

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Instituto de Ingeniería y Tecnología

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental



Propuesta de metodología para la gestión de pavimentos de la avenida las Torres, en Ciudad Juárez.

Que presenta:

Rogelio Buj Burciaga

Asesor: Dr. Abraham Leonel López León

Ciudad Juárez, Chih., agosto de 2017

Contenido

Resumen	1
1 Introducción.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Justificación	3
1.3 Antecedentes	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5 Alcance	5
1.6 Limitaciones.....	5
2 Marco teórico.....	6
2.1 El pavimento	6
2.1.1. Tipos de pavimento	6
2.1.2. Fallas en pavimentos asfálticos y propuestas de reparación.....	7
2.1.3. Fallas en los pavimentos hidráulicos y propuestas de reparación	21
2.2 Gestión de pavimentos.....	33
2.2.1. Índice de servicio actual de los pavimentos	35
2.2.2. Antecedentes de los modelos HDM para gestión de pavimentos (Highway Desing and Maintenance Standards Model).....	37
2.3 HDM-4 programa para gestión de pavimentos.....	38
2.3.1. Marco analítico del HDM-4	38
2.4 Herramientas de administración financiera	39
2.4.1. Valor presente neto.....	39
3 Metodología.....	41
3.1 Obtención y cálculo de las características de los pavimentos	41
3.1.1. Geometría de la vialidad.....	41
3.1.2. Tipo de pavimento	41
3.1.3. Estado del drenaje superficial.....	41

3.1.4.	Estado superficial de los pavimentos.....	41
3.1.5.	Estado estructural de los pavimentos.....	41
3.2	Obtención y cálculo sobre aforo y características vehiculares	42
3.3	Base de datos climáticos	42
3.3.1.	Recopilación de datos climáticos	43
3.3.2.	Cálculo del índice Thornthwaite.....	43
3.3.3.	Cálculo de la precipitación media mensual	44
3.3.4.	Cálculo de la temperatura media anual.....	44
3.3.5.	Cálculo del rango de temperaturas ambientales medias mensuales	44
3.3.6.	Cálculo del índice de helada.....	44
3.4	Calibración del modelo en HDM-4	44
3.5	Recopilación de los costos de trabajos de reparación y mantenimiento	45
3.6	Obtención de las predicciones de deterioro	45
3.7	Obtención de propuestas para el mantenimiento	45
4	Resultados.....	50
4.1	Obtención y cálculo de las características de los pavimentos	50
4.1.1.	Geometría de la vialidad.....	50
4.1.2.	Tipo de pavimento, características y estado superficiales	51
4.1.3.	Estado del drenaje superficial.....	68
4.1.4.	Estado superficial de los pavimentos.....	69
4.1.5.	Estado estructural de los pavimentos.....	73
4.2	Definición de tramos- cuerpo	82
4.3	Obtención y cálculo sobre aforo y características vehiculares	86
4.3.1.	Caracterización vehicular	86
4.3.2.	Cálculo de costos vehiculares debido a su tipo	88
4.4	Base de datos climáticos	96
5	Análisis económico y financiero de los planes de gestión	97
5.1	Recopilación y elaboración de los trabajos de reconstrucción y mantenimiento. .	97
5.2	Selección de los planes de mantenimiento por tramo-cuerpo.....	99
5.2.1.	Gestión de pavimentos asfálticos	99
5.2.2.	Gestión de pavimentos hidráulicos.....	102
5.3	Propuesta para la gestión de pavimentos en la avenida de Las Torres.	105

6	Conclusiones.....	107
7	Recomendaciones.....	110
	Anexo 1	112

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Estructura del pavimento asfáltico	7
Ilustración 2 Estructura del pavimento hidráulico.....	7
Ilustración 3 Grietas por fatiga en pavimento asfáltico.....	9
Ilustración 4 Grietas en bloque en pavimento asfáltico.....	10
Ilustración 5 Grietas longitudinales en pavimento asfáltico.....	11
Ilustración 6 Grietas transversales en pavimento asfáltico.....	12
Ilustración 7 Falla por elevación y/o hundimiento en pavimento asfáltico.....	13
Ilustración 8 Falla por corrugación en pavimento asfáltico	14
Ilustración 9 Falla por depresión en pavimento asfáltico	15
Ilustración 10 Falla por grieta longitudinal debido a junta fría en pavimento asfáltico.....	16
Ilustración 11 Falla por grieta transversal debido a junta fría en pavimento asfáltico.....	16
Ilustración 12 Falla por bache o zanja mal reparada en pavimento asfáltico	17
Ilustración 13 Falla por agregados pulidos en pavimento asfáltico.....	18
Ilustración 14 Falla por bache abierto en pavimento asfáltico	19
Ilustración 15 Falla por deformación en pavimento asfáltico	20
Ilustración 16 Falla por disgregación en pavimento asfáltico	21
Ilustración 17 Falla por fisura en pavimento hidráulico.....	22
Ilustración 18 Falla por rotura de esquina en pavimento hidráulico	23
Ilustración 19 Falla por erosión por bombeo en pavimento hidráulico.....	24
Ilustración 20 Falla por levantamiento de losas en pavimento hidráulico	25
Ilustración 21 Falla por despostillamiento de losas en pavimento hidráulico.....	26
Ilustración 22 Falla por losas subdivididas en pavimento hidráulico.....	27
Ilustración 23 Falla por deficiencia de material de sello en pavimento hidráulico	28
Ilustración 24 Falla por fisura inducida en pavimento hidráulico	29
Ilustración 25 Falla por dislocamiento en pavimento hidráulico	30
Ilustración 26 Falla por hundimiento en pavimento hidráulico.....	31
Ilustración 27 Falla por pulimiento de superficie en pavimento hidráulico	32
Ilustración 28 Falla por bache en pavimento hidráulico.....	33
Ilustración 29 Deterioro de los pavimentos respecto a tiempo y cargas [6].....	34
Ilustración 30 Ciclo de las operaciones en el ciclo de gestión de pavimentos [1]	35
Ilustración 31 Correlación de ISA-IRI [7].....	37
Ilustración 32 Diagrama de flujo para la metodología	46
Ilustración 33 Ubicación del tramo de estudio	51
Ilustración 34 Ubicación de los tramos cuerpo con denominación 1	53
Ilustración 35 Ubicación de los tramos cuerpo con denominación 2	57
Ilustración 36 Ubicación de los tramos cuerpo con denominación 3.....	61
Ilustración 37 Ubicación de los tramos cuerpo con denominación 4.....	65
Ilustración 38 Formato para la evaluación de índice de servicio actual.....	70
Ilustración 39 Extracción de muestra en pavimento asfáltico	73
Ilustración 40 Medición longitudinal de muestra en pavimento hidráulico	74
Ilustración 41 Medición transversal de muestra de pavimento hidráulico	75
Ilustración 42 Cabeceo en muestra de pavimento hidráulico	76

Ilustración 43 Aplicación de carga a muestra de material hidráulico.....	77
Ilustración 44 Muestra de material hidráulico fallada debido a la carga aplicada.	78
Ilustración 45 Comparativa de granulometrías de muestras y la recomendada	79
Ilustración 46 Espesores recomendados para el diseño del pavimento hidráulico en cuerpos principales Sur-Norte.....	80
Ilustración 47 Granulometría de las capas de rodamiento asfálticas.....	81
Ilustración 48 Granulometrías de las Bases de las muestras de pavimentos asfálticos.....	81
Ilustración 49 Espesores recomendados para el diseño del pavimento asfáltico en cuerpos laterales Norte-Sur.....	82
Ilustración 50 Regularidad media por proyecto de tramo-cuerpo en adecuado estado inicial	100

Resumen

Esta investigación se realizó en Ciudad Juárez, tomando como caso de estudio la av. De Las Torres. La avenida es la segunda en tráfico vehicular de la ciudad con un tráfico diario promedio anual de 76 604 ejes equivalentes ,la vialidad cuenta con dos tipos de pavimentos -asfáltico e hidráulico-, cuenta con 5 carriles en sentido sur-norte y 5 carriles con sentido norte-sur, los pavimentos asfálticos se encuentran principalmente en los cuerpos laterales y los hidráulicos para los cuerpos principales.

Se realizó la recopilación de datos en dependencias gubernamentales y por el autor en el tramo de estudio, así como pruebas de laboratorio para determinar el estado actual de los pavimentos, se propone una metodología para la caracterización vehicular realizada por el autor.

Los resultados de laboratorio para las estructuras de soporte y capas de rodamiento asfálticas indican granulometrías inadecuadas. En el caso de los pavimentos hidráulicos las losas son adecuadas a las cargas sin embargo la capa base de soporte presenta granulometría no adecuada.

Los tramos asfálticos existentes fueron remplazados por un pavimento hipotético que permitiera la gestión de los recursos, debido a la imposibilidad de ser gestionado por su incapacidad matemática de soportar las cargas vehiculares.

Se identifican limitantes del programa HDM-4 versión 1.3 para el desarrollo de predicciones de deterioro en pavimentos hidráulicos y debiendo proponer el mantenimiento basado en el presupuesto.

Como resultado de la investigación se establece un plan de gestión optimizando a 15 años los costos de los usuarios y los costos de mantenimiento tomando como limite máximo un presupuesto anual de 10 000 000 de pesos para el mantenimiento del tramo en estudio.

1 Introducción

El deterioro de los pavimentos incrementa los costos de operación para los usuarios y limitan el traslado de personas y mercancías; generalmente, el recurso económico destinado a la gestión de los pavimentos es limitado, por lo que resulta necesario eficientizar su aplicación para prolongar la vida útil de los pavimentos. Es necesario establecer planes de mantenimiento y reparación, con la finalidad de que éstos proporcionen el servicio para el que fueron diseñados y construidos.

En Ciudad Juárez, México, cuenta con más de 12 000 000 m² de vialidades de los cuales el 80% y requieren de mantenimiento y/o algún tipo de reparación [1]. Este problema resta competitividad a la ciudad y calidad de vida a los habitantes.

En Ciudad Juárez existe la necesidad del desarrollo de sistemas de gestión de pavimentos y la obtención de los datos necesarios para la priorización en la aplicación de los recursos económicos y humanos disponibles. La aplicación de recursos considera el estado visual de la vialidad y las percepciones del usuario; sin embargo, existe la necesidad de actualizar u obtener datos respecto a las capacidades estructurales de los pavimentos con la finalidad de realizar predicciones de las necesidades económicas y técnicas a mediano y largo plazo de las vialidades. El análisis de las necesidades de inversión futuras, en las vialidades, permitiría gestionar los recursos para que estén disponibles en los momentos requeridos – pasar de un modelo reactivo a uno preventivo.

Esta investigación tiene como principal objetivo, el de proponer una metodología de gestión de pavimentos, utilizando como caso de estudio la avenida de las Torres en Ciudad Juárez para facilitar la mejora de los índices de servicio. En este estudio se propone considerar el costo económico para el municipio en obras de mantenimiento, mejora o reconstrucción, los costos por operación vehicular por el estado del pavimento.

De este modo, el planteamiento y desarrollo de este proyecto de investigación gira en torno a la evaluación de costos para el mantenimiento, reparación de la vialidad; y el de operación vehicular para los usuarios. Esta consideración permite identificar la priorización de las obras, así como el análisis de los horarios para realizarlas.

Se analizará la viabilidad de obtención de créditos para la aplicación de los planes, realizando análisis de Valor Presente Neto con la finalidad de estudiar si éstos son recomendables.

Para el estudio se utilizará la herramienta de gestión HDM-4, programa patrocinado por el Banco Mundial. Este programa es utilizado por diferentes agencias gubernamentales y empresas contratistas enfocadas en la gestión de pavimentos en todo el mundo para facilitar la toma de decisiones de inversión en pavimentos.

1.1 Planteamiento del problema

El objetivo principal de los pavimentos es el de brindar a los usuarios un servicio de calidad que satisfaga las necesidades de movilidad, seguridad y confort con el fin de dar soporte a las dinámicas económicas y sociales. Para que lo anterior sea posible, una vez construidas las vialidades, estas deben de ser gestionadas para que ofrezcan un servicio adecuado al menor costo posible, tanto para el usuario como para el erario.

Un estado defectuoso de las carreteras origina incrementos en los costos de operación de los vehículos [2]; además, al ser las vialidades parte del patrimonio y riqueza de la ciudad es importante preservar su valor. La interacción que presentan los factores técnicos, financieros y de flujo vial dificultan la toma de decisiones para la priorización del mantenimiento vial.

Un problema que encaran las autoridades de carreteras y transportes, es que las partidas presupuestales que reciben son por lo general insuficientes para reparar y rehabilitar en forma adecuada todo tramo carretero que se deteriora [3], por lo que resulta importante utilizar de forma eficiente los recursos para incrementar los índices de servicio y reducir los costos ambientales, sociales y financieros.

Otro de los problemas identificado es la deficiente capacitación técnica de las cuadrillas de mantenimiento vial, lo que conlleva la necesidad de invertir de forma reiterada en fallas que no logran repararse de forma adecuada; estas reparaciones, aunque tienen un costo, no incrementan los índices de servicio, ni permiten conservar la estructura de los pavimentos.

En Ciudad Juárez, es necesario optimizar los recursos financieros destinados al mantenimiento y reparación de las vialidades, en la búsqueda de disminuir los gastos de las dependencias gubernamentales y de los usuarios.

La aplicación de modelos estadísticos para predecir el deterioro de los pavimentos y sus necesidades monetarias permitiría mejorar la toma de decisiones.

La aplicación eficiente de los recursos económicos y técnicos en el mantenimiento, reparación y mejora de las vialidades beneficia a la población, ya que permite la reducción de costos de operación vehicular, facilita el traslado de personas y mercancías, mejora la imagen urbana, reduce las emisiones contaminantes al medio ambiente y permite mantener o incrementar el patrimonio de la ciudad.

1.2 Justificación

La estructura vial de la localidad tiene una superficie 12 281 262 m²; del total de la superficie 1 518 935 m² (12%) se considera que requiere de un mantenimiento mínimo o preventivo para el resto (88%) se considera que el mantenimiento debe ser intensivo o reconstruir [1]. El estado actual en que se encuentra la vialidad es el siguiente: Al ser la localidad una frontera, cuya principal fuente de empleo es la industria maquiladora, es necesaria una red vial en buenas condiciones ya que las dinámicas comerciales y de servicios de la entidad

compiten con la ciudad vecina (El Paso, Texas, EE. UU.); una infraestructura deficiente le resta competitividad y merma el intercambio de productos.

