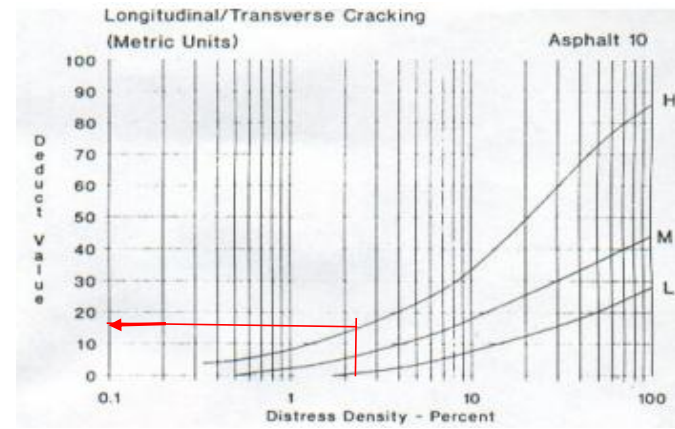
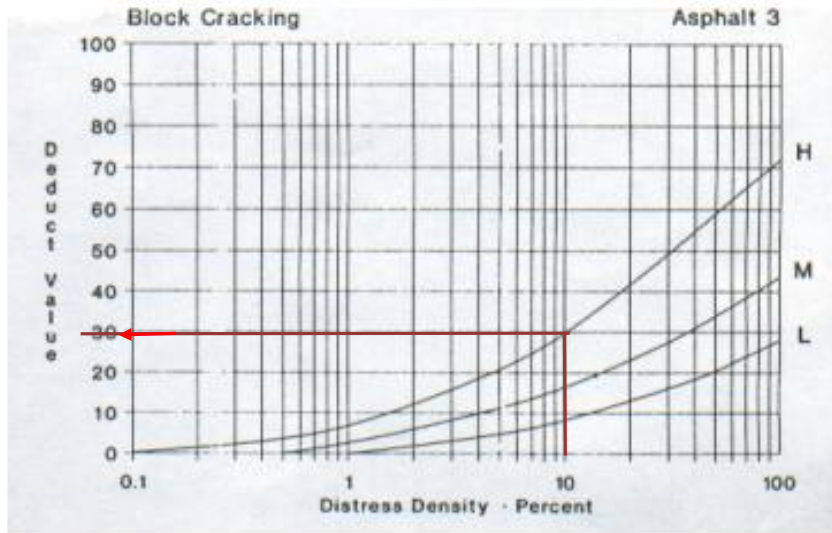
PCI= 100-VDC

62.00

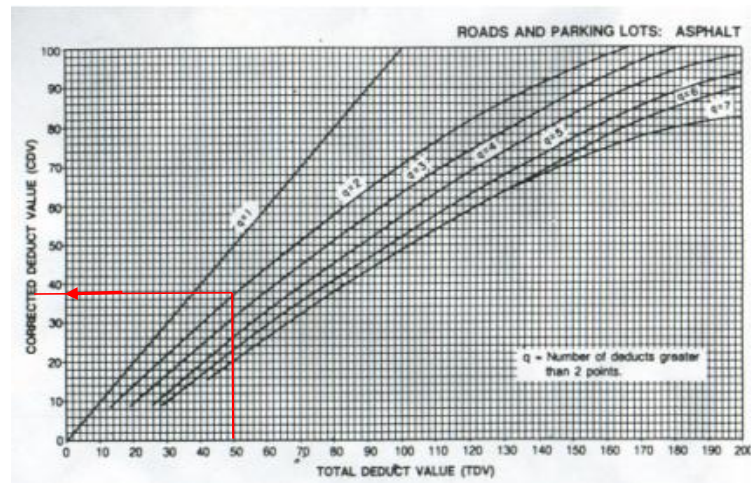
Condición del pavimento: Bueno

Imagen





La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=2$.



Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+220
Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
Unidad de muestreo:

12

- | | | | | | |
|------------|----------------------------------|------------|--------------------------------------------|------------|-------------------------------------|
| No. | Tipo de falla | No. | Tipo de falla | No. | Tipo de falla |
| 1 | Piel de cocodrilo (m2). | 8 | Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 | Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 | Exudación (m2). | 9 | Desnivel carril/berma, (m). | 15 | Ahullamiento, (m2). |
| 3 | Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 | Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 | Desplazamiento, (m2). |
| 4 | Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 | Parqueo, baches y zanjas separadas (| 17 | Grieta parabólica, (m2). |
| 5 | Corrugación, (m2). | 12 | Pulimiento de agregados, (m2). | 18 | Hinchamiento, (m2). |
| 6 | Depresión, (m2). | 13 | Huecos, (m2). | 19 | Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 | Grieta de borde, (m). | | | | |
- CARRIL IZQUIERDO

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
							Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
							12 (Pulimient o m2)	22.83%	PCI	8
TOTAL	Bajo (L):	30	0	0	0	0				
	Medio (M):	20	0	0	0	0				
	Alto (H):	0	0	0	0	0				

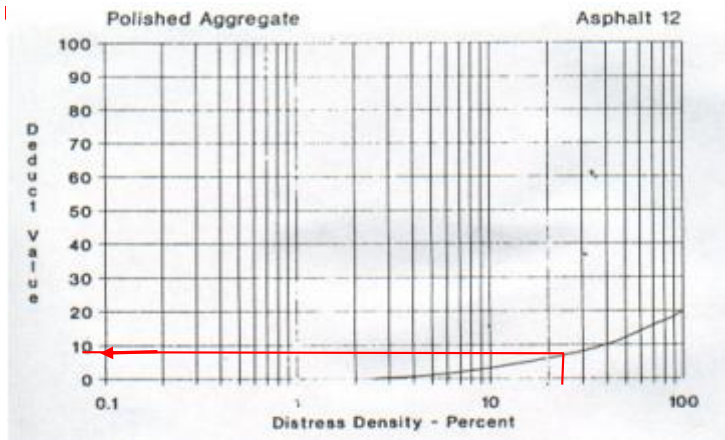
Valor total de deducción (VDT): 8.00
 Valor de reducción corregido (VDC): 8

PCI= 100-VDC 92.00

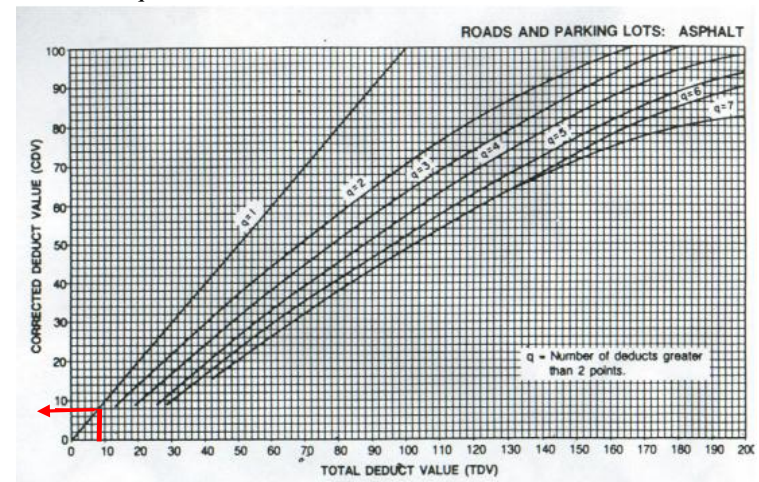
Condición del pavimento: Excelente

Imagen





La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=1$.



Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+303.33
Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
Unidad de muestreo:

13

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| No. Tipo de falla | No. Tipo de falla | No. Tipo de falla |
| 1 Piel de cocodrilo (m2). | 8 Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 Cruce de vía férrea, (m2). |
| 2 Exudación (m2). | 9 Desnivel carril/berma, (m). | 15 Ahullamiento, (m2). |
| 3 Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 Desplazamiento, (m2). |
| 4 Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 Parcheo, baches y zanjas separadas (t | 17 Grieta parabólica, (m2). |
| 5 Corrugación, (m2). | 12 Pulimiento de agregados, (m2). | 18 Hinchamiento, (m2). |
| 6 Depresión, (m2). | 13 Huecos, (m2). | 19 Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 Grieta de borde, (m). | | |
- CARRIL IZQUIERDO**

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI				
3 (Agrietamiento en bloque m2)	10 (Grieta longitudinal m)		13 (Huecos (m2))				Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción	
	M	H	M	H							
51.1	M	8	H	0.9	H			3 (Agrietamiento en bloqu	23.33%	M	23
109.5	H							3 (Agrietamiento en bloqu	50.00%	H	59
								10 (Grieta longitudinal m	3.65%	H	19
								13 (Huecos (m2))	0.41%	H	39
TOTAL	Bajo (L):	0	0	0	0	0	0				
	Medio (M):	51.1	0	0	0	0	0				
	Alto (H):	109.5	8	0.9	0	0	0				

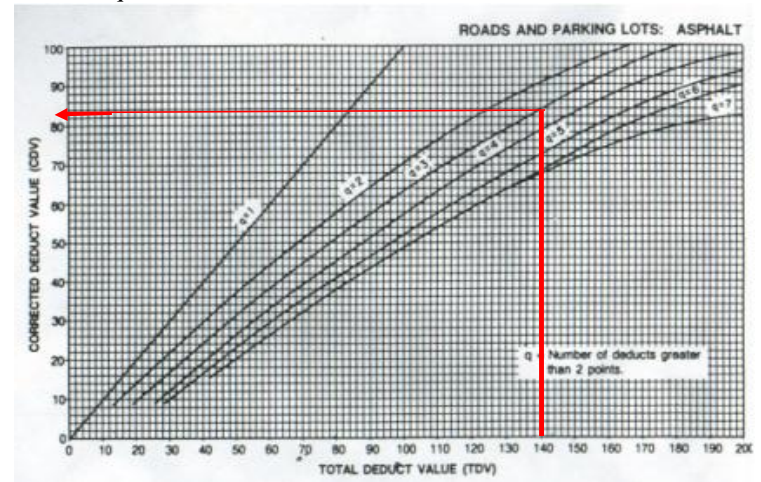
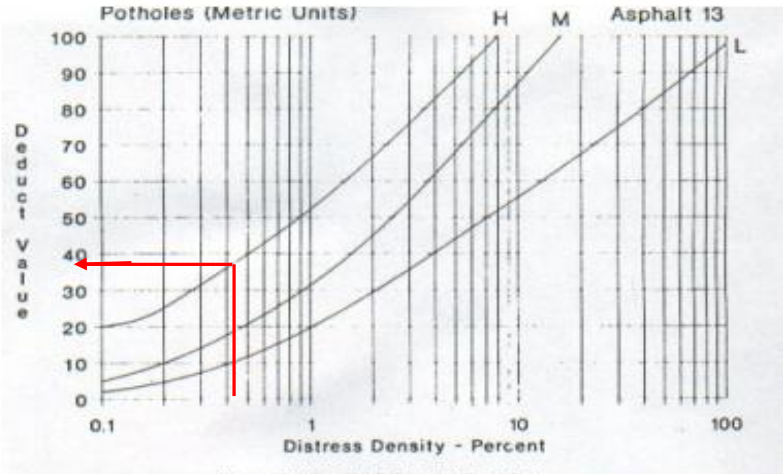
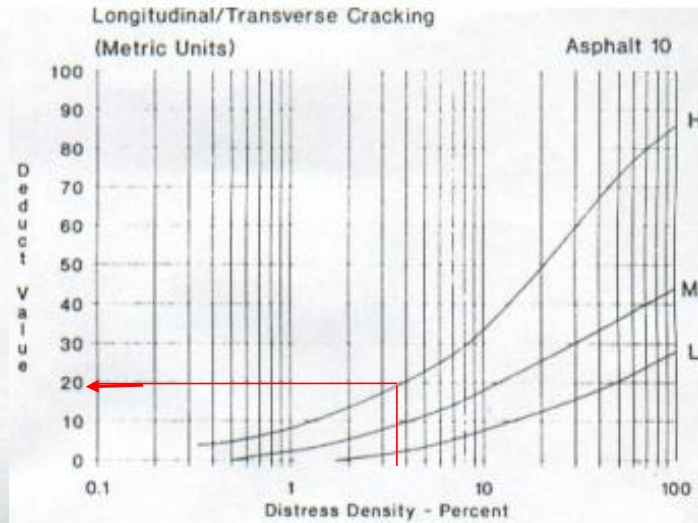
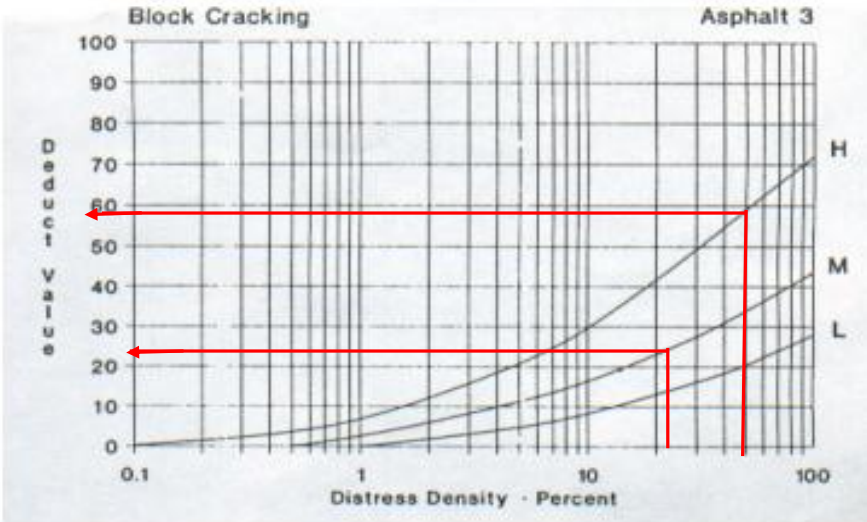
Valor total de deducción (VDT):	140.00
Valor de reducción corregido (VDC):	82

PCI= 100-VDC 18.00

Condición del pavimento: Muy malo

Imagen





La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por tanto $q=4$.

Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
 Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+366.66
 Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
 Unidad de muestreo:

14

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| No. Tipo de falla | No. Tipo de falla | No. Tipo de falla |
| 1 Piel de cocodrilo (m2). | 8 Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 Exudación (m2). | 9 Desnivel carril/berma, (m). | 15 Ahullamiento, (m2). |
| 3 Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 Desplazamiento, (m2). |
| 4 Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 Parcheo, baches y zanjas separadas (1 | 17 Grieta parabólica, (m2). |
| 5 Corrugación, (m2). | 12 Pulimiento de agregados, (m2). | 18 Hinchamiento, (m2). |
| 6 Depresión, (m2). | 13 Huecos, (m2). | 19 Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 Grieta de borde, (m). | | |
- CARRIL IZQUIERDO

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
TOTAL	3 (Agrietamiento en bloque m2)	10 (Grieta longitudinal m)					Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
								Bajo (L):	0	0
Medio (M):	0	5	0	0	0	0	10 (Grieta longitudinal m)	2.28%	M	7
Alto (H):	28	0	0	0	0	0				

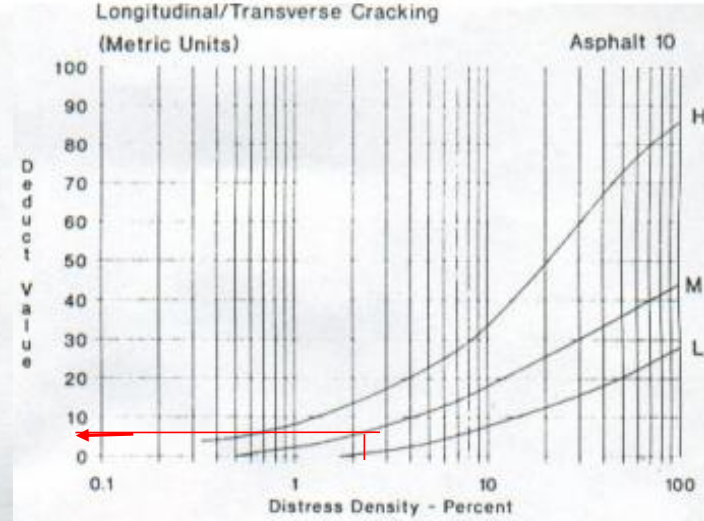
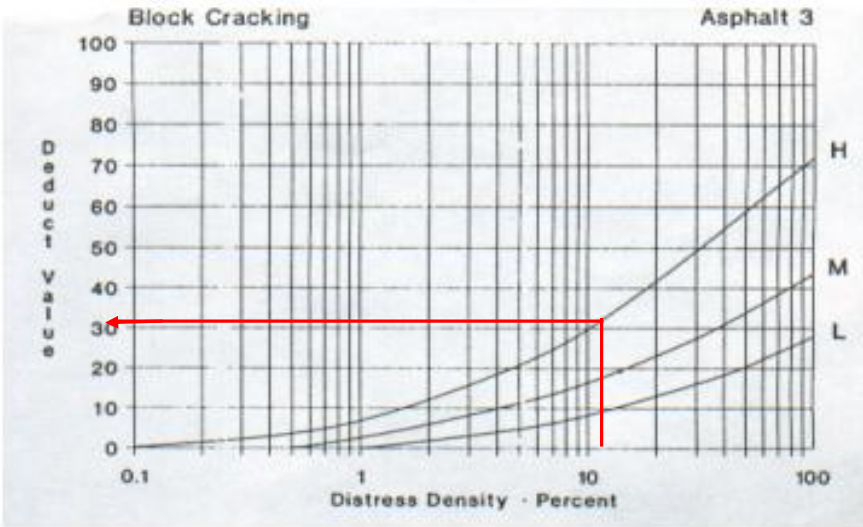
Valor total de deducción (VDT): 38.00
 Valor de reducción corregido (VDC): 26

PCI= 100-VDC 74.00

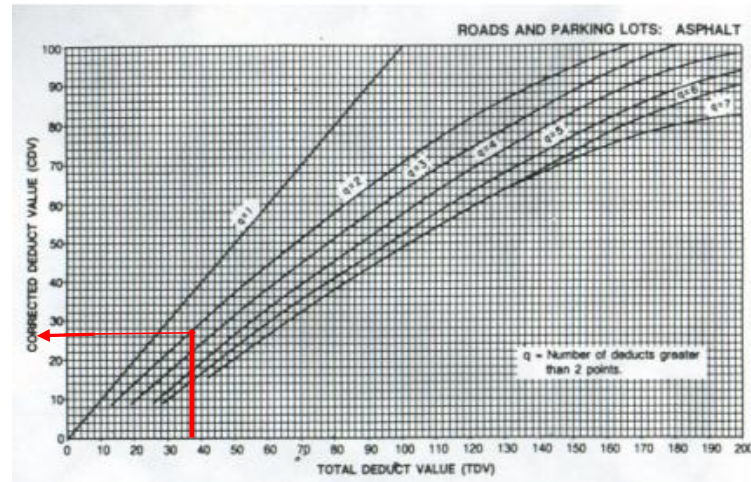
Condición del pavimento: Muy bueno

Imagen





La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=2$.



Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
 Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+469.99
 Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
 Unidad de muestreo:

15

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| No. Tipo de falla | No. Tipo de falla | No. Tipo de falla |
| 1 Piel de cocodrilo (m2). | 8 Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 Exudación (m2). | 9 Desnivel carril/berma, (m). | 15 Ahullamiento, (m2). |
| 3 Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 Desplazamiento, (m2). |
| 4 Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 Parcheo, baches y zanjas separadas (1 | 17 Grieta parabólica, (m2). |
| 5 Corrugación, (m2). | 12 Pulimiento de agregados, (m2). | 18 Hinchamiento, (m2). |
| 6 Depresión, (m2). | 13 Huecos, (m2). | 19 Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 Grieta de borde, (m). | | |
- CARRIL IZQUIERDO

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
12 (Pulimiento o m2)							Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
70	M						12 (Pulimiento m2)	63.92%	PCI	15
17.5	L									
52.5	H									
TOTAL	Bajo (L):	17.5	0	0	0	0				
	Medio (M):	70	0	0	0	0				
	Alto (A):	52.5	0	0	0	0				