Este estudio tiene como finalidad ser una herramienta útil para la mejora del estado de los pavimentos de Ciudad Juárez, ayudando a mejorar la eficiencia de los traslados y reduciendo los costos de éstos para los usuarios, preservando el patrimonio de la ciudad.

El incremento de los niveles de servicio en las vialidades aporta a la competitividad de la ciudad, mejora su apariencia, incrementa el nivel de confort para los habitantes, reduce la necesidad de reconstrucción de las vialidades, por ende, a largo plazo reduce los impactos ambientales derivados de la extracción de los agregados y fabricación de mezclas asfálticas o hidráulicas.

Existe la necesidad de analizar la interrelación de los costos de mantenimiento con los de operación vehicular, para optimizar la aplicación de recursos económicos y humanos que permitan incrementar los índices de servicio y reduzcan los costos.

1.3 Antecedentes

En el año 2007 se realizó el estudio denominado *Sistema de Administración de Pavimentos (SAP)*, en el cual se diagnosticó del total de la red vial primaria y secundaria construida, enfocándose básicamente al estado que guardaban los pavimentos de Ciudad Juárez. Tomando en cuenta las superficies de rodamiento, se tiene que 1 029 203 m² están en condiciones no aceptables, los cuales requerirían acciones de rehabilitación o reconstrucción, mientras que 2'466,294 m² están en condiciones regulares [3].

La Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF), certificó en el año 2012 el “Proyecto Integral de Pavimentación para Mejoramiento de la Movilidad Urbana Ciudad Juárez, Chihuahua,” el cual tiene como objetivo mejorar la movilidad, reducir el rezago en pavimentación y por ende mejorar la calidad del aire [4]. El proyecto plantea para esto la rehabilitación de pavimentos y la construcción de vialidades.

En el año 2013 se actualizó el SAP para conocer el estado de los pavimentos, según el informe de gobierno de la administración pública de la ciudad, esto con el fin de establecer las acciones necesarias para la conservación y mantenimiento de los pavimentos. Sin embargo, el estudio no contempló el estado estructural de la mayoría de los pavimentos, por lo que no es posible predecir las necesidades futuras de mantenimiento o reconstrucción, por lo cual se sigue realizando el mantenimiento de forma reactiva.

Para el año 2014, el Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP) da seguimiento al SAP, mediante la actualización de los datos y la recopilación de nueva información para la toma de decisiones en el Plan de Desarrollo Urbano (PDU) y así, proponer la pavimentación de nuevas vialidades. Es necesario destacar que la mancha urbana de Ciudad Juárez sigue creciendo por lo que los requerimientos de la ciudad precisan la construcción de nuevas vialidades.

En los años del 2003 al 2010, la superficie de rodamiento de Ciudad Juárez creció solo el 6%; la pavimentación de las calles es señalada como el componente más deseado por los vecinos de las colonias con 18%; sin embargo, el 50% de los componentes deseados por los vecinos se asocia a lugares con pavimento como lo son: dotación de agua potable, drenaje, alumbrado público, señalamiento vial, por mencionar algunos [3].

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar una metodología, para la elaboración de planes de gestión de las vialidades en Ciudad Juárez, tomando como caso de estudio la Avenida de Las Torres, priorizando las labores de gestión con la finalidad de optimizar los costos al municipio y al usuario; así mismo, elevar los índices de servicio de las vialidades en la ciudad.

1.4.2. Objetivos específicos

- Organizar una base de datos del estado de los pavimentos y necesidades vehiculares para actualizar el estado de los pavimentos.
- Analizar datos de la vialidad, generar predicciones de deterioro y costos que conlleve a la propuesta de planes de mantenimiento.
- Proponer flujos de financiamiento que permitan la mejora en el estado de los pavimentos.

1.5 Alcance

Se propondrá una metodología para la gestión de pavimentos en la Avenida de Las Torres, para optimizar la relación entre los recursos invertidos por el municipio en mejoras, mantenimiento y reparaciones y los costos de operación vehicular.

Se realizarán análisis financieros para identificar planes de gestión viables, considerando tasas de interés de préstamos solicitados para dichos trabajos.

Para los trabajos de mejora, mantenimiento y reparación, se elaborará un catálogo de precios unitarios, el cual permita realizar un análisis de los costos para la evaluación de diferentes planes de gestión.

1.6 Limitaciones

Referente a la vialidad: Se analizarán los costos de los pavimentos y el señalamiento horizontal. Se excluye cualquier otro equipamiento vial.

Referente a operación vehicular: Se excluyen de este estudio las emisiones al medio ambiente.

2 Marco teórico

En la primera parte de este capítulo, se definirán conceptos del pavimento y las posibles fallas que éste presentará en el transcurso de su vida útil, así como las probables causas y reparaciones. Referente a la gestión de pavimentos se enlistan y describen los pasos sugeridos.

Para concluir el capítulo 2 se abordan herramientas de la administración su aplicación en la gestión de proyectos de gestión en pavimentos.

2.1 El pavimento

Las vialidades conforman parte de la riqueza de una sociedad, estas permiten el desarrollo de actividades económicas y sociales. Las vialidades se conforman por el espacio que ocupan y los materiales que las componen. Cuando los materiales son modificados para mejorar su desempeño a estos se les llama pavimento.

El pavimento se define como el conjunto de capas de algún material seleccionado por sus características, el cual tiene la función de proporcionar una superficie apropiada de rodamiento y el cual debe de presentar una resistencia conforme a los esfuerzos que será sometido debido a su uso, tales como cargas por tránsito vehicular e intemperie [5].

2.1.1. Tipos de pavimento

A continuación, se describirán los dos tipos de pavimento construidos en Ciudad Juárez y se describirán las características que los conforman.

Pavimento asfáltico.

Es el término que se da a pavimentos cuya superficie de rodamiento está constituida por material asfáltico. Por lo general, además de asfalto en la superficie de rodamiento contiene agregados pétreos, como lo es la grava de río o triturada de caliza, con algunas variaciones en la proporción de finos. La estructura de un pavimento asfáltico consiste en: subrasante subbase, base y carpeta de rodamiento; debajo de todas ellas el terreno natural. La capacidad de carga de las capas es mayor conforme se asciende. En la Ilustración 1 se ejemplifica la posición de cada una de las capas del pavimento asfáltico

visualmente para determinar si es necesario algún estudio con el fin de conocer la magnitud o el origen de la misma, así como su procedimiento correcto para reparación.

Grietas por fatiga

Son fisuras interconectadas con patrones irregulares, comúnmente observados en donde las cargas son de mayor intensidad o los esfuerzos por cortante son frecuentes (aceleración-desaceleración de los vehículos). Las causas frecuentes de esta falla son:

- Espesor de estructura insuficiente para las cargas a las que se es sometida
- Oxidación o envejecimiento
- Deficiencia en la compactación de alguna de las capas, incluida la carpeta asfáltica.
- Mezcla asfáltica demasiado flexible
- Drenaje deficiente

La opción de reparación depende de la severidad del daño, un daño ligero no presenta hundimiento, y las grietas no están interconectadas; además, el asfalto no se desprende estableciendo socavamientos. Para este nivel, se recomienda sellar las fisuras superficialmente, o tender una “sobrecarpeta”.

En el caso de que las grietas presenten hundimiento y/o desprendimiento, la recomendación es construir sobre la capa de rodamiento existente otra capa o realizar una reconstrucción del área afectada (colocar y compactar dos o más capas de la estructura del pavimento nuevamente). En la Ilustración 3 se observan las grietas antes mencionadas, éstas presentan sedimentos de suelo fino en su interior.



Ilustración 3 Grietas por fatiga en pavimento asfáltico

Fisuras o grietas en bloque

A diferencia de las fisuras o grietas por fatiga, estas por lo general se presentan en áreas de baja intensidad de carga o sin carga, teniendo patrones rectangulares. Las causas de las fisuras en bloque se relacionan a las variaciones de temperatura - cuando la mezcla se rigidiza, pierde la propiedad de absorber los esfuerzos derivados de los periodos de contracción-dilatación o la mezcla no se diseñó considerando el clima de la zona.

El procedimiento para la reparación de estas fisuras o grietas dependerá de su severidad, pero generalmente se realiza un trabajo de sellado superficial. Algunas veces este tipo de grieta se convierte en una por fatiga, por lo que deberá darse el tratamiento de una falla de ese tipo.

Las grietas presentadas en la Ilustración 4 son un ejemplo de la falla por grieta en bloque, la zona donde fue obtenida esta ilustración está afectada en más del 90% de su superficie.



Ilustración 4 Grietas en bloque en pavimento asfáltico

Grietas longitudinales y/o transversales

Ambas se presentan por la incapacidad de la carpeta (o alguno de los materiales de la estructura) para soportar los esfuerzos de tensión; en caso de presentarse en zonas de alta carga pueden ser síntoma de fatiga en alguna de las capas de la estructura, otros de los factores que producen la aparición de estas fisuras son:

- Exceso de Filler, lo cual rigidiza la mezcla asfáltica
- Diferencias de temperatura mayor a 25 ° C
- Falla de la estructura
- Deficiente o nulo riego de liga
- Zona de transición de corte a terraplén o de terraplén a corte

La reparación sugerida es sellar la grieta superficialmente, en caso de que la grieta tenga un ancho mayor a 5 milímetros y esté afectando el índice de servicio realizar bacheo superficial.

En la Ilustración 5y Ilustración 6 se muestran grietas longitudinales y transversales.



Ilustración 5 Grietas longitudinales en pavimento asfáltico



Ilustración 6 Grietas transversales en pavimento asfáltico

Falla por elevación y/o hundimiento

Es una depresión en el pavimento, por lo general acompañada de una elevación adyacente; esta puede presentar fisuras, se presenta en zonas de alta demanda para la resistencia de cargas. Puede ser causada por mala calidad de la carpeta asfáltica (baja resistencia al cortante), la incapacidad de alguna de las capas para el soporte de cargas, la fatiga de alguno de los materiales (cargas repetitivas), compactación deficiente en la elaboración de la estructura.

Para realizar la reparación se deberá reconstruir, ubicando previamente hasta que capa de la estructura muestra incapacidad para el soporte de cargas. En la Ilustración 7 se puede observar la diferencia de nivel debido a la fatiga de la estructura del pavimento.



Ilustración 7 Falla por elevación y/o hundimiento en pavimento asfáltico

Falla por corrugación

Es un conjunto de cimas y depresiones en frecuencias relativamente breves, esto se refiere a menores de 3 metros; son perpendiculares a la dirección del tráfico. Generalmente son asociadas a la incapacidad de la capa de rodamiento a absorber las cargas por cortante, sin embargo, deberá analizarse la compactación y calidad de las capas inferiores.

La reparación consiste en el primer caso de la sustitución de la capa de rodamiento por una adecuada para la carga, y en el segundo caso la sustitución del tramo vial desde la capa que presente resistencia inadecuada a los esfuerzos. En la Ilustración 8 se muestran fallas por corrugación ubicadas en la boca calle.



Ilustración 8 Falla por corrugación en pavimento asfáltico

Falla por depresión

El pavimento generalmente presenta esta falla por los siguientes motivos:

- Inadecuado comportamiento de alguna de las capas a cargas
- Mala compactación de una zona en específico (mala compactación de zanjas)
- En pavimentos con peraltes altos en capa de rodamiento la estructura podría estar fallando
- Fatiga de alguno de los materiales

En la falla por hundimiento se deberá analizar el pavimento en su conjunto, incluidas las capas inferiores, la reparación consiste en construir o reconstruir la zona dañada, colocando y compactando de forma adecuada materiales idóneos. En la ilustración se observa como los niveles de la banqueta varían con respecto a los de la carpeta asfáltica, indicando hundimiento.



Ilustración 9 Falla por depresión en pavimento asfáltico

Fallas por grietas longitudinales y transversales

Generalmente causadas por juntas “*frías*” en el tendido del asfalto, lo cual no permite la correcta adición de los tendidos. No se asocian al efecto de las cargas. En ocasiones son el reflejo de losas de concreto en capas inferiores. Otro de los fenómenos que puede ocasionar estas fallas son los ciclos de dilatación-contracción.

La reparación cuando no presenta borde y la grieta es relativamente pequeña (no afecta el flujo vehicular), es mediante el sellado con una mezcla de arena asfalto, con el fin de evitar la filtración de agua. En la Ilustración 10 e Ilustración 11 se ejemplifican las grietas debido a junta fría.



Ilustración 10 Falla por grieta longitudinal debido a junta fría en pavimento asfáltico



Ilustración 11 Falla por grieta transversal debido a junta fría en pavimento asfáltico

Falla por bache o zanja reparada

Se debe a material colocado en la carpeta posterior a la construcción de la misma. De manera común en el país los baches se reparan colocando material asfáltico escasamente compactado que rebasa el nivel de la carpeta, considerando que las cargas debidas al flujo vehicular lo compactaran, o en otra de las alternativas el material es insuficiente por lo que se reduce la profundidad del bache, pero sigue presente. Los casos de las zanjas provocan falla por mala compactación o regresar el material a la zanja sin la debida estratificación, lo cual ocasiona una depresión.

En cualquiera de los dos casos se deberá hacer el corte necesario para realizar una buena compactación y posterior a esto utilizar materiales de rodamiento compatibles y compactos hasta el nivel de la superficie.

En la Ilustración 12 se muestra un bache que contiene más material del necesario para su reparación o con material mal compactado, por lo que se produce una diferencia de nivel con el resto de la capa de rodamiento.



Ilustración 12 Falla por bache o zanja mal reparada en pavimento asfáltico

Falla por agregados pulidos

Los materiales pétreos tienen un periodo de vida útil y una resistencia a las cargas determinada. En caso de que esta falla se presente temprano en la vida de la carpeta se deberá principalmente a dos motivos:

- Mala calidad de los agregados
- Granulometría inadecuada

Las estrategias de reparación dependen del grado de severidad, en caso de que el pulido sea moderado se puede realizar un riego pesado y extender material pétreo, el otro, indicado para daños severos, es el fresado y colocar una nueva capa de material asfáltico tendido a la temperatura adecuada para que la liga asfáltica funcione adecuadamente en la unión.

Como se muestra en la Ilustración 13, los agregados presentan formas redondas, además las granulometrías de los agregados pétreos son menores a las recomendadas.



Ilustración 13 Falla por agregados pulidos en pavimento asfáltico

Falla por bache abierto

Debido a mezclas pobres en los pavimentos o la incapacidad de alguna de las capas para soportar las cargas, se generan socavamiento. Éstos incrementan su tamaño rápidamente con las lluvias.

Para realizar la reparación en baches que solo muestran falla en la capa de rodamiento, rellenar y compactar con material adecuado. Para los que muestran falla estructural, será necesario sustituir las capas de soporte, compactar y al final colocar material adecuado y compactar.

La Ilustración 14 muestra una falla por bache de aproximadamente 0.027 m² de superficie.



Ilustración 14 Falla por bache abierto en pavimento asfáltico

Falla por deformación (rodera)

Esta falla la provoca la incapacidad de la estructura del pavimento para soportar las cargas. Se presentan generalmente en zonas de alta demanda.

La reparación requerida es a nivel estructural, corte, abastecimiento de nuevo material, compactación y carpeta.

La Ilustración 15 pertenece a un área de desaceleración-aceleración, la falla provoca que los vehículos que circulan de forma transversal (a la falla), disminuyan su velocidad. En presencia de lluvia captura la precipitación.



Ilustración 15 Falla por deformación en pavimento asfáltico

Falla por disgregación y desintegración

Falla causada por la mala calidad de la carpeta de rodamiento. El ligante asfáltico es insuficiente, o se endureció y su comportamiento es plástico, o se derramaron sustancias que actuaron como solventes.

Las reparaciones dependerán del nivel de daño, se incluyen: riego de sello, reciclaje, y colocación capa asfáltica posterior al fresado de la capa existente.

En la Ilustración 16 se muestran grietas y el inicio de socavaciones debidas a la desintegración de la capa de rodamiento asfáltico.



Ilustración 16 Falla por disgregación en pavimento asfáltico

2.1.3. Fallas en los pavimentos hidráulicos y propuestas de reparación

Estos pavimentos generalmente necesitan menos mantenimiento que los asfálticos; sin embargo, la atención de las fallas y la especialización de estas reparaciones son necesarias para mantener las superficies en niveles adecuados de servicio.

Falla por fisura transversal y longitudinal

La falla se presenta por diferentes motivos. A continuación, se presentarán los más comunes:

- Figuración temprana por corte tardío
- Por fatiga: espesor de losa insuficiente
- Cargas mayores a las capacidades de las losas
- Cortes demasiado lejanos
- Erosión de las capas inferiores, por lo tanto, pérdida de soporte
- Reflexión de losas inferiores

Para evitar estas fallas se requiere un diseño adecuado de las losas y las juntas. Durante la ejecución se necesita realizar los cortes en los tiempos correctos, el correcto confinamiento de las capas inferiores.

Cuando la falla se presenta se recomienda sellar las grietas para evitar que materiales arcillosos y humedad se introduzcan a las capas inferiores del pavimento. En algunos casos se recomienda pasar el disco de corte y después sellar.

En la Ilustración 17 se puede observar grietas longitudinales (1) y transversales (2), con un exceso de sello, lo cual no es recomendable ya que este exceso se adhiere a los neumáticos y reduce el tiempo que permanecerá sellada la grieta.



Ilustración 17 Falla por fisura en pavimento hidráulico

Falla por rotura de esquina

Es una falla que se presenta en la unión de juntas transversal y longitudinal con una orientación por lo general a 45°.

La pérdida de soporte por erosión es común, otro de los motivos puede ser debido a un diseño inadecuado del espesor de las losas.

Cuando la falla se presenta se recomienda sellar las grietas para evitar que materiales arcillosos y humedad se introduzcan a las capas inferiores del pavimento. En algunos casos se recomienda pasar el disco de corte y después sellar. La reparación a largo plazo es el retiro de las losas afectadas y corregir según sea el caso la estructura del pavimento o el diseño del mismo.

En la Ilustración 18 se señala con una flecha un ejemplo común en el tramo de estudio de dicha grieta.



Ilustración 18 Falla por rotura de esquina en pavimento hidráulico

Falla por erosión por bombeo

Esta falla se presenta cuando la presencia de agua debajo de la capa de rodamiento se bombea a la superficie por la acción de las cargas, lo cual erosiona las capas inferiores que dan soporte a la estructura del pavimento, provocando la pérdida de la capacidad de carga.

Para evitar esta falla, se recomienda evitar flujos de agua en la parte inferior de la capa de rodamiento, además del sellado de las juntas. La capa de base deberá, en lo posible, ser resistente a la erosión.

La reparación consiste en retirar losas completas y corregir la falla estructural de las terracerías, es importante identificar la causa de la falla y evitar flujos de agua. Posterior a esto colocar una losa nueva y sellar de forma adecuada las juntas.

La Ilustración 19 da un ejemplo de la falla por bombeo, se puede observar una acumulación de partículas de suelo fino en desnivel de las losas.



Ilustración 19 Falla por erosión por bombeo en pavimento hidráulico

Falla por levantamiento de losas

La falla se puede presentar principalmente por tres factores: la presencia de materiales expansivos en las capas inferiores o el mal diseño de las juntas de dilatación contracción o la incapacidad de cargar de las capas inferiores. Cada uno de los factores puede ser atendido durante la construcción del pavimento.

Al ser esta falla debida razones estructurales, su reparación consiste en el levantamiento de las losas, corrección de las terracerías y colocación de losas nuevas. Se debe de descartar por medio del diseño adecuado que las juntas de contracción dilatación sean la causa del levantamiento.

En la Ilustración 20 se ejemplifica la falla, ésta, en específico, puede deberse al comportamiento diferenciado de las dos etapas del pavimento, ya que los carriles en donde se observa denotan diferentes periodos de construcción y diseño. Además, las juntas de la losa ubicada en la parte inferior de la ilustración no cuentan con sello, y al ser esa zona propensa a las inundaciones, probablemente los escurrimientos se introducen a las capas inferiores de la estructura.



Ilustración 20 Falla por levantamiento de losas en pavimento hidráulico

Falla por despostillamiento de juntas

Es una desfragmentación localizada a la orilla de las juntas; existe la posibilidad de que el despostillamiento ocurra al retirar la cimbra. De no ser ese el caso puede deberse al corte prematuro o a la intrusión de materiales incompresibles.

Para el último caso, se recomienda el correcto sellado de las juntas. Su reparación a largo plazo involucra la utilización en estas áreas de morteros de alta resistencia para eliminar la diferencia de niveles o el remplazo de las losas.

La Ilustración 21 muestra el despostillamiento de 3 esquinas colindantes, se aprecia que son carentes de sello y que en su interior presentan materiales finos.



Ilustración 21 Falla por despostillamiento de losas en pavimento hidráulico

Falla por losas subdivididas

La losa presenta grietas que cuadriculan la losa, lo cual puede presentarse debido a la reacción álcali sílice, el inadecuado diseño de losas o por la dilatación térmica excesiva.

Cuando la falla se presenta se puede aumentar el periodo de vida del pavimento sellando las grietas; a largo plazo se recomienda revisar el diseño del pavimento y sustituir los elementos que presentan falla.

La Ilustración 22 muestra por medio de flechas fallas por grieta transversal, en esta sección del pavimento del tramo en estudio el 100% de las losas muestra este problema.



Ilustración 22 Falla por losas subdivididas en pavimento hidráulico

Falla por deficiencia de material de sello

Generalmente, el material utilizado para sellar las juntas es de mala calidad o inadecuado, lo cual facilita la entrada de agua y materiales no deseados a esta. Es necesario realizar mantenimiento al material de sello y elegir materiales adecuados.

El material de sello inadecuado no necesariamente se eliminará por las cargas del tráfico o por la intemperie, por lo cual es crucial asegurar que el material que se utilizará es el adecuado, debido a que algunos materiales para su retiro requieren de recursos humanos y económicos mayores a la instalación de materiales adecuados.

El mantenimiento debe de diseñarse para efectuarlo de forma rutinaria y correctiva. La colocación de sello debe hacerse por personal capacitado y con alto sentido de responsabilidad.

Una vez que se coloca material inadecuado de forma incorrecta como se ejemplifica en la Ilustración 23, la reparación viable es retirar por medios mecánicos el material inadecuado y colocar un material que cumpla las funciones requeridas. El material colocado en la Ilustración 23 corresponde a el sello que debe ser utilizado para el sellado de grietas en pavimentos asfálticos, lo cual causa falla por agrietamiento en el sello por los ciclos de contracción dilatación.



Ilustración 23 Falla por deficiencia de material de sello en pavimento hidráulico

Falla por fisuras inducidas

La inadecuada distribución de las juntas, la reparación inadecuada de las losas y el dimensionamiento de las anteriores.

Estas fallas pueden prevenirse, realizando un diseño adecuado y en la necesidad de construir una losa atípica reforzarla para que no transmita cargas a las losas aledañas.

La falla se corrige sustituyendo las losas, verificando el diseño de dimensionamiento y estructural, la falta de sello provoca que materiales no compresibles ocupen el espacio destinado para la dilatación de la losa, por esta causa también se pueden inducir fisuras.

En la Ilustración 24 se observan fisuras inducidas en la parte superior (indicado con una flecha) la fisuración causo un bache. La junta carece de sello, y dentro de la junta se observa material fino, el material fino no permite la dilatación aislada de las losas por lo que se provocan esfuerzos laterales.



Ilustración 24 Falla por fisura inducida en pavimento hidráulico

Falla por dislocamiento

La falla se observa cuando alguna losa tiene un nivel diferente de la losa aledaña, las causas pueden ser las mismas que las fallas por bombeo. En general, la losa que se encuentra por debajo del nivel perdió soporte o las capas inferiores fueron compactadas por el tráfico.

El motivo de esta falla es estructural, las losas deberán ser sustituidas por nuevas; las capas interiores que dan soporte deberán retirarse y colocarse material adecuado y debidamente compactado.

La Ilustración 25 es un ejemplo de los dislocamientos en pavimentos, esta falla se presentó en la colindancia longitudinal del pavimento del cuerpo lateral y el cuerpo principal.



Ilustración 25 Falla por dislocamiento en pavimento hidráulico

Falla por hundimiento

La losa presenta fractura y hundimiento, esto debido a una capacidad inadecuada para soportar las cargas de las capas inferiores debido a mala compactación, arrastre de material por flujo de agua, asentamientos diferenciales, por mencionar las más comunes.

Al ser una falla de tipo estructural de las capas inferiores del pavimento, estas deberán ser remplazadas, deberá revisarse si los materiales se fatigaron antes de lo previsto en el diseño, o si fueron arrastrados por algún escurrimiento.

Se sustituirán las losas posteriores a garantizar el uso de material adecuado en la terracería y su correcta compactación.

En caso de que existan escurrimientos en las capas inferiores que provoquen el arrastre de material deberán ser redirigidos o confinar las capas de terracería.

La Ilustración 26 muestra el ejemplo más crítico de hundimiento en el tramo de estudio, esta falla provoca la disminución de la velocidad de los vehículos, en caso de precipitación capta el agua; las fisuras y juntas carecen de sello por lo cual parte del escurrimiento se filtra a las capas inferiores de la estructura del pavimento.



Ilustración 26 Falla por hundimiento en pavimento hidráulico

Falla por pulimiento de superficie

Cuando la superficie de rodamiento es excesivamente lisa puede deberse a la apertura temprana al tráfico, mala calidad del concreto o agregados que se degradan con el medio ambiente.

Se puede reparar realizando un fresado ligero con la intención de incrementar el coeficiente de fricción de los neumáticos, en el caso de que los materiales pétreos o la calidad del

pavimento lo permitan. Si los agregados pétreos o la calidad del concreto no permiten el fresado las losas deberán de ser retiradas. En la Ilustración 27 se muestra una losa pulida ubicada en el tramo de estudio, una superficie pulida incrementa el tiempo y longitud de frenado.



Ilustración 27 Falla por pulimiento de superficie en pavimento hidráulico

Falla por bache

En estos pavimentos los baches se presentan generalmente por las siguientes causas:

- Mala calidad del concreto
- Capas inferiores del concreto inestables.
- Espesor de la capa del concreto insuficiente.

La reparación de un bache en este tipo de pavimento requiere identificar la causa que lo produjo, En caso de que sea por mala calidad en el concreto, la losa completa deberá ser sustituida, si las capas inferiores son inadecuadas o inestables, deberá retirarse la losa completa y sustituir por material adecuado compactando hasta lograr la estabilidad necesaria. Si la capa de concreto es insuficiente, la losa completa deberá ser sustituida por una de mayor resistencia o mayor peralte.

Si el bache ocupa menos del 15% de la losa, y el problema no es las capas inferiores, pudiera deberse a una mezcla mal lograda en la zona, por lo que se puede realizar un corte apropiado en la losa por medios mecánicos, demoler el área y colocar concreto nuevo.

En el caso de la Ilustración 28, los baches que aparecen en la imagen (señalados con una flecha) deberán ser reparados retirando el total de las dos losas que involucran además de baches grietas profundas y fallas por inducción.



Ilustración 28 Falla por bache en pavimento hidráulico

2.2 Gestión de pavimentos

El estado de los pavimentos en cualquier país, o ciudad, incide en los procesos sociales y económicos de la población. Las vialidades representan una gran inversión económica para la sociedad; por ello es necesaria la implementación de estrategias que permitan mantener este patrimonio, no solo por la inversión que se hizo para construirlas, también es necesario mantener niveles de servicio adecuado para las dinámicas que dependen de estas redes.

La gestión de pavimentos es la optimización de los recursos económicos y técnicos, que comprenden las operaciones necesarias para diseñar, construir y conservar por un periodo de tiempo determinado condiciones de seguridad, comodidad y capacidad.

La gestión de los recursos económicos, para la aplicación de los trabajos adecuados de mantenimiento y reparación en los tiempos precisos, son el motivo del estudio del comportamiento de los pavimentos a lo largo de su vida. Esto permite prolongar la vida útil de las vialidades manteniendo estándares de servicio aceptables al menor costo posible; de

tal manera que se puede realizar un esquema de inversiones necesarias correlacionando la inversión que será necesaria para mantener un estado o recuperarlo, en la Ilustración 29 se muestra en flechas color rojo la inversión necesaria (en forma ilustrativa) para regresar al pavimento a su estado inicial de servicio. En la etapa 1 se observa una tendencia de deterioro casi lineal; la etapa dos se divide en dos sub etapas (2A y 2B) ya que la curva de deterioro presenta un cambio de pendiente en la cual los deterioros suceden de forma más rápida que en las etapas anteriores, esto debido a que el estado del pavimento está entre regular y malo; en la etapa 3 los índices de servicio pueden considerarse no aceptables.