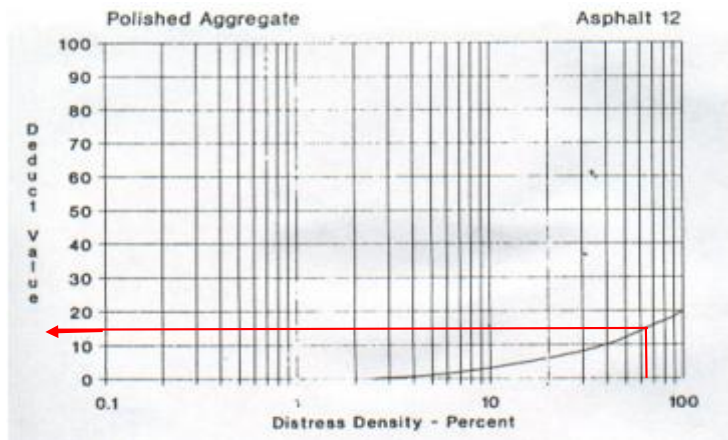
Valor total de deducción (VDT):	15.00
Valor de reducción corregido (VDC):	15

PCI= 100-VDC 85.00

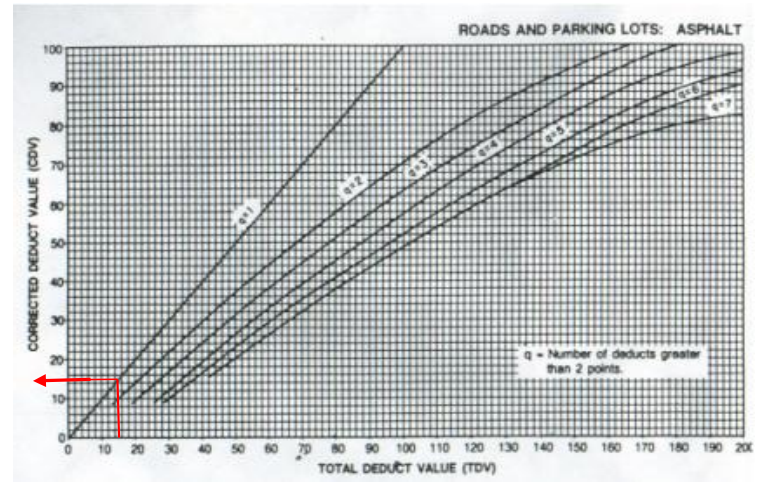
Condición del pavimento: Excelente

Imagen





La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=1$.



Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
 Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+553.32
 Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
 Unidad de muestreo:

16

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| No. Tipo de falla | No. Tipo de falla | No. Tipo de falla |
| 1 Piel de cocodrilo (m2). | 8 Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 Exudación (m2). | 9 Desnivel carril/berma, (m). | 15 Ahullamiento, (m2). |
| 3 Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 Desplazamiento, (m2). |
| 4 Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 Parcheo, baches y zanjas separadas (| 17 Grieta parabólica, (m2). |
| 5 Corrugación, (m2). | 12 Pulimiento de agregados, (m2). | 18 Hinchamiento, (m2). |
| 6 Depresión, (m2). | 13 Huecos, (m2). | 19 Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 Grieta de borde, (m). | | |
- CARRIL IZQUIERDO

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
TOTAL		3 (Agrietamiento en bloque m2)		10 (Grieta longitudinal m)		Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción	
		H	M	H	M					
		87.6	H	10	H					
		35	M			3 (Agrietamiento en bloqu	15.98%	M	20	
						3 (Agrietamiento en bloqu	40.00%	H	55	
						10 (Grieta longitudinal m	4.56%	H	21	
	Bajo (L):	0		0						
	Medio (M):	35		0						
	Alto (H):	87.6		10						

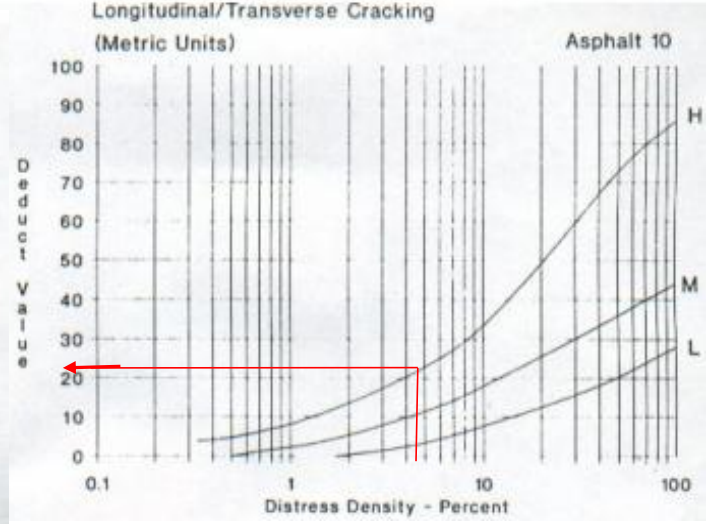
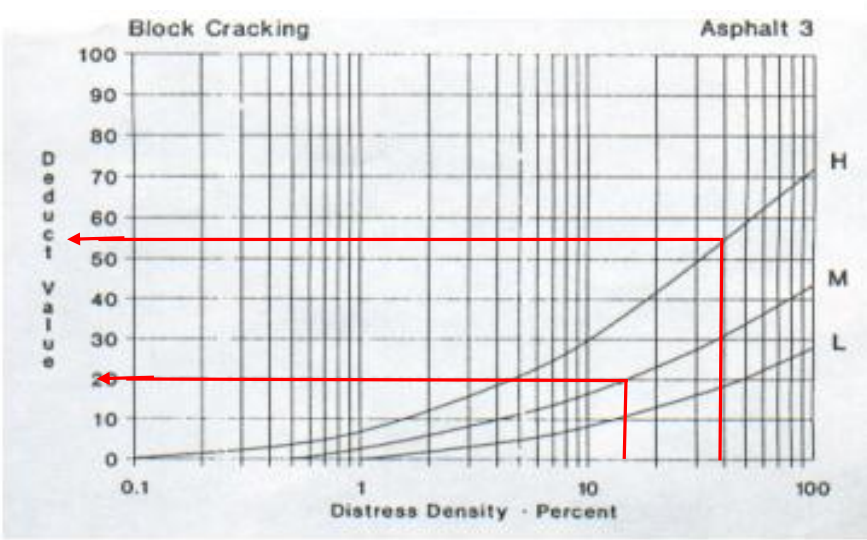
Valor total de deducción (VDT): 96.00
 Valor de reducción corregido (VDC): 52

PCI= 100-VDC 48.00

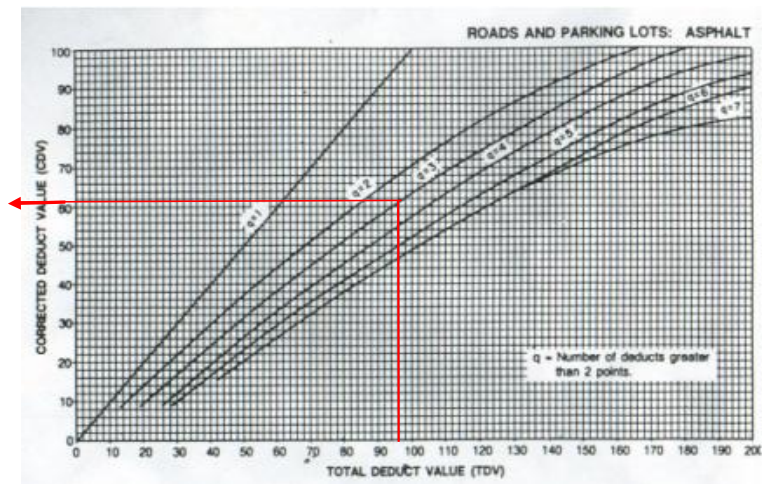
Condición del pavimento: Regular

Imagen





La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=3$.



Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
 Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+636.65
 Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
 Unidad de muestreo:

17

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| No. Tipo de falla | No. Tipo de falla | No. Tipo de falla |
| 1 Piel de cocodrilo (m2). | 8 Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 Exudación (m2). | 9 Desnivel carril/berma, (m). | 15 Ahullamiento, (m2). |
| 3 Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 Desplazamiento, (m2). |
| 4 Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 Parcheo, baches y zanjas separadas (1 | 17 Grieta parabólica, (m2). |
| 5 Corrugación, (m2). | 12 Pulimiento de agregados, (m2). | 18 Hinchamiento, (m2). |
| 6 Depresión, (m2). | 13 Huecos, (m2). | 19 Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 Grieta de borde, (m). | | |
- CARRIL IZQUIERDO

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
10 (Grieta longitudinal m)	H						Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
								18	H	
TOTAL	Bajo (L):	0	0	0	0	0				
	Medio (M):	0	0	0	0	0				
	Alto (H):	18	0	0	0	0				

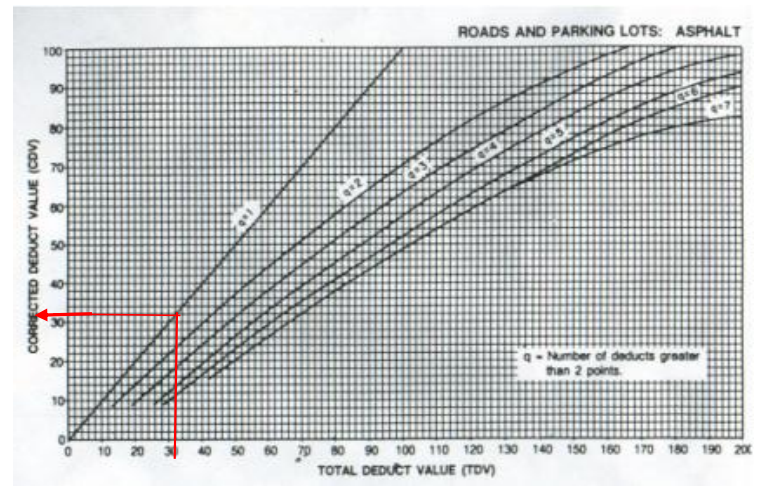
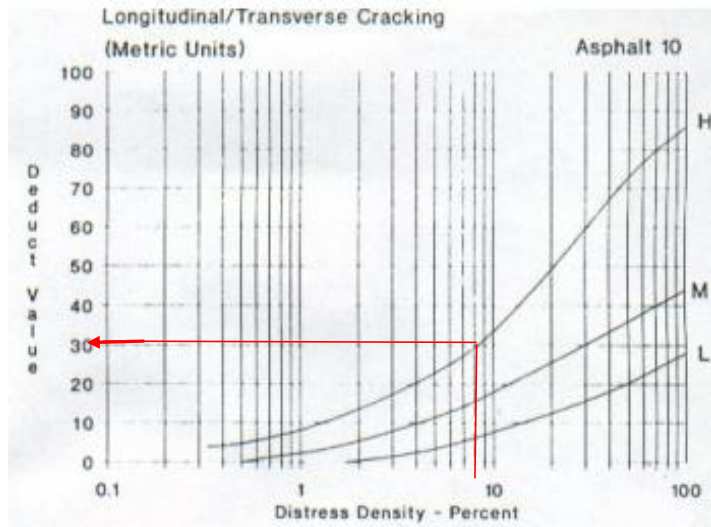
Imagen



Valor total de deducción (VDT):	31.00
Valor de reducción corregido (VDC):	31

PCI= 100-VDC 69.00

Condición del pavimento: Bueno



La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=1$.

Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+719.98
Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
Unidad de muestreo:

18

- | | | | | | |
|------------|----------------------------------|------------|--------------------------------------------|------------|-------------------------------------|
| No. | Tipo de falla | No. | Tipo de falla | No. | Tipo de falla |
| 1 | Piel de cocodrilo (m2). | 8 | Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 | Cruce de vía férrea, (m2). |
| 2 | Exudación (m2). | 9 | Desnivel carril/berma, (m). | 15 | Ahullamiento, (m2). |
| 3 | Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 | Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 | Desplazamiento, (m2). |
| 4 | Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 | Parqueo, baches y zanjas separadas (| 17 | Grieta parabólica, (m2). |
| 5 | Corrugación, (m2). | 12 | Pulimiento de agregados, (m2). | 18 | Hinchamiento, (m2). |
| 6 | Depresión, (m2). | 13 | Huecos, (m2). | 19 | Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 | Grieta de borde, (m). | | | | |
- CARRIL IZQUIERDO**

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
3 (Agrietamiento en bloque m2)	10 (Grieta longitudinal m)						Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
24.5	H	5	H				3 (Agrietamiento en bloqu	6.39%	M	12
14	M	3	H				3 (Agrietamiento en bloqu	11.18%	H	31
							10 (Grieta longitudinal m	3.65%	H	19
TOTAL	Bajo (L):	0	0	0	0	0				
	Medio (M):	14	0	0	0	0				
	Alto (H):	24.5	8	0	0	0				

Valor total de deducción (VDT):

62.00

 Valor de reducción corregido (VDC):