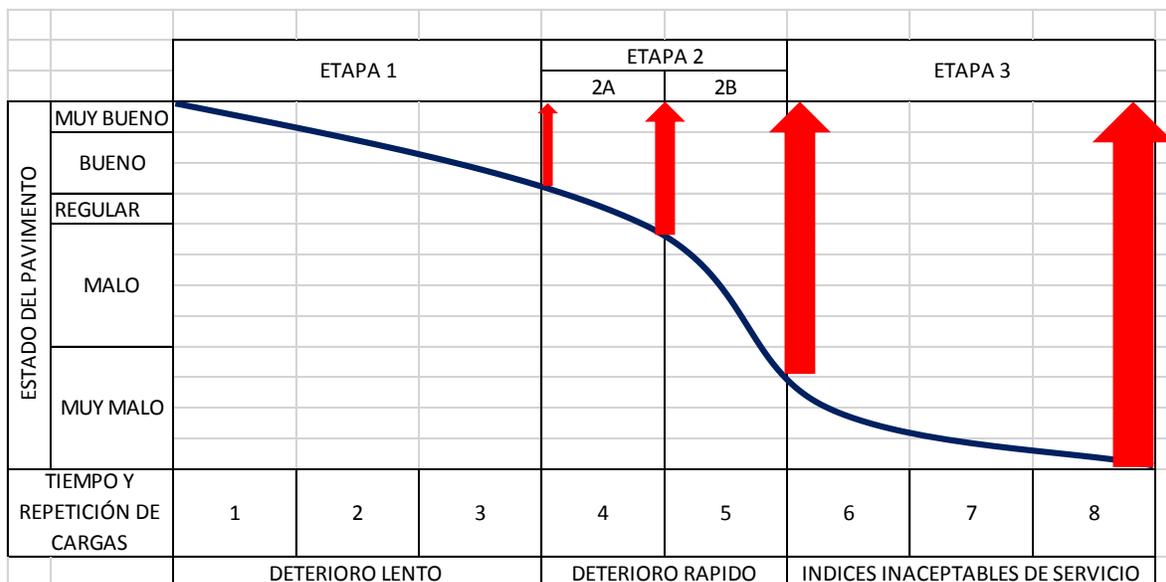


Ilustración 29 Deterioro de los pavimentos respecto a tiempo y cargas [6]

El ciclo de gestión consta de al menos cuatro actividades que a continuación se enlistan y describen:

- **Planificación:** Se realiza un análisis del conjunto de las vialidades, y se establecen los presupuestos a mediano y largo plazo, además se hacen predicciones de necesidades de mantenimiento, cargas vehiculares y posibles deterioros o mejoras en los distintos tramos carreteros.
- **Programación:** Se preparan los diferentes escenarios de costo-beneficio, asignando presupuestos específicos a los tramos viales. Debido a que los presupuestos son generalmente limitados se priorizan las obras, en la búsqueda de optimizar los recursos.
- **Preparación:** En esta fase, las labores que se determinaron a realizar y se autorizaron se analizan a detalle. Por lo general, los recursos económicos ya fueron autorizados. Es importante analizar los costos beneficios de las labores de mantenimiento, mejora o construcción. Se determinan los alcances y especificaciones de los trabajos a realizar.
- **Operaciones:** Costa de la ejecución de las obras determinadas en los pasos anteriores, así como la supervisión y coordinación de recursos humanos, materiales y

maquinaria. Se requerirá la actualización de datos para el sistema de gestión. Las operaciones se planifican generalmente por semana.

La gestión adecuada deberá estar basada en las necesidades de los pavimentos considerando los recursos disponibles en periodos de tiempo correspondientes a periodos presupuestarios o administrativos; el ciclo puede ser esquematizado como lo muestra la Ilustración 30 en la que se puede observar el proceso de las operaciones de un sistema de gestión.

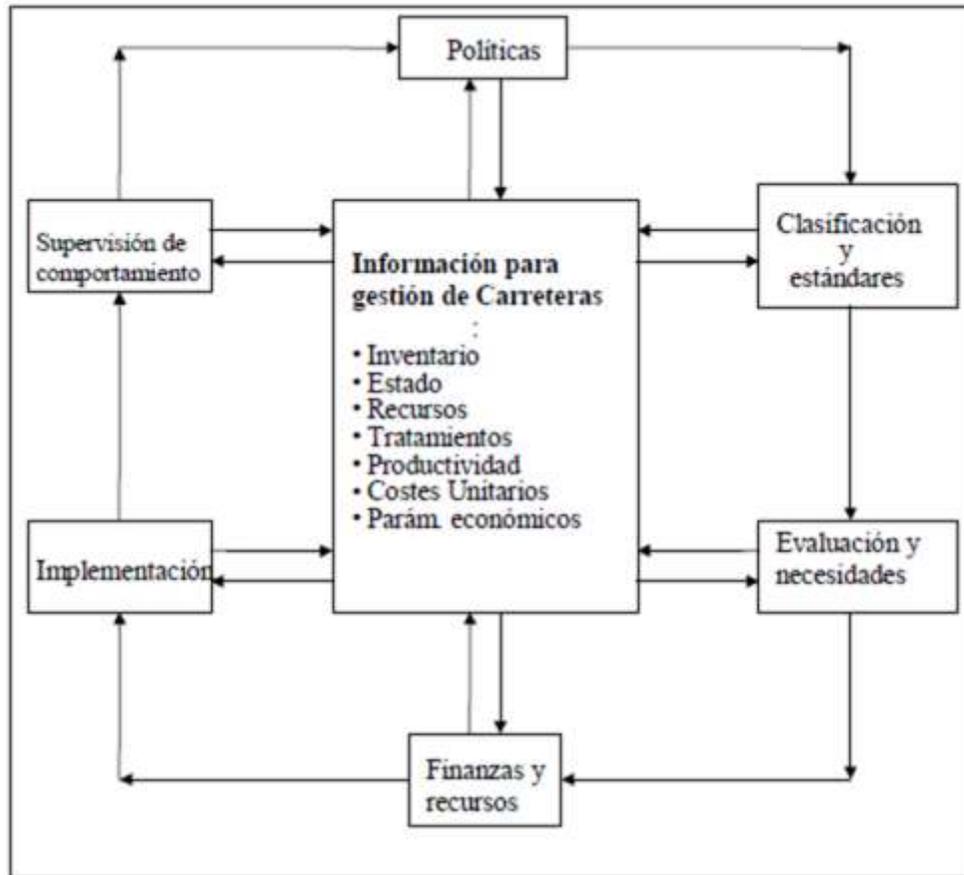


Ilustración 30 Ciclo de las operaciones en el ciclo de gestión de pavimentos [1]

2.2.1. Índice de servicio actual de los pavimentos

En los años setentas se desarrolló por la *American Association of State Highway Officials* (AASHO por sus siglas en inglés) el índice o nivel de servicio actual (ISA) el cual consiste en calificar el grado de confort y seguridad que el usuario percibe al transitar por un camino a la velocidad de operación y lo realiza un grupo o panel de evaluadores [7]. Cada evaluador debe calificar el camino de una manera subjetiva en una escala de 0 a 5, correspondiente a una superficie intransitable y a una superficie en excelentes condiciones, respectivamente.

El método califica, de forma subjetiva, el estado de los pavimentos, debido a que la obtención de este índice es dependiente de la percepción de los evaluadores; los evaluadores calificarán el estado de la vialidad por medio de recorridos en un vehículo, lo que pretendía establecer el estado de la superficie de rodamiento sin afectar el tráfico.

Obtenidos los datos estos se promedian con la finalidad de realizar un análisis estadístico de la percepción del estado de los pavimentos.

Actualmente el Índice Internacional de Rugosidad (IRI), es el indicador con mayor aceptación para la medición de la calidad de la superficie de los pavimentos, sin embargo, esta medición requiere de equipo y personal altamente capacitado.

El IRI es el valor de las irregularidades verticales acumuladas a lo largo de una distancia. El valor de este indicador será menor conforme las mediciones se acerquen a una superficie horizontal teórica y mayor conforme este valor crezca.

Existen equipos sofisticados para la medición del IRI, los cuales por medio de recorridos en vehículos equipados realizan mediciones del estado superficial de los pavimentos; estos equipos además identifican los deterioros y su ubicación, así como la macro textura de la superficie de rodamiento.

Debido al costo inicial y de operación los equipos de alto rendimiento son escasos a nivel nacional, por lo cual se diseñaron tablas de correlación entre ISA-IRI. Pero “el Banco Mundial recomienda que no se utilice la calificación del panel de evaluadores (ISA) para la obtención o correlación del Índice Internacional de Rugosidad, debido a que ambos parámetros tienen principios contrarios; mientras que uno es sentido (ISA), el otro es medido (IRI)” [7].

En la Ilustración 31 se establecen criterios para establecer de forma aproximada los IRI de tramos recorridos por personal calificado; estos recorridos incluyen trayectos en vehículo a la velocidad de diseño y observaciones realizadas en por el personal a pie.

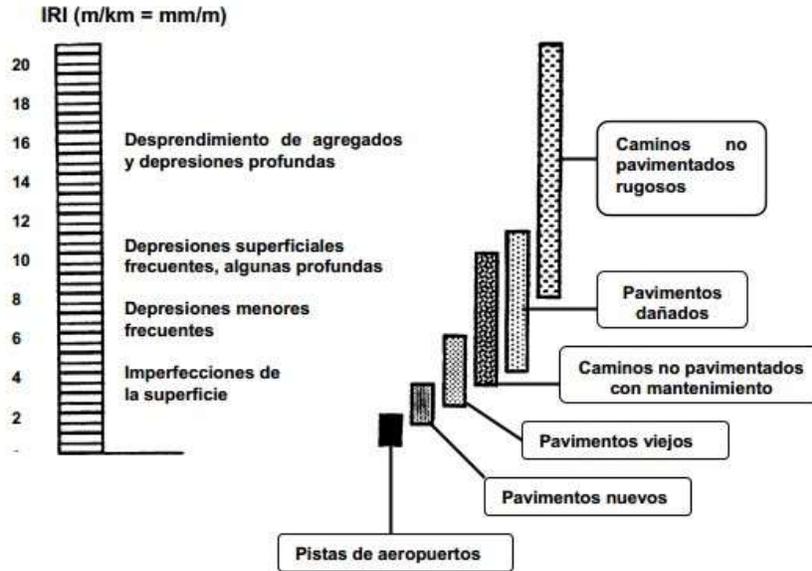


Ilustración 31 Correlación de ISA-IRI [7]

2.2.2. Antecedentes de los modelos HDM para gestión de pavimentos (Highway Desing and Maintenance Standards Model)

En 1976 la primer versión del Modelo de Estándares y Conservación de Carreteras (Highway Desing and Maintenance Standards Model (HDM)), fue desarrollado por el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) con patrocinio del Banco Mundial [8]. Este modelo fue empleado para examinar la interacción de los costos de operación (usuario) y los costos de los pavimentos [8].

Posterior a la utilización de este modelo, el Banco Mundial patrocina estudios para ampliar las diferentes condiciones en las que el modelo pudieran ser aplicado; estas condiciones incluían las geográficas, factores de tráfico y materiales utilizados en la fabricación y geometría de las vialidades [8].

Estudios en los años posteriores, incorporaron factores al modelo HDM. En 1987 se crea la versión HDM-III. Esta versión tuvo modificaciones para incorporar su uso a computadoras de escritorio, las cuales fueron llamadas HDM-Q las cuales incorporaban los efectos de flujos lentos en el tráfico. El HDM Manager proporcionaba una interface que facilitaba al usuario su uso [8].

Del cambio de materiales en la construcción de las vialidades, la incorporación de nuevas tecnologías en el parque vehicular (lo cual modifico sus requerimientos), y la necesidad de incorporar factores medioambientales, así como de seguridad surge la necesidad de actualizar el modelo para lo cual se crea HDM-4.

2.3 HDM-4 programa para gestión de pavimentos

El programa HDM-4 es una herramienta para la gestión de redes viales. Esta herramienta facilita la toma de decisiones durante el ciclo de gestión, el cual comprende: planificación, programación, preparación y operaciones.

Para lo anterior se considera: el costo de las obras, el costo de operación de los vehículos, efectos de la congestión del tráfico, el clima, condiciones estructurales de las vialidades, seguridad vial y los efectos medio ambientales.

2.3.1. Marco analítico del HDM-4

El programa HDM-4 considera que los trabajos de mantenimiento y reparación, aplicados a lo largo de la vida de los pavimentos, inciden en la capacidad para mantener la capacidad de carga y los niveles de servicio. El programa ofrece la predicción de deterioros y costos ambientales, del usuario y de las entidades encargadas de la conservación y mantenimiento; también calcula las emisiones vehiculares al medio ambiente. Por lo anterior permite un análisis rápido de los diferentes escenarios futuros a diferentes planes.

Las predicciones están enfocadas a los siguientes factores:

- Deterioros de los pavimentos
- Efectos de las obras de reparación y mantenimiento
- Efectos en los costos de los usuarios
- Efectos en los costos de las entidades encargadas de los pavimentos
- Efectos en los costos medio ambientales

Los factores que considera para la predicción de los efectos antes mencionados son:

- Las cargas de tráfico
- Los efectos medio ambientales de los pavimentos
- Defectos de drenajes inadecuados

Respecto a las predicciones de deterioro, y los efectos que tienen en éstos las reparaciones y mantenimiento efectuadas, es esencial introducir el programa datos cercanos a la realidad, la calidad de esto datos será la que determine la certeza de las predicciones.

Para determinar el costo que tendrá el mantener una vía en algún estado de servicio, el programa deberá ser alimentado con un catálogo de precios unitarios actualizado.

Los costos del usuario, es conveniente actualizarlos, detallando la composición del tráfico y el volumen. Se deberá actualizar el costo de los combustibles, llantas, aceites, depreciación y refacciones. El programa relaciona el IRI (Índice de rugosidad Internacional), con la composición y volumen del tránsito de la vía; así obtiene el gasto de los usuarios.

Los datos del usuario también serán útiles para el cálculo de afectaciones al medio ambiente, ya que la herramienta calcula las emisiones de los vehículos considerando las variaciones en

las velocidades del recorrido, el ruido producido y el consumo de energía por la quema de combustibles.

La herramienta calcula los beneficios y costos de diferentes planes de acción, para los cuales se deberá asignar estándares mínimos para su operación.

Para realizar las comparaciones entre diferentes planes se necesitan datos detallados sobre planes de inversión, estándares de conservación y mantenimiento, además los costos de cada uno de los trabajos. Si existen cambios en la composición y/o volumen de cargas vehiculares también deberán introducirse.

2.4 Herramientas de administración financiera

Las herramientas de administración financiera permiten la planificación de los recursos económicos para optimizar las fuentes de dinero y este pueda ser utilizado en los tiempos requeridos.

Para comenzar un análisis financiero es importante conocer los siguientes tres términos:

- **Liquidez:** es la capacidad que se tiene para el pago de los compromisos adquiridos.
- **Rentabilidad:** Es el rendimiento que se generan al poner los activos en operación.
- **Tasa de rendimiento:** Es el porcentaje de utilidad en periodos determinados.

2.4.1. Valor presente neto

Actualmente es una de las herramientas más utilizadas para determinar cuál inversión es rentable.

El Valor Presente Neto (VPN) se obtiene con la siguiente fórmula:

$$VPN = -S_0 + \sum_{t=1}^n \frac{St}{(1+i)^t} \quad (1)$$

En donde:

VPN: Valor presente neto

S_0 : Inversión inicial

St : Flujo de efectivo del periodo t

n : Número de periodos de vida del proyecto

i : Tasa de recuperación mínima atractiva (TREMA)

Mediante la ecuación (1) podrá obtener un conjunto de tres resultados posibles:

1. Si el valor es negativo indica que la inversión tendrá un decremento en el valor. Si el resultado es cero indica que el valor de la inversión será el mismo al final del periodo establecido.

2. Cuando el valor es positivo indica que la inversión inicial tendrá mayor valor al final del periodo del tiempo, por lo se le cataloga como rentable.
3. Si se comparan dos proyectos de igual riesgo el que tenga el mayor VPN será el más rentable.

Valor máximo de la inversión inicial rentable

Para determinar el valor máximo para que la inversión sea rentable, se puede llegar a la siguiente desigualdad de la ecuación (1):

$$S_0 < \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

El valor obtenido para S_0 permite determinar cuál será el valor máximo de la inversión inicial para que el emprendimiento sea rentable. La diferencia entre el valor obtenido y el estimado para iniciar el emprendimiento es una herramienta para establecer el margen de la inversión inicial respecto a los flujos necesarios para hacerla rentable.

Si la inversión inicial es mucho mayor se debe proponer otro proyecto, si la inversión es pequeña y aun así es rentable significa que podrá reinvertirse en el proyecto manteniéndolo rentable.

3 Metodología

La metodología planteada para la consecución de este proyecto consta de la recopilación de datos en dependencias gubernamentales, el uso de fotografías satelitales, la observación de la vialidad y el tráfico de la misma, cálculos obtenidos por el autor y su análisis. La finalidad será la propuesta de un plan de gestión de los pavimentos el cual optimice la aplicación de recursos financieros y técnicos reduciendo los costos para el municipio y el usuario.

3.1 Obtención y cálculo de las características de los pavimentos

Es necesaria la creación de una base de datos referentes a los pavimentos localizados en la vialidad estudiada. Los datos son principalmente cinco: geometría, tipo de pavimento, estado del drenaje superficial, estado superficial del pavimento y estado estructural del pavimento.

3.1.1. Geometría de la vialidad

La geometría se determinará con el análisis de fotografías satelitales utilizando la aplicación, en línea, de mapas *Google Maps*. Esta herramienta cuenta con las utilidades necesarias para realizar estas mediciones.

El rendimiento de los vehículos de combustión interna está relacionado entre otras cosas con la altura sobre el nivel del mar, los datos altimétricos de la vialidad, de igual manera que los datos geométricos pueden ser obtenidos con *Google Maps*.

3.1.2. Tipo de pavimento

El tipo de pavimento y su ubicación dentro del tramo se obtendrá por medio de recorridos en tramo por parte del autor. Durante los recorridos se identificarán puntos visibles en las fotografías satelitales de *Google Maps*, para medir la distancia en las que se mantiene el mismo tipo de pavimento y las áreas que éstos tienen.

3.1.3. Estado del drenaje superficial

Por medio de recorridos, por parte del autor, se identificarán indicadores de la acumulación de agua, y los niveles alcanzados. Baches y grietas, en donde pueda acumularse agua, serán fotografiados y referenciados para la creación de la base de datos.

3.1.4. Estado superficial de los pavimentos

Por medio de recorridos, por parte del autor, se determinará el número de baches por tramo y longitud de grietas, realizando mediciones con cinta directamente sobre los mismos. Se relacionarán las observaciones visuales y mediciones con el IRI (Índice Internacional de Rugosidad, por sus siglas en inglés).

3.1.5. Estado estructural de los pavimentos

Se recopilará la información existente de las dependencias gubernamentales para generar una base de datos.

El autor obtendrá datos propios utilizando Viga Benkelman acorde a la norma AASHTO T-256-01, con la finalidad de obtener datos actuales.

3.2 Obtención y cálculo sobre aforo y características vehiculares

El volumen de tráfico y su caracterización determinan las cargas a las que se somete al pavimento. Los datos son necesarios para la generación de las predicciones de deterioro en la vialidad, debido a que el tipo y la cantidad de vehículos determinan las cargas a las que se someten los pavimentos.

Para determinar el costo al usuario, la caracterización es indispensable ya que se calculará el consumo de combustibles y refacciones.

Se filmará el tráfico en ocho puntos en el tramo de estudio, en los puntos establecidos se video grabará tanto en el sentido norte sur como en el sur norte. Los videos serán analizados para realizar el conteo de vehículos determinar sus características. Las categorías se enlistan en la Tabla 1; éstas coinciden con las planeadas por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), en la publicación Técnica 471 del año 2016.

Categoría	Características
1	Camión articulado (T3-S3)
2	Camión articulado (T3-S2)
3	Camión articulado (T3-S2-R4)
4	Camión de tres ejes
5	Camión de dos ejes
6	Autobús foráneo
7	Vehículo ligero

Tabla 1 Características vehiculares [9]

En la investigación del IMT se obtuvieron costos de operación base, por lo que se actualizarán los precios y se obtendrán los costos de operación actualizados para este estudio.

3.3 Base de datos climáticos

El clima es uno de los cuatro factores que determinan el comportamiento de los modelos de predicción, esta base contiene datos recabados en el Laboratorio de Climatología y Calidad del aire de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, y datos obtenidos por el autor usando los datos del laboratorio antes mencionado.

3.3.1. Recopilación de datos climáticos

Se solicitarán a El Laboratorio de Climatología y Calidad del aire de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez los siguientes datos: precipitaciones, temperaturas medias, máximas y mínimas mensuales, días con temperaturas con un promedio mayor de 32 grados centígrados, temperaturas y evapotranspiración cada cinco minutos. Los datos recopilados y analizados comprenden un periodo de los últimos 3 años

3.3.2. Cálculo del índice Thornthwaite

1.- Calcular la evapotranspiración media mensual (e), para la cual se utilizarán los datos de la evapotranspiración ocurrida cada 5 minutos en el periodo de tres años: Sumar las evapotranspiraciones (lecturas cada 5 minutos) de cada uno de los meses por el periodo de 3 años. Una vez obtenido este dato se promediarán las sumas de cada mes similar, es decir se sumarán las evapotranspiraciones de los tres eneros comprendidos en los tres años y se dividirá en 3, para los febreros lo mismo y así sucesivamente para cada mes.

2.- Para la obtención del factor L se relacionan al mes con la latitud norte de la ubicación y proporciona un factor de ajuste para las horas de sol.

3.- Obtenidos los datos del punto 1 y 2 para cada uno de los meses del periodo de tres años, éstos se promedian para tener un dato correspondiente a los meses de un año.

4.- Para la obtención de la Evapotranspiración potencial media mensual (ETP), correspondiente a cada mes se utiliza la ecuación (3):

$$ETP = eL \quad (3)$$

Dónde:

ETP: Evapotranspiración potencial media mensual

e : evapotranspiración media mensual

L : factor de ajuste por horas de sol

5.- Para los excesos y déficits de agua se realiza un balance hidrológico: con los datos de las precipitaciones; consiste en hacer una sumatoria de los datos de lluvia, los que se promediaron por mes los tres años y se identificó el mes de mayor precipitación. El mes que sigue del de mayor precipitación (cronológicamente), a su promedio de precipitaciones le fue restado el promedio de precipitación anterior (la mayor), hasta que cumpliendo con el ciclo de un año se obtenga este cálculo acumulativo para cada mes, los números negativos corresponden a déficit mientras que los positivos corresponden a excesos. Al final de este cálculo se debe confirmar que la suma algebraica tiene como resultado cero.

6.- Con la sumatoria de Evapotranspiraciones potenciales medias mensuales (ETP), los déficits y los excesos de agua se aplicarán las siguientes ecuaciones para la obtención del Índice de Thornthwaite.

$$\text{Índice de exceso} = \frac{\Sigma \text{excesos de agua}}{\Sigma \text{ETP}} \quad (4)$$

$$\text{Índice de déficit} = \frac{\Sigma \text{deficits de agua}}{\Sigma \text{ETP}} \quad (5)$$

$$\text{Índice de Thornthwaite} = \text{Índice de exceso} - (0.6 \text{ Índice de déficit}) \quad (6)$$

3.3.3. Cálculo de la precipitación media mensual

Los datos de los últimos tres años de las precipitaciones mensuales serán sumados y divididos entre 36 para la obtención de este dato.

3.3.4. Cálculo de la temperatura media anual

Se calcula haciendo la sumatoria de las temperaturas medias mensuales por el periodo de 3 años y dividiéndolo entre los 36 meses que conforman el periodo.

3.3.5. Cálculo del rango de temperaturas ambientales medias mensuales

Se identifica en cada uno de los 3 años de datos, el mes con menor y mayor promedio de temperatura, en cada uno de los años se obtiene el rango entre éstos promedios de temperaturas, se realiza la sumatoria de los rangos y se divide entre 3 para la obtención del rango promedio de temperaturas mensuales de los tres años.

3.3.6. Cálculo del índice de helada

Para realizar este cálculo se identifica en el periodo de tres años los días que se tuvo una temperatura media menor a cero grados centígrados, y se suma a las temperaturas medias.

3.4 Calibración del modelo en HDM-4

Se introducirán en el inicio las capacidades de carga obtenidas por las dependencias gubernamentales, para someterlas a las cargas vehiculares obtenidas en los mismos años; esto con la intención de verificar que el modelo corresponda con las capacidades de carga actuales obtenidas por el autor. Por medio de revisiones bibliográficas se identificarán las variables que al ser modificadas muestren mejores resultados para la calibración del programa HDM-4 en condiciones similares al tramo en estudio.

Es necesario que para esta calibración se obtengan en dependencias gubernamentales los trabajos de reparación y mantenimiento históricos en la vialidad, en caso de no ser así, se deberán de determinar aproximaciones por medio de recorridos por parte del autor.

3.5 Recopilación de los costos de trabajos de reparación y mantenimiento

En dependencias gubernamentales se recopilarán datos referentes a catálogos de trabajos de mantenimiento y reparación utilizados históricamente y los del año en curso, Se creará una base de datos para utilizarla en HDM-4. En el caso de que las cuadrillas de las dependencias realicen algunos de los trabajos, el autor creará una base de datos basado en datos de empresas particulares.

3.6 Obtención de las predicciones de deterioro

Con los datos obtenidos y calculados, previa calibración del programa HDM-4 se obtendrán predicciones de deterioro a los pavimentos.

Predicción de deterioro con nulo mantenimiento y reparación: esta predicción será útil para calcular los costos del usuario en un periodo de tres años y los costos del municipio para al final del mismo periodo regresar al pavimento al estado actual.

Predicción de deterioro con el mantenimiento y reparación que se realiza actualmente: se realiza con el fin de responder lo siguiente: costo de operación a el usuario durante los tres años siguientes, estado del pavimento al final del periodo, costo para el municipio para llevar al pavimento al final del periodo al estado actual.

3.7 Obtención de propuestas para el mantenimiento

Con costos similares a los obtenidos en las predicciones anteriores (usuario y municipio) se obtendrán planes de mantenimiento y reparación para la vialidad, los costos serán considerados como flujos de efectivo. Con la herramienta financiera Valor Presente Neto se determinará la viabilidad para pedir créditos, para el mantenimiento de la vialidad.

Se realizará un análisis probabilístico, para cuantificar los flujos que deben estar disponibles en cada época del año con el fin de atender a tiempo las necesidades de la vialidad.

Se analizarán las propuestas obtenidas para identificar la de menor costo (usuario-municipio), de la cual se desarrollará calendario de obra para priorización de labores.

En la Ilustración 32 se esquematiza la propuesta para la metodología.