41

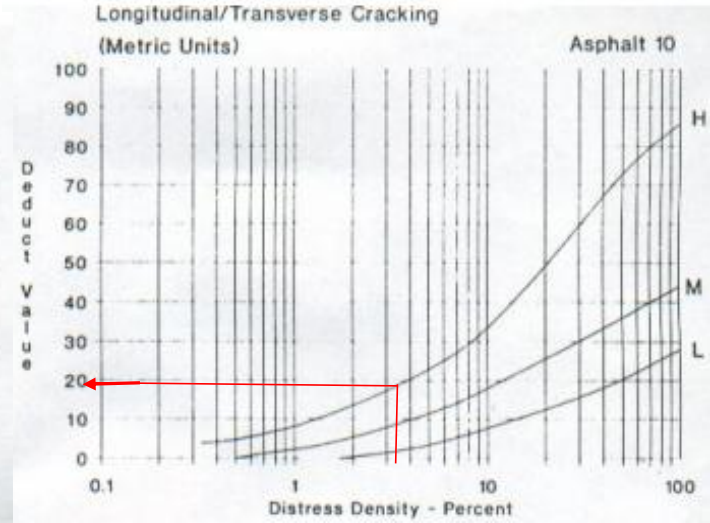
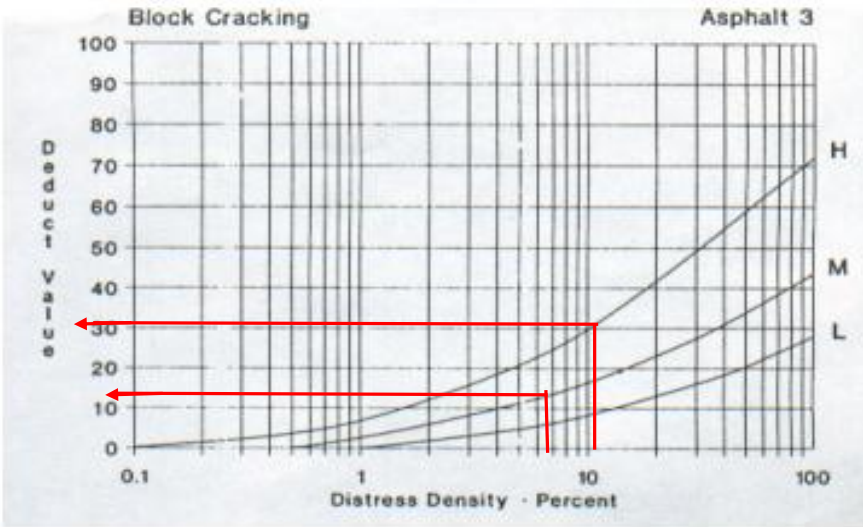
PCI= 100-VDC

59.00

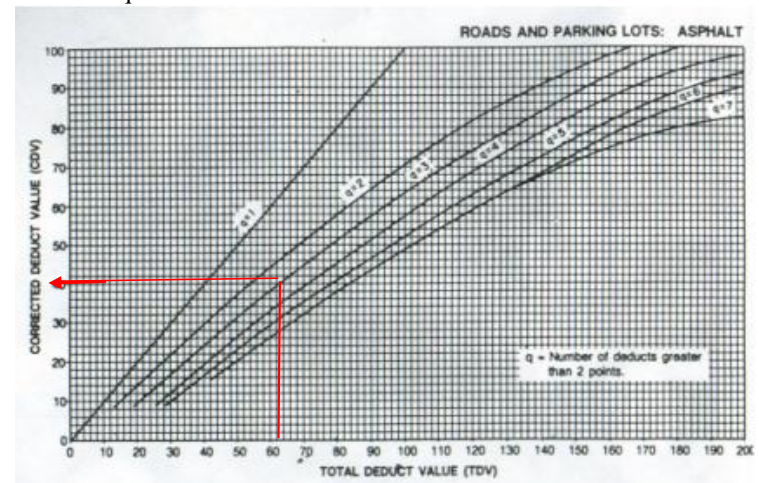
Condición del pavimento: Bueno

Imagen





La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=3$.



Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
 Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+803.31
 Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
 Unidad de muestreo:

19

- | No. | Tipo de falla | No. | Tipo de falla | No. | Tipo de falla |
|-----|----------------------------------|-----|----------------------------------------------|-----|-------------------------------------|
| 1 | Piel de cocodrilo (m2). | 8 | Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 | Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 | Exudación (m2). | 9 | Desnivel carril/berma, (m). | 15 | Ahullamiento, (m2). |
| 3 | Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 | Grietas longitudinales y transversales, (m). | 16 | Desplazamiento, (m2). |
| 4 | Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 | Parqueo, baches y zanjas separadas (m). | 17 | Grieta parabólica, (m2). |
| 5 | Corrugación, (m2). | 12 | Pulimiento de agregados, (m2). | 18 | Hinchamiento, (m2). |
| 6 | Depresión, (m2). | 13 | Huecos, (m2). | 19 | Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 | Grieta de borde, (m). | | | | |
- CARRIL IZQUIERDO

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
1 Piel de cocodrilo (m2).							Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
105	H						1 Piel de cocodrilo (m2).	15.98%	M	50
35	M						1 Piel de cocodrilo (m2).	47.94%	H	70
TOTAL	Bajo (L):	0	0	0	0	0				
	Medio (M):	35	0	0	0	0				
	Alto (H):	105	0	0	0	0				

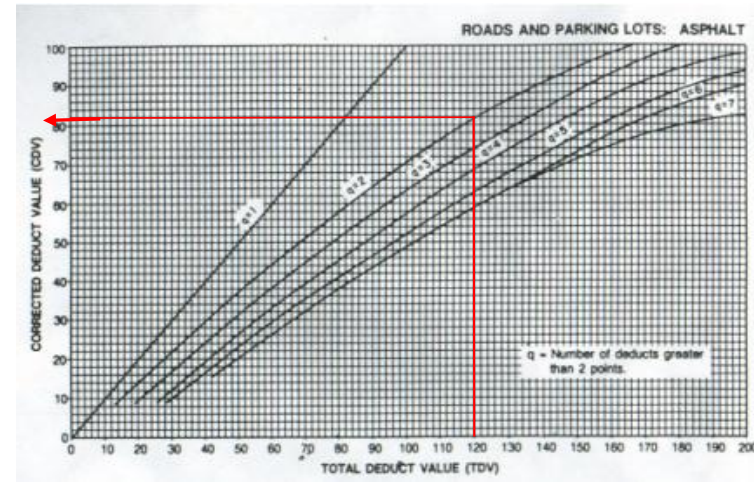
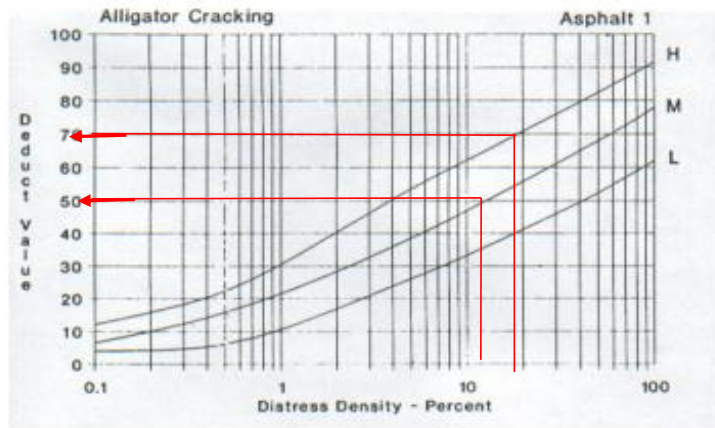
Valor total de deducción (VDT):	120.00
Valor de reducción corregido (VDC):	82

PCI= 100-VDC 18.00

Condición del pavimento: Muy malo



La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=2$.



Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+886.64
Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
Unidad de muestreo: 20

- | No. | Tipo de falla | No. | Tipo de falla | No. | Tipo de falla |
|-----|----------------------------------|-----|----------------------------------------------|-----|-------------------------------------|
| 1 | Piel de cocodrilo (m2). | 8 | Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 | Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 | Exudación (m2). | 9 | Desnivel carril/berma, (m). | 15 | Ahullamiento, (m2). |
| 3 | Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 | Grietas longitudinales y transversales, (m). | 16 | Desplazamiento, (m2). |
| 4 | Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 | Parqueo, baches y zanjas separadas (m). | 17 | Grieta parabólica, (m2). |
| 5 | Corrugación, (m2). | 12 | Pulimiento de agregados, (m2). | 18 | Hinchamiento, (m2). |
| 6 | Depresión, (m2). | 13 | Huecos, (m2). | 19 | Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 | Grieta de borde, (m). | | | | |
- CARRIL IZQUIERDO**

Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
1 Piel de cocodrilo (m2).							Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
42	H						1 Piel de cocodrilo (m2).	13.69%	M	50
30	M						1 Piel de cocodrilo (m2).	19.17%	H	70
TOTAL	Bajo (L):	0	0	0	0	0				
	Medio (M):	30	0	0	0	0				
	Alto (H):	42	0	0	0	0				

Valor total de deducción (VDT): 120.00
 Valor de reducción corregido (VDC): 82

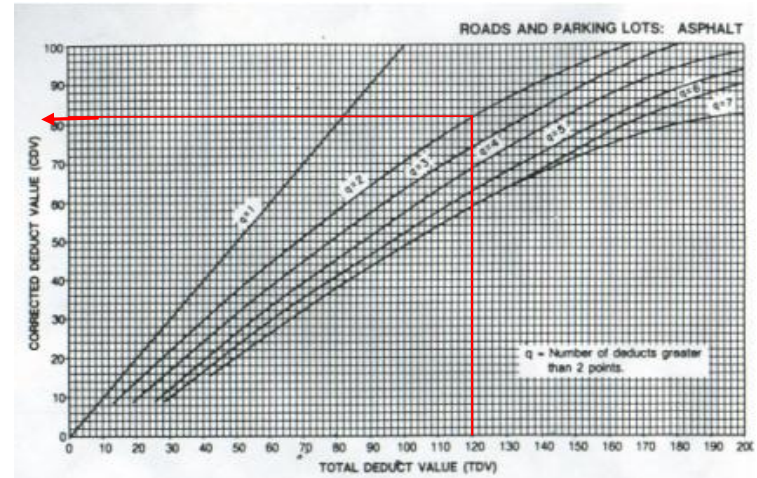
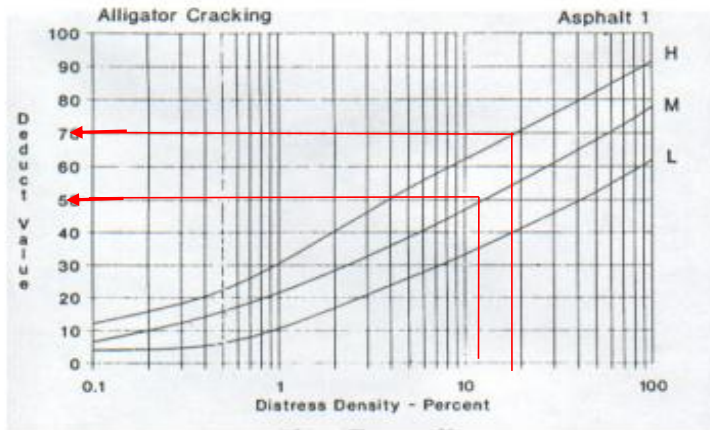
PCI= 100-VDC 18.00

Condición del pavimento: Muy malo

Imagen



La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=2$.



Índice de condición del pavimento

Carreteras con superficie asfáltica

Vía: Portezuelos-Palmillas km 13+120 al
Inspeccionada Edith Trejo Tovar

Tramo: km 13+969.97
Área de muestreo (m2): 219

Fecha: 27 de noviembre de 2014
Unidad de muestreo: 21

- | | | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|
| No. Tipo de falla | No. Tipo de falla | No. Tipo de falla |
| 1 Piel de cocodrilo (m2). | 8 Grieta de reflexión de junta, (m). | 14 Cruce de via férrea, (m2). |
| 2 Exudación (m2). | 9 Desnivel carril/berma, (m). | 15 Ahullamiento, (m2). |
| 3 Agrietamiento en bloque, (m2). | 10 Grietas longitudinales y transversales, (n | 16 Desplazamiento, (m2). |
| 4 Elevaciones y hundimientos, (m). | 11 Parcheo, baches y zanjas separadas (| 17 Grieta parabólica, (m2). |
| 5 Corrugación, (m2). | 12 Pulimiento de agregados, (m2). | 18 Hinchamiento, (m2). |
| 6 Depresión, (m2). | 13 Huecos, (m2). | 19 Desprendimiento de agregados, (m2). |
| 7 Grieta de borde, (m). | | |
- CARRIL IZQUIERDO