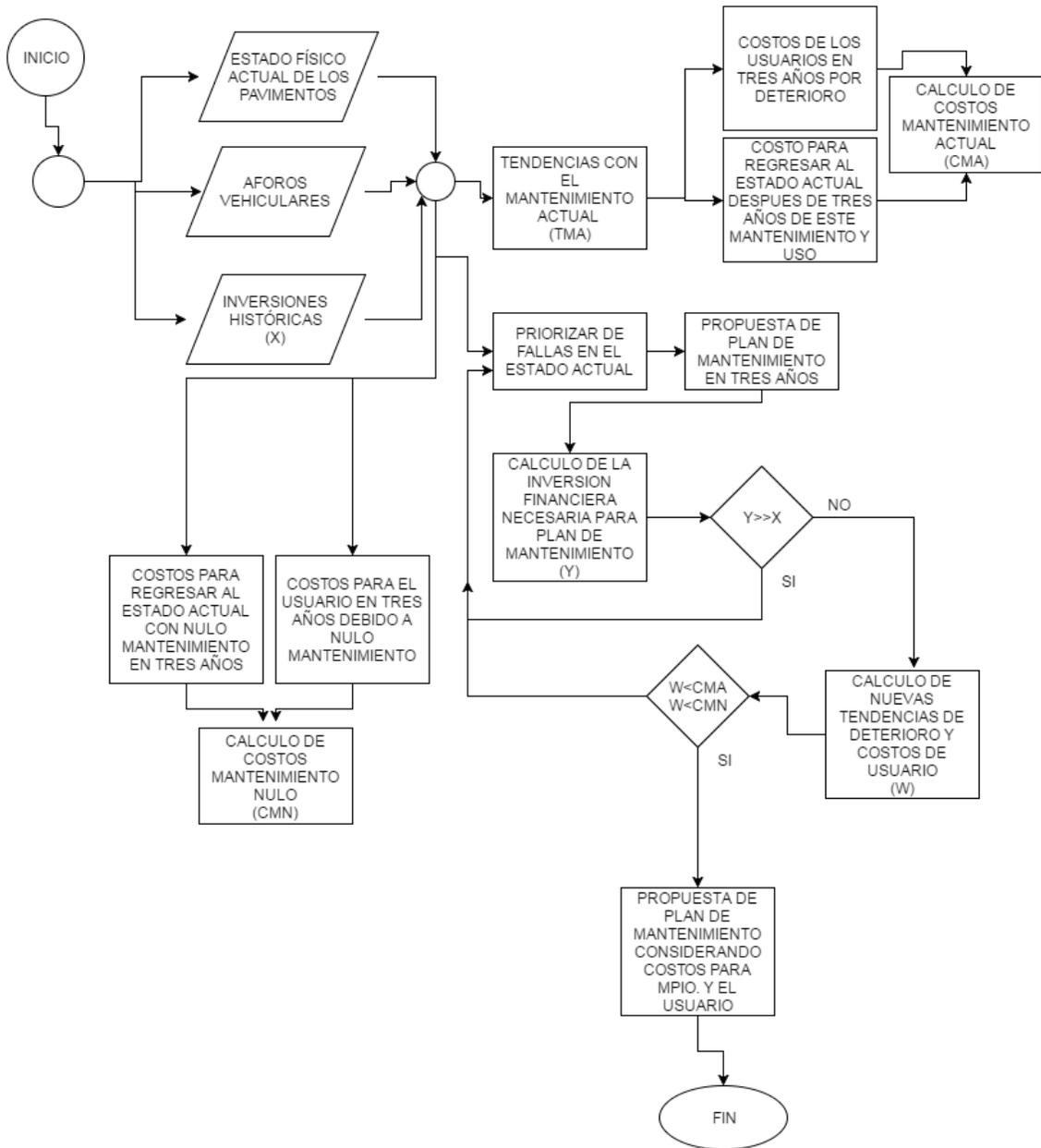


Ilustración 32 Diagrama de flujo para la metodología

- [1] (2016). *Plan de Desarrollo Urbano Sostenible*.
- [2] K. C., M. G. Hill, Ed. *Ingeniería de carreteras volumen II*, I ed. España, 2004, p. 547.
- [3] G. N. J., T. Lerner, Ed. *Ingeniería de tránsito y carreteras*, 3 ed. México, 2005.
- [4] C. d. I. C. E. Fronteriza. (2012, 01 enero 2016). *Proyectos*. Available: <http://www.cocef.org/proyectos/proyectos-certificados/proyecto-integral-de-pavimentacion-para-mejoramiento-de-la-movilidad-urbana-ciudad-juarez-chihuahua>
- [5] J. M. P. Carlos Kraemer, Sandro Rocci, Manuel G. Romana, Victor Sánchez Blanco, Miguel Ángel del Val, *Ingeniería de carreteras* (no. II). España: McGraw-Hill, 2003, p. 479.
- [6] E. C. Aroni. (2015, 02/19/2017). *Gestión conservación vial*. Available: <http://es.slideshare.net/castilloaroni/gestion-conservacion-vial-49011370>
- [7] (1998). *Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México*.
- [8] H. G. R. Kenali, T. w. r. association, Ed. *HDM-4 Highway development & management*. Francia, 2001.
- [9] L. J. Rodríguez-Aragon, "Simulación, Método de Montecarlo," 2011.
- [10] R. Coss Bu, LIMUSA, Ed. *Simulación, Un enfoque práctico*. México, 1995.
- [11] J. A. A. Osorno, "Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2016," in "Publicación técnica 471," Instituto Mexicano del Transporte, Snfandila Queretaro2016.

Bibliografía

- [1] G. C. Ernesto E. Enkerlin, Raúl Garza, Enrique Vogel, Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. México, 1997.
- [2] F. A. R. Lizcano, Diseño racional de pavimentos. Colombia, 2005.
- [3] G. R. E., Emulsiones asfálticas. México, 1998.
- [4] A. S. Rodríguez, Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos. México, 1998.
- [5] H. G. R. Kenali, HDM-4 Highway development & management vol. I. Francie, 2001.
- [6] S. S. W. Fred L. Mannering, Highway engineering and traffic analysis, 5 ed. Unites States of America, 2013.
- [7] J. M. P. Carlos Kraemer, Sandro Rocci, Manuel G. Romana, Víctor Sánchez Blanco, Miguel Ángel del Val, Ingeniería de carreteras vol. I. España: McGraw-Hill, 2003.
- [8] J. M. P. Carlos Kraemer, Sandro Rocci, Manuel G. Romana, Víctor Sánchez Blanco, Miguel Ángel del Val, Ingeniería de carreteras vol. II. España: McGraw-Hill, 2004.
- [9] R. J. P. Paul H. Wright, Ingeniería de carreteras. México, 1993.
- [10] A. M. Fonseca, Ingeniería de pavimentos. Colombia, 2010.
- [11] L. A. H. Nicholas J. Garber, Ingeniería de tránsito y carreteras. México, 2005.
- [12] L. M. John Harvey, Alissa Kendall, "Life cycle assessment of paviments," U. S. D. o. Transportation, Ed., ed. Unites States of America, 2014, p. 10.
- [13] J. M. V., Manual de pavimentos: asfalto, adoquín, empedrado, concreto. México, 1980.
- [14] F. H. Administration, "Pavement life cycle accessment framework," U. S. D. o. Transportation, Ed., ed. Unites States of America, 2014.
- [15] T. V. D. Steve Muench, "Pavement sustainability," U. S. D. o. Transportation, Ed., ed. Unites States of America, 2014, p. 12.
- [16] R. C. A. G., Pavimentos de concreto. México, 1972.
- [17] F. H. o. Trasportation, "Performance evaluation of various rehabilitation and preservation treatments," U. S. D. o. Transportation, Ed., ed. Unites States of America, 2010, p. 97.
- [18] G. R. E., Reciclado de pavimentos en frio, empleando emulsiones asfálticas catiónicas. México, 1997.

- [19] I. m. d. c. y. d. c. A.C., Recomendaciones para la construcción de pavimentos y bases de concreto. México, 1983.
- [20] I. A.-Q. Hasan Ozer, Jhon Harvey, "Strategies for improving sustainability of asphalt pavements," U. S. D. o. Transportation, Ed., ed. Unites States of America, 2016, p. 28.
- [21] T. V. D. Mark B. Snyder, Jeff Roesler, Jhon Harley, "Strategies for improving sustainability of concrete pavements," U. S. D. o. Transportation, Ed., ed. Unites States of America, 2016, p. 28.
- [22] C. C. Villala z, Vías de comunicación. México, 2002.

4 Resultados

4.1 Obtención y cálculo de las características de los pavimentos

Para la obtención de los datos necesarios referente a las características de los pavimentos, se realizaron recorridos a pie y en vehículo, sondeos, mediciones en campo, planos y fotografías satelitales.

Inicialmente se establecieron tramos homogéneos por tipo de pavimento, cuantificación de deterioro por método visual, geometría, rugosidad por el método del círculo de arena y pendiente.

En el tramo en estudio se observaron pavimentos asfálticos e hidráulicos;

Para los primeros se obtuvo por medio de la prueba Marshall la granulometría de la carpeta asfáltica. Se realizaron sondeos con la finalidad de obtener muestras de la capa de soporte y determinar su granulometría.

En el caso de las muestras extraídas en pavimentos hidráulicos se aplicó prueba de resistencia a la compresión. Estas pruebas permiten asignar un número estructural a los pavimentos dato necesario para la toma de decisiones en la gestión. Por medio de cribado mecánico se determinó la granulometría de las capas de soporte para las losas.

Finalmente aplicó fenolftaleína para medir la carbonatación en el concreto y obtener una aproximación de la edad del mismo.

4.1.1. Geometría de la vialidad

La geometría de la vialidad fue obtenida por medio de mediciones en planos proporcionados por el Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP) utilizando las herramientas incluidas en Auto CAD 2016. Las alturas sobre el nivel del mar, útiles para determinar la pendiente de la vialidad fueron obtenidos en el programa Google Maps. En la Ilustración 33 se muestra el área de estudio en línea roja.



Ilustración 33 Ubicación del tramo de estudio

Por medio de planos proporcionados por el IMIP se determinaron las características de la vialidad, obteniendo los siguientes resultados:

El tramo en estudio tiene una longitud de 6 055 m.

Los carriles de los cuerpos principales tienen un ancho de 3.5 m cada uno, estos cuerpos tienen 10.5 m de ancho en total.

Los carriles laterales tienen un ancho de 7 m, cada uno de 3.5m.

Debido a que las curvas horizontales de la vialidad no obligan a los vehículos a disminuir su velocidad, la vialidad se considera en línea recta [1].

4.1.2. Tipo de pavimento, características y estado superficiales

El tipo de pavimento se determinó por medio de recorridos por parte del autor, identificándose dos tipos, hidráulico y asfáltico. Los pavimentos existentes muestran deterioros superficiales variables, por lo que se decidió dividir la vialidad en 16 tramos

considerando tipo y estado del pavimento, los cuales presentan condiciones y tipo homogéneos. El primer carácter del nombre determina su posición progresiva de sur a norte (1,2,3 o 4), el segundo carácter determina si es lateral (L) o cuerpo principal (P), y el tercer carácter determina si pertenece a el sentido del tráfico de norte a sur (N) o de sur a norte (S). en la Tabla 2 se enlistan los 16 tramos y las vialidades de cruce en donde se ubican.

TRAMOS-CUERPO		
NOMBRE	CRUCE EN EL SUR:	CRUCE EN EL NORTE:
1LS	Av. Talamás Camandari	Av. Ramon Rayón
1PS	Av. Talamás Camandari	Av. Ramon Rayón
1PN	Av. Talamás Camandari	Av. Ramon Rayón
1LN	Av. Talamás Camandari	Av. Ramon Rayón
2LS	Av. Ramon Rayón	Av. Santiago Troncoso
2PS	Av. Ramon Rayón	Av. Santiago Troncoso
2PN	Av. Ramon Rayón	Av. Santiago Troncoso
2LN	Av. Ramon Rayón	Av. Santiago Troncoso
3LS	Av. Santiago Troncoso	Av. Zaragoza
3PS	Av. Santiago Troncoso	Av. Zaragoza
3PN	Av. Santiago Troncoso	Av. Zaragoza
3LN	Av. Santiago Troncoso	Av. Zaragoza
4LS	Av. Zaragoza	Av. Manuel J. Clouthier
4PS	Av. Zaragoza	Av. Manuel J. Clouthier
4PN	Av. Zaragoza	Av. Manuel J. Clouthier
4LN	Av. Zaragoza	Av. Manuel J. Clouthier

Tabla 2 Descripción de la ubicación de tramos cuerpo

A continuación, se enlistan los tramos en los que se dividió la vialidad, y sus características.

Los tramos-cuerpo con el número 1 en su denominación se ubican en la posición marcada en rojo sobre el tramo de estudio marcado en amarillo como se observa en la Ilustración 34.



Ilustración 34 Ubicación de los tramos cuerpo con denominación 1

1LS: Avenida de las Torres en el cuerpo lateral de circulación de sur a norte, comprende de la Av. Manuel Talamás Camandari al cruce con la Av. Ramón Rayón.

- Dos carriles
- Pavimento asfáltico
- Área por falla por fatiga “piel de cocodrilo” 40% del total del tramo.
- Área aproximada con bache abierto 22% del total del tramo.
- Área por bache mal reparado 10% del total del tramo.
- Área con falla por deformación “roderas” de 2% del total del tramo.
- Junta fría sin sello longitudinal en todo el tramo.

- Pozos de visita y cajas de válvulas desniveladas.
- Presenta problemas de drenaje ya que los escurrimientos superficiales del cuerpo principal van hacia este. Los baches destapados duran hasta 40 h con agua.
- Carece de señalamiento horizontal.
- Área de pavimento incluidas gasas de entrada y salida de la vialidad: 13 757 m².
- Longitud del tramo 1726.89 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Manuel Talamás Camandari 1 194 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Ramón Rayón 1 187 m.
- Diferencia de altura 7 m; pendiente 0.4%

1PS: Avenida de las Torres en el cuerpo principal de circulación de sur a norte, comprende de la Av. Manuel Talamás Camandari al cruce con la Av. Ramón Rayón.

- Tres carriles.
- Pavimento hidráulico.
- Grieta longitudinal al centro de la losa del carril central a lo largo de todo el tramo.
- Las juntas transversales presentan despostillamiento en un 80%.
- Exceso de sello en juntas transversales y reparación de grietas.
- Grietas transversales delgadas (menores o iguales a 1 mm) en el 80% de las losas.
- Esquinas de losas despostilladas en un 90% sin sello.
- Área aproximada de baches reparados con material asfáltico 30 m².
- Área aproximada de baches destapados 2 m².
- Todas las gasas de incorporación o salida presentan fallas fracturas en todos los sentidos.
- La conexión de hidráulico con asfáltico hacia la lateral siempre presenta desnivel.
- La grieta longitudinal mencionada en la losa central. Sin embargo, los pozos de visita del drenaje se encuentran en el carril izquierdo.
- Los escurrimientos superficiales avanzan y se depositan al cuerpo lateral.
- No presenta señalamiento horizontal.
- Área de pavimento incluidas gasas de retorno y salida de la vialidad: 19 910 m².
- Longitud del tramo 1726.89 m.

- Altura sobre el nivel del mar en Av. Manuel Talamás Camandari 1 194 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Ramón Rayón 1 187 m.

Diferencia de altura 7 m; pendiente 0.4%

1PN: Avenida de las Torres en el cuerpo principal de circulación de sur a norte, comprende de la Av. Manuel Talamás Camandari al cruce con la Av. Ramón Rayón.

- Tres carriles.
- Pavimento hidráulico.
- Grieta longitudinal al centro de la losa del carril central a lo largo de todo el tramo.
- Las juntas transversales presentan despostillamiento en un 80%.
- Exceso de sello en juntas transversales y reparación de grietas.
- Grietas transversales delgadas (menores o iguales a 1 mm) en el 60% de las losas.
- Esquinas de losas despostilladas en un 80% sin sello.
- Área aproximada de baches reparados con material asfáltico 680 m².
- Área aproximada de baches destapados 60 m².
- Todas las gasas de incorporación o salida presentan fallas por fractura en todos los sentidos, puedo suponer que es debido a un mal diseño en la dimensión de las losas.
- La conexión de hidráulico con asfáltico hacia la lateral siempre presenta desnivel.
- Hundimientos con fractura de losas reparados con asfalto aproximadamente de 80 m².
- Hundimientos con fractura de losas sin reparación de ningún tipo 300 m².
- La grieta longitudinal mencionada en la losa central. Los posos de visita del drenaje se encuentran en el carril derecho.
- No presenta señalamiento horizontal.
- Área de pavimento incluidas gasas de retorno y salida de la vialidad: 19 750 m².
- Longitud del tramo 1726.89 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Manuel Talamás Camandari 1 194 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Ramón Rayón 1 187 m.
- Diferencia de altura 7 m; pendiente 0.4%

1LN: Avenida de las Torres en el cuerpo lateral de circulación de norte a sur, comprende de la Av. Manuel Talamás Camandari al cruce con la Av. Ramón Rayón.

- Dos carriles
- Pavimento asfáltico
- Área de falla por fatiga “piel de cocodrilo” 90% del total del tramo.
- Área aproximada con bache abierto 40% del total del tramo.
- Área por bache mal reparado 30% del total del tramo.
- Área con falla por deformación “roderas” de 30% del total del tramo.
- Junta fría sin sello longitudinal en todo el tramo.
- Pozos de visita y cajas de válvulas desniveladas.
- Carece de señalamiento horizontal.
- Área de pavimento incluidas gasas de entrada y salida de la vialidad: 14 568 m².
- El área total del tramo de estudio es de 231 663.5 m².
- Longitud del tramo 1726.89 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Manuel Talamás Camandari 1 194 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Ramón Rayón 1 187 m.
- Diferencia de altura 7 m; pendiente 0.4%

Los tramos-cuerpo con el número 2 en su denominación se ubican en la posición marcada en rojo sobre el tramo de estudio marcado en amarillo como se observa en la Ilustración 35.



Ilustración 35 Ubicación de los tramos cuerpo con denominación 2

2LS: Avenida de las Torres en el cuerpo lateral de circulación de sur a norte, comprende de la Av. Ramón Rayón al cruce con la Av. Santiago Troncoso.

- Dos carriles
- Pavimento asfáltico
- Área de falla por fatiga “piel de cocodrilo” 15% del total del tramo.
- Área aproximada con bache abierto 30% del total del tramo.
- Área por bache mal reparado 40% del total del tramo.
- Área con falla por deformación “roderas” de 4% del total del tramo.
- Junta fría sin sello longitudinal en todo el tramo.

- Pozos de visita y cajas de válvulas desniveladas.
- Presenta problemas de drenaje ya que los escurrimientos superficiales del cuerpo principal van hacia este. Los baches destapados duran hasta 60 h con agua.
- Carece de señalamiento horizontal.
- Área de pavimento incluidas gasas de entrada y salida de la vialidad: 12 933.5 m².
- Longitud del tramo 1 646.46 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Ramón Rayón 1 187 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Santiago Troncoso 1 180 m.
- Diferencia de altura 7 m; pendiente 0.4%

2PS: Avenida de las Torres en el cuerpo principal de circulación de sur a norte, comprende de la Av. Ramón Rayón al cruce con la Av. Santiago Troncoso.

- Tres carriles.
- Pavimento hidráulico.
- Grieta longitudinal al centro de la losa del carril central a lo largo de todo el tramo.
- Las juntas transversales presentan despostillamiento en un 100%.
- Sin sello en juntas transversales y reparación de grietas.
- Grietas transversales delgadas (menores o iguales a 1 mm) en el 30% de las losas.
- Esquinas de losas despostilladas en un 70% sin sello.
- Área aproximada de baches reparados con material asfáltico 5 m².
- Área aproximada de baches destapados 6 m².
- Todas las gasas de incorporación o salida presentan fallas fracturas en todos los sentidos.
- La conexión de hidráulico con asfáltico hacia la lateral siempre presenta desnivel.
- La grieta longitudinal mencionada en la losa central. Los pozos de visita del drenaje se encuentran en el carril izquierdo.
- Los escurrimientos superficiales avanzan y se depositan al cuerpo lateral
- No presenta señalamiento horizontal.
- Área de pavimento incluidas gasas de retorno y salida de la vialidad: 18 272 m².
- Longitud del tramo 1 646.46 m.

- Altura sobre el nivel del mar en Av. Ramón Rayón 1 187 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Santiago Troncoso 1 180 m.
- Diferencia de altura 7 m; pendiente 0.4%

2PN: Avenida de las Torres en el cuerpo principal de circulación de norte a sur, comprende de la Av. Ramón Rayón al cruce con la Av. Santiago Troncoso.

- Tres carriles.
- Pavimento hidráulico.
- Grieta longitudinal al centro de la losa del carril central a lo largo de todo el tramo.
- Las juntas transversales presentan despostillamiento en un 60%.
- Exceso de sello en juntas transversales y reparación de grietas.
- Grietas transversales delgadas (menores o iguales a 1 mm) en el 60% de las losas.
- Esquinas de losas despostilladas en un 30% sin sello.
- Área aproximada de baches reparados con material asfáltico 15 m².
- Área aproximada de baches destapados 7 m².
- Todas las gasas de incorporación o salida presentan fallas por fractura en todos los sentidos, puedo suponer que es debido a un mal diseño en la dimensión de las losas.
- La conexión de hidráulico con asfáltico hacia la lateral siempre presenta desnivel.
- La grieta longitudinal mencionada en la losa central (supongo que es una zanja mal compactada). Sin embargo, los posos de visita del drenaje se encuentran en el carril derecho.
- No presenta señalamiento horizontal.
- Área de pavimento incluidas gasas de retorno y salida de la vialidad: 19 254 m².
- Longitud del tramo 1 646.46 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Ramón Rayón 1 187 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Santiago Troncoso 1 180 m.
- Diferencia de altura 7 m; pendiente 0.4%

2LN: Avenida de las Torres en el cuerpo lateral de circulación de norte a sur, comprende de la Av. Ramón Rayón al cruce con la Av. Santiago Troncoso.

- Dos carriles

- Pavimento hidráulico.
- Área de falla por fatiga “piel de cocodrilo” 16% del total del tramo.
- Área aproximada con bache abierto 20% del total del tramo.
- Área por bache mal reparado 30% del total del tramo.
- Área con falla por deformación “roderas” de 15% del total del tramo.
- Junta fría sin sello longitudinal en todo el tramo.
- Pozos de visita y cajas de válvulas desniveladas.
- Carece de señalamiento horizontal.
- Área de pavimento incluidas gasas de entrada y salida de la vialidad: 14 875.5 m².
- Longitud del tramo 1 646.46 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Ramón Rayón 1 187 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Santiago Troncoso 1 180 m.
- Diferencia de altura 7 m; pendiente 0.4%

Los tramos-cuerpo con el número 3 en su denominación se ubican en la posición marcada en rojo sobre el tramo de estudio marcado en amarillo como se observa en la Ilustración 36.



Ilustración 36 Ubicación de los tramos cuerpo con denominación 3

3LS: Avenida de las Torres en el cuerpo lateral de circulación de sur a norte, comprende de la Av. Santiago Troncoso al cruce con la Av. Zaragoza.

- Dos carriles
- Pavimento asfáltico
- Área de falla por fatiga “piel de cocodrilo” 5% del total del tramo.
- Área aproximada con bache abierto 35% del total del tramo.

- Área por bache mal reparado 40% del total del tramo.
- Área con falla por deformación “roderas” de 10% del total del tramo.
- Junta fría sin sello longitudinal en todo el tramo.
- Pozos de visita y cajas de válvulas desniveladas.
- Presenta problemas de drenaje ya que los escurrimientos superficiales del cuerpo principal van hacia este. Los baches destapados duran hasta 50 h con agua.
- El tirante del agua en el momento que llueve alcanza los 20 cm.
- Carece de señalamiento horizontal.
- Área de pavimento incluidas gasas de entrada y salida de la vialidad: 10 902 m².
- Longitud del tramo 1 399.09 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Santiago Troncoso 1 180 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Zaragoza 1 155 m.
- Diferencia de altura 25 m; pendiente 1.78%

3PS: Avenida de las Torres en el cuerpo principal de circulación de sur a norte, comprende de la Av. Santiago Troncoso al cruce con la Av. Zaragoza.

- Tres carriles.
- Pavimento Asfáltico.
- Junta fría longitudinal sin sello en todo el tramo, se localiza en las juntas de los tres carriles.
- Falla por deformación “roderas” en carril central por 200 m.
- Área aproximada con baches destapados de 190 m² (114 baches).
- Área aproximada de baches mal reparados 280 m².
- 30 % del área presenta agregados pulidos.
- Área de pavimento incluidas gasas de retorno y salida de la vialidad: 14 112 m².
- Longitud del tramo 1 399.09 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Santiago Troncoso 1 180 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Zaragoza 1 155 m.
- Diferencia de altura 25 m; pendiente 1.78%

3PN: Avenida de las Torres en el cuerpo lateral de circulación de sur a norte, comprende de la Av. Santiago Troncoso al cruce con la Av. Zaragoza.

- Tres carriles.
- Pavimento hidráulico.
- Grieta longitudinal al centro de la losa del carril central a lo largo de todo el tramo.
- Las juntas transversales presentan despostillamiento en un 60%.
- Exceso de sello en juntas transversales y reparación de grietas.
- Grietas transversales delgadas (menores o iguales a 1 mm) en el 60% de las losas.
- Esquinas de losas despostilladas en un 30% sin sello.
- Área aproximada de baches reparados con material asfáltico 15 m².
- Área aproximada de baches destapados 7 m².
- Todas las gasas de incorporación o salida presentan fallas por fractura en todos los sentidos. La conexión de hidráulico con asfáltico hacia la lateral siempre presenta desnivel.
- La grieta longitudinal mencionada en la losa central. Los pozos de visita del drenaje se encuentran en el carril derecho.
- No presenta señalamiento horizontal.
- Área de pavimento incluidas gasas de retorno y salida de la vialidad: 14 112 m².
- Longitud del tramo 1 399.09 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Santiago Troncoso 1 180 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Zaragoza 1 155 m.
- Diferencia de altura 25 m; pendiente 1.78%

3LN: Avenida de las Torres en el cuerpo lateral de circulación de norte a sur, comprende de la Av. Santiago Troncoso al cruce con la Av. Zaragoza.

- Dos carriles
- Pavimento asfáltico
- Área de falla por fatiga “piel de cocodrilo” 30% del total del tramo.
- Área aproximada con bache abierto 30% del total del tramo.
- Área por bache mal reparado 40% del total del tramo.

- Área con falla por deformación “roderas” de 4% del total del tramo.
- Junta fría sin sello longitudinal en todo el tramo.
- Pozos de visita y cajas de válvulas desniveladas.
- Carece de señalamiento horizontal.
- Área de pavimento incluidas gasas de entrada y salida de la vialidad: 10 476.5 m².
- Longitud del tramo 1 399.09 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Santiago Troncoso 1 180 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Zaragoza 1 155 m.
- Diferencia de altura 25 m; pendiente 1.78%

Los tramos-cuerpo con el número 4 en su denominación se ubican en la posición marcada en rojo sobre el tramo de estudio marcado en amarillo como se observa en la Ilustración 37.

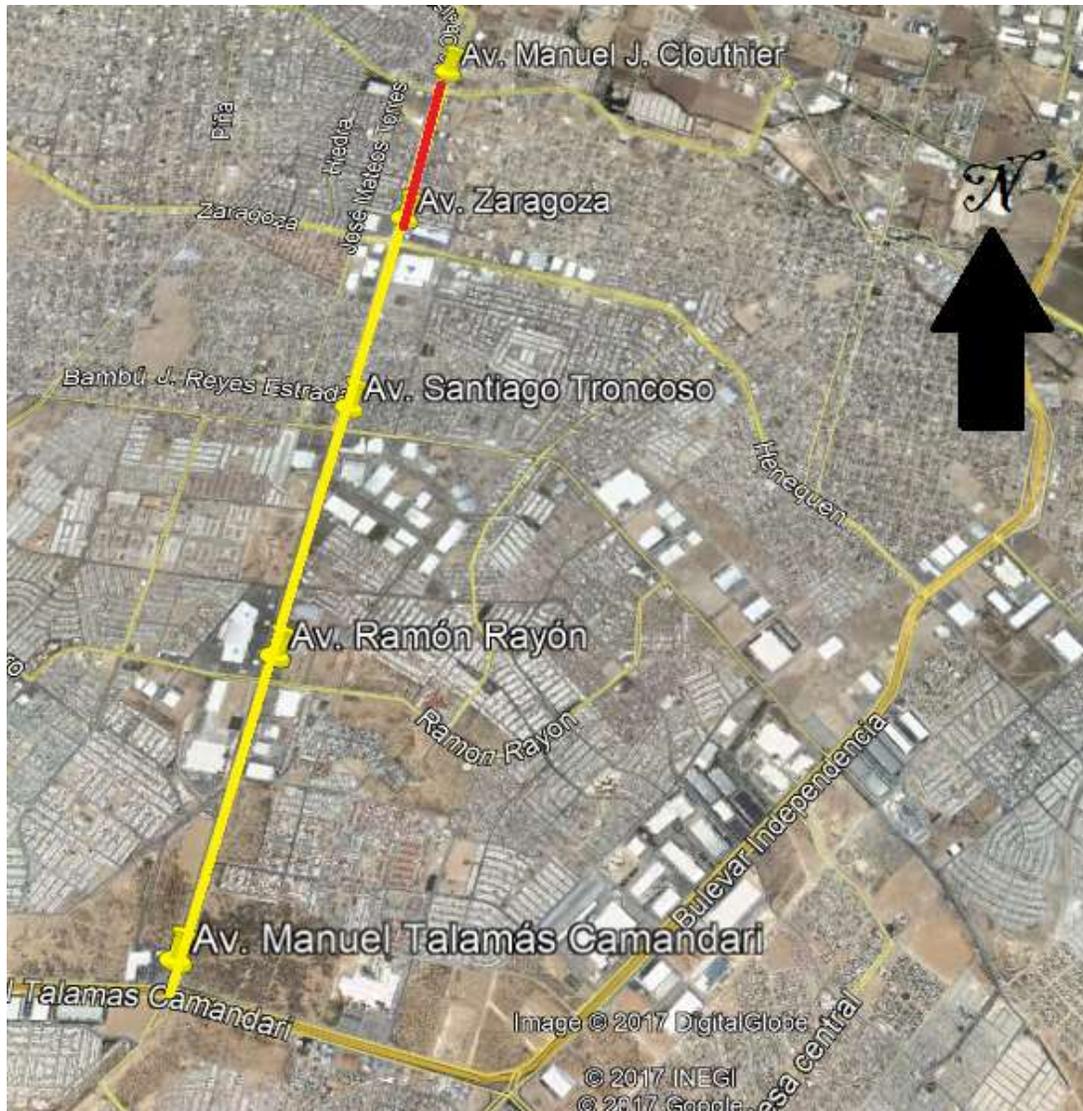


Ilustración 37 Ubicación de los tramos cuerpo con denominación 4

4LS: Avenida de las Torres en el cuerpo lateral de circulación de sur a norte, comprende de la Av. Zaragoza al cruce con la Av. Manuel J. Clouthier.