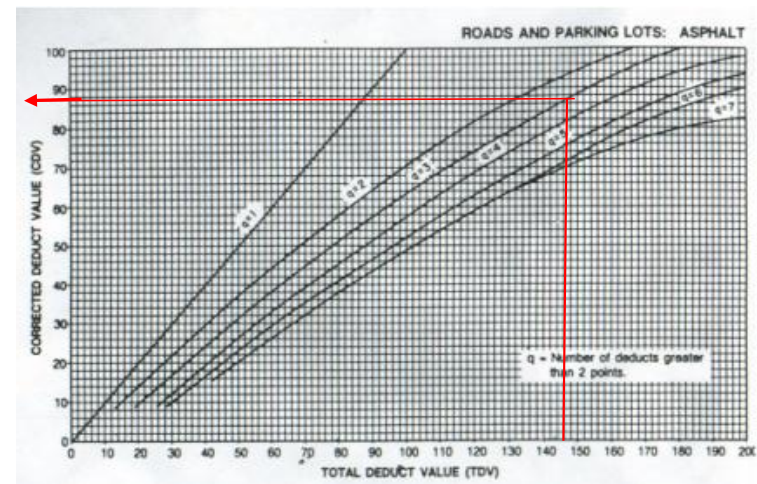
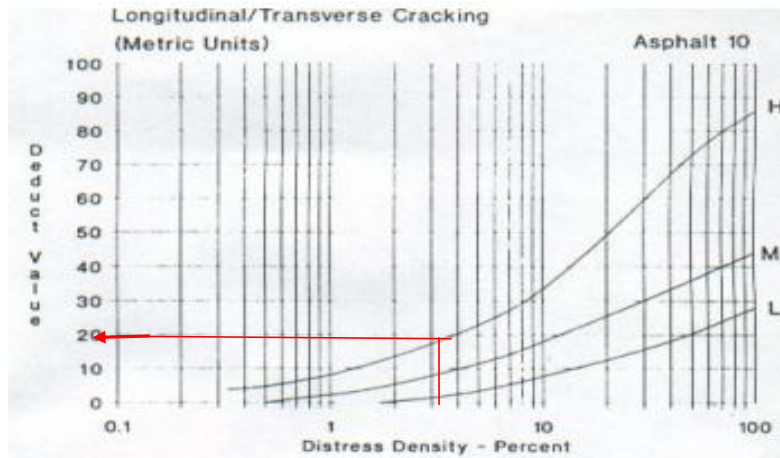
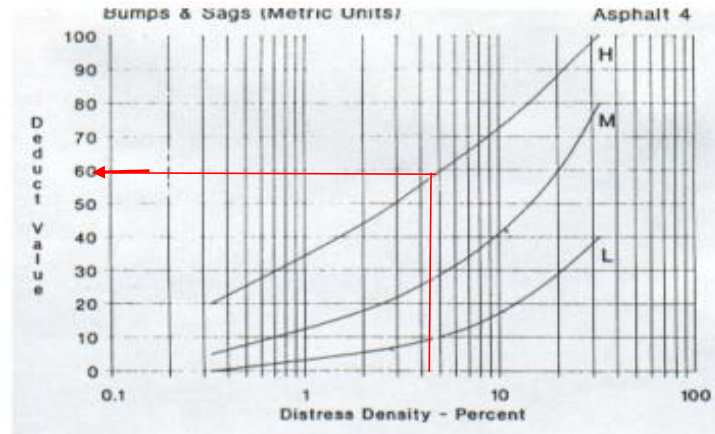
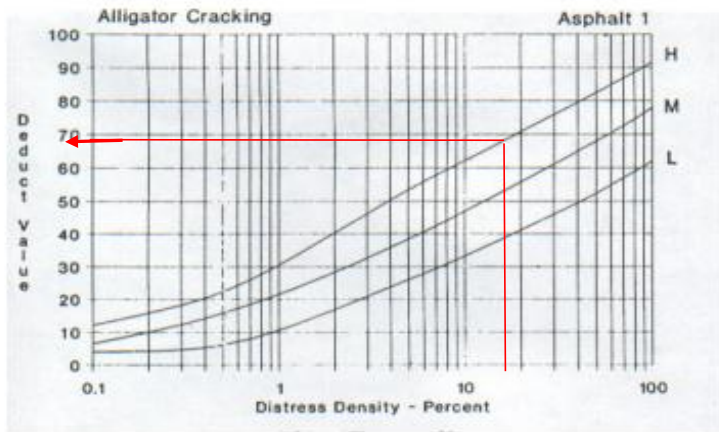
Tipos de fallas existentes							Calculo del PCI			
							Tipo de falla	Densidad (severidad/Área muestreo (%))	Severidad	Valor de deducción
	1 Piel de cocodrilo (m2).	4 (Hundimiento, (m))	10 (Grieta longitudinal al m)				1 Piel de cocodrilo (m2).	18.26%	H	68
							4 (Hundimiento, (m))	4.56%	H	59
							10 (Grieta longitudinal m)	2.28%	H	19
TOTAL	Bajo (L):	0	0	0	0	0				
	Medio (M):	0	0	0	0	0				
	Alto (H):	40	10	5	0	0				



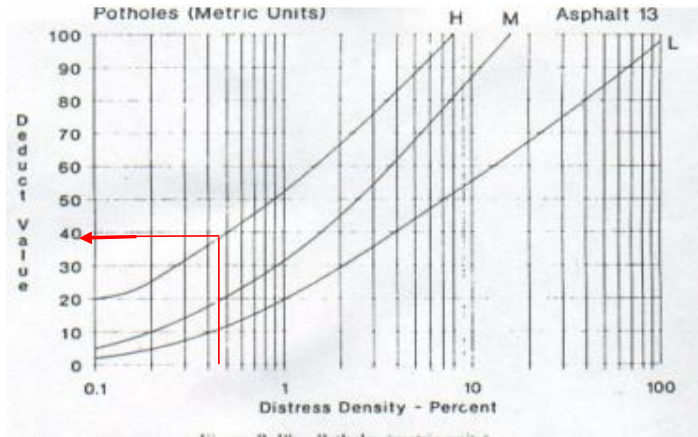
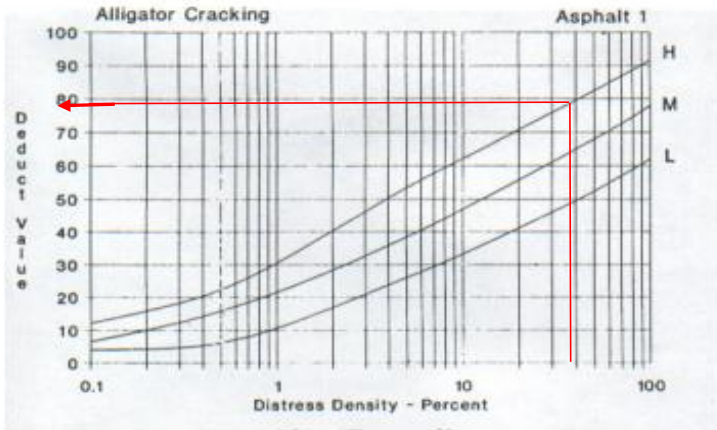
Valor total de deducción (VDT): 146.00
 Valor de reducción corregido (VDC): 88

PCI= 100-VDC 12.00

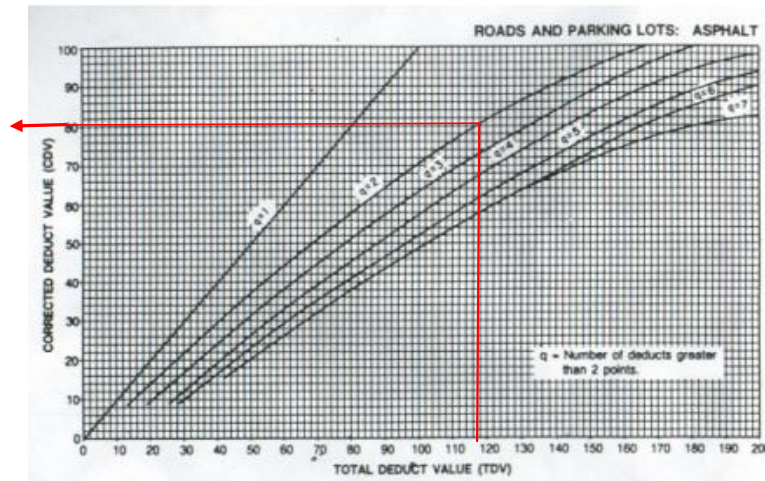
Condición del pavimento: Muy malo



La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por tanto $q=3$.



La mayoría de los valores de deducción son mayores a 2 por lo tanto $q=2$.



ANEXO E

E. Grafica de la evaluación del Pavimento