- Dos carriles
- Pavimento asfáltico
- Área de falla por fatiga “piel de cocodrilo” 20% del total del tramo.
- Área aproximada con bache abierto 10% del total del tramo.
- Área por bache mal reparado 5% del total del tramo.

- Área con falla por deformación “roderas” de 10% del total del tramo.
- Junta fría sin sello longitudinal en todo el tramo.
- Pozos de visita y cajas de válvulas desniveladas.
- Carece de señalamiento horizontal.
- Área de pavimento incluidas gasas de entrada y salida de la vialidad: 9 998 m².
- Longitud del tramo 1 158.64 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Zaragoza 1 155 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Manuel J Clouthier 1 143 m.
- Diferencia de altura 12 m; pendiente 1.03%

4PS: Avenida de las Torres en el cuerpo principal de circulación de sur a norte, comprende de la Av. Zaragoza al cruce con la Av. Manuel J. Clouthier.

- Tres carriles.
- Pavimento hidráulico.
- Las juntas transversales presentan despostillamiento en un 70%.
- Sin sello en juntas transversales y reparación de grietas.
- Grietas transversales delgadas (menores o iguales a 1 mm) en el 30% de las losas.
- Esquinas de losas despostilladas en un 90% sin sello.
- Área aproximada de baches reparados con material asfáltico 450 m².
- Área aproximada de baches destapados 30 m².
- Todas las gasas de incorporación o salida presentan fallas por desintegración.
- Las conexiones de hidráulico con asfáltico hacia la lateral siempre presentan desnivel.
- Los escurrimientos superficiales van a dar al cuerpo lateral. Sin embargo, este tramo se caracteriza por un mal drenaje ya que el agua permanece sobre las losas aproximadamente 20 h
- Área de pavimento incluidas gasas de retorno y salida de la vialidad: 13 146 m².
- Longitud del tramo 1 158.64 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Zaragoza 1 155 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Manuel J Clouthier 1 143 m.
- Diferencia de altura 12 m; pendiente 1.03%

4PN: Avenida de las Torres en el cuerpo principal de circulación de norte a sur, comprende de la Av. Zaragoza al cruce con la Av. Manuel J. Clouthier.

- Tres carriles
- Pavimento asfáltico
- Área de falla por fatiga “piel de cocodrilo” 40% del total del tramo.
- Área aproximada con bache abierto 5% del total del tramo.
- Área por bache mal reparado 15% del total del tramo.
- Área con falla por deformación “roderas” de 0% del total del tramo.
- Junta fría sin sello longitudinal en todo el tramo.
- Pozos de visita y cajas de válvulas desniveladas.
- Carece de señalamiento horizontal.
- Área de pavimento incluidas gasas de retorno y salida de la vialidad: 13 631.5 m².
- Longitud del tramo 1 158.64 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Zaragoza 1 155 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Manuel J Clouthier 1 143 m.
- Diferencia de altura 12 m; pendiente 1.03%

4LN: Avenida de las Torres en el cuerpo lateral de circulación de norte a sur, comprende de la Av. Zaragoza al cruce con la Av. Manuel J. Clouthier.

- Dos carriles.
- Pavimento hidráulico.
- Las juntas transversales presentan despostillamiento en un 20%.
- Grietas transversales delgadas (menores o iguales a 1 mm) en el 40% de las losas.
- Esquinas de losas despostilladas en un 20% sin sello.
- Área aproximada de baches reparados con material asfáltico 4 m².
- Área aproximada de baches destapados 2 m².
- Área de pavimento incluidas gasas de entrada y salida de la vialidad: 10 483.5 m².
- Longitud del tramo 1 158.64 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Zaragoza 1 155 m.
- Altura sobre el nivel del mar en Av. Manuel J Clouthier 1 143 m.

- Diferencia de altura 12 m; pendiente 1.03%

4.1.3. Estado del drenaje superficial

El drenaje superficial es uno de los factores importantes en la durabilidad de los pavimentos, de los índices de confort y seguridad para los usuarios de los caminos. En la guía para el diseño de estructuras de pavimento del American Association of State Highway and Transportation Officials, se establecen las características para la clasificación de los drenajes superficiales en los pavimentos. En la Tabla 3, se establece la calidad del drenaje de acuerdo con el tiempo que tarda el agua en ser evacuada de la carpeta.

Calidad del drenaje relacionado con el tiempo con el tiempo de evacuación del agua sobre la vialidad	
Excelente	2 h
Bueno	1 d
Regular	7 d
Malo	30 d
Muy Malo	No drena

Tabla 3 Calidad del drenaje superficial relacionado con el tiempo de evacuación del agua [10]

De acuerdo con esta clasificación los tramos cuerpo se clasifican como se muestra en la Tabla 4 por el tiempo que tardan en drenar una precipitación típica en Ciudad Juárez (5 mm – 10 mm).

Calidad del drenaje por tramo cuerpo en Av. De las Torres, en Ciudad Juárez		
NOMBRE	Tiempo para drenar una precipitación entre 5 mm y 10 mm	Calidad
1LS	1 d	Buena
1PS	1 d	Buena
1PN	1 d	Buena
1LN	1 d	Buena

2LS	1 d	Buena
2PS	1 d	Buena
2PN	1 d	Buena
2LN	2 d- 4 d	Buena- Regular
3LS	1 d	Buena
3PS	1 d	Buena
3PN	2 d- 4 d	Buena- Regular
3LN	1 d	Buena
4LS	1 d	Buena
4PS	1 d	Buena
4PN	1 d	Buena
4LN	2 h	Excelente

Tabla 4 Calidad del drenaje en el tramo en estudio

Los datos de la tabla 3 se obtuvieron midiendo el tiempo que permaneció el agua en la temporada de lluvias del verano del año 2017, esto cuando se presenta la precipitación típica de la zona.

4.1.4. Estado superficial de los pavimentos

Se realizaron recorridos basados en la norma CAPUFE 004-I-DT-1996 para calificar las condiciones de servicio actual de la vialidad. Los elementos que se evaluaron son rugosidad de la superficie y señalamiento horizontal. Para educar el criterio de los evaluadores se realizaron dos recorridos previos a la evaluación de la vialidad. Uno en una vialidad nueva, la cual su evaluación de 5, y el segundo recorrido se llevó a cabo en calles que se consideran intransitables (calificación cercana al 0). En la Ilustración 38 se muestra el formato utilizado por los evaluadores en este trabajo para determinar el ISA.

ISA		
FECHA:		
HORA:		
EVALUADOR:		
TRAMO CUERPO:		
CARRIL:		
ELEMENTO:		
MARQUE CON UNA X LA CALIFICACIÓN		
CALIFICACIÓN	ESTADO	
0	PESIMO	
0 A 1	MUY MALO	
1 A 2	MALO	
2 A 3	REGULAR	
3 A 4	BUENO	
4 A 5	MUY BUENO	
5 A 6	EXCELENTE	

Ilustración 38 Formato para la evaluación de índice de servicio actual

La Tabla 5 muestra los promedios obtenidos en los indicadores (rugosidad y señalamiento horizontal) de cada uno de los carriles de los tramos cuerpo del área de estudio. Los evaluadores utilizaron el formato mostrado en la Ilustración 38 propuesta por la misma norma para calificar por separado cada elemento. Los carriles para este estudio se enumeraron 1,2 y 3 para carril de baja, central y alta respectivamente en el caso de cuerpos principales; y 1 y 2 para carril de baja y alta respectivamente para cuerpos laterales.

Índice de servicio actual de la Av. De las Torres, en Ciudad Juárez				
NOMBRE	Promedio de la rugosidad	Estado de la rugosidad	Promedio del señalamiento horizontal	Estado del señalamiento horizontal
1LS1	3.25	Regular	1.00	Muy malo
1LS2	3.50	Regular	1.00	Muy malo
1PS1	4.25	Bueno	0.75	Muy malo
1PS2	4.50	Bueno	0.75	Muy malo
1PS3	4.50	Bueno	1.50	Malo
1PN1	2.25	Malo	1.50	Malo
1PN2	3.00	Regular	1.50	Malo
1PN3	2.25	Malo	1.50	Malo
1LN1	2.00	Malo	1.00	Muy malo
1LN2	1.50	Muy malo	1.00	Muy malo
2LS1	3.00	Regular	1.50	Malo
2LS2	3.00	Regular	1.50	Malo
2PS1	4.00	Bueno	1.25	Malo
2PS2	4.00	Bueno	1.25	Malo
2PS3	4.00	Bueno	1.25	Malo
2PN1	4.00	Bueno	1.00	Muy malo
2PN2	3.50	Regular	1.00	Muy malo
2PN3	3.50	Regular	1.00	Muy malo
2LN1	2.25	Malo	1.25	Malo
2LN2	2.50	Malo	1.25	Malo
3LS1	2.25	Malo	1.25	Malo
3LS2	2.25	Malo	1.25	Malo
3PS1	5.00	Muy bueno	1.25	Malo
3PS2	4.50	Bueno	1.25	Malo
3PS3	4.50	Bueno	1.25	Malo
3PN1	3.25	Regular	0.75	Muy malo
3PN2	3.25	Regular	0.75	Muy malo
3PN3	3.00	Regular	0.75	Muy malo
3LN1	3.00	Regular	1.00	Muy malo
3LN2	3.00	Regular	1.00	Muy malo
4LS1	2.75	Malo	1.25	Malo
4LS2	2.50	Malo	1.25	Malo
4PS1	3.75	Regular	1.00	Muy malo
4PS2	3.50	Regular	1.00	Muy malo
4PS3	3.50	Regular	1.00	Muy malo
4PN1	4.00	Bueno	1.50	Malo
4PN2	4.00	Bueno	1.50	Malo
4PN3	4.00	Bueno	1.50	Malo
4LN1	4.00	Bueno	0.75	Muy malo
4LN2	3.75	Regular	0.75	Muy malo

Tabla 5 Índices de servicio actual de los carriles de los tramo-cuerpo de la Av. De las Torres

Los promedios de cada tramo cuerpo son los mostrados en la Tabla 6

Índice de servicio actual, promedios de los tramos cuerpo de la Av. De las Torres, en Ciudad Juárez				
NOMBRE	Promedio de la rugosidad	Estado de la rugosidad	Promedio del señalamiento horizontal	Estado del señalamiento horizontal
1LS	3.40	Regular	1.00	Muy malo
1PS	4.40	Bueno	0.75	Muy malo
1PN	2.50	Malo	1.50	Malo
1LN	1.75	Malo	1.00	Muy malo
2LS	3.00	Regular	1.50	Malo
2PS	4.00	Bueno	1.25	Malo
2PN	3.70	Bueno	1.00	Muy malo
2LN	2.40	Malo	1.25	Malo
3LS	2.25	Malo	1.25	Malo
3PS	5.00	Muy bueno	1.25	Malo
3PN	3.00	Regular	0.75	Muy malo
3LN	3.00	Regular	1.00	Muy malo
4LS	2.60	Malo	1.25	Malo
4PS	3.60	Regular	1.00	Muy malo
4PN	4.00	Bueno	1.50	Malo
4LN	3.90	Bueno	0.75	Muy malo

Tabla 6 Índices de servicio actual promedios de los tramo-cuerpo de la Av. De las Torres.

4.1.4.1. Textura superficial de los pavimentos

La textura superficial de los pavimentos se determinó por medio de ensayos de circulo de arena de acuerdo a la norma ASTM E 965-87 “*Test Method for Measuring Surface Macrotexure Depth Using a Sand Volumetric Technique*”. Se realizaron 4 muestras por tramo cuerpo, dos muestras en donde se observan las capas de rodamiento con agregados pulidos y dos en donde se observan capas de rodamiento con agregados expuestos. Posterior a esto se obtuvo el promedio para determinar el estado generalizado del tramo cuerpo. Los promedios de los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7.

Promedios de macrotexura de Tramos-Cuerpo			
Tramo-Cuerpo	Promedio	Tramo-Cuerpo	Promedio
1LS	0.85	3LS	1.24
1PS	0.72	3PS	0.87
1PN	0.78	3PN	0.76
1LN	1.15	3LN	0.98
2LS	1.05	4LS	1.42
2PS	0.63	4PS	0.89
2PN	0.48	4PN	0.33
2LN	1.13	4LN	0.65

Tabla 7 Macro textura de los Tramos-Cuerpo.

4.1.5. Estado estructural de los pavimentos

El estado estructural de los pavimentos es uno de los parámetros de mayor relevancia en la toma de decisiones para la gestión de pavimentos. El estado estructural de los pavimentos se obtuvo por medio de sondeos. En estos sondeos se extrajo la carpeta de rodamiento y la estructura debajo, hasta una profundidad de 60 cm; posterior a la extracción se realizaron pruebas en laboratorio con la finalidad de conocer el estado estructural de las carpetas de rodamiento y las terracerías. La extracción se realizó con un sacabocados y una broca de 8.5 cm de diámetro, como lo muestra la Ilustración 39.



Ilustración 39 Extracción de muestra en pavimento asfáltico

4.1.5.1. Estado estructural en los pavimentos hidráulicos

El estado estructural con respecto a la carpeta de rodamiento se determinó por medio de dos pruebas, la carga a compresión y la determinación de la edad del concreto debido a la carbonatación aplicando fenolftaleína y midiendo la distancia no coloreada por la reacción.

La carga a compresión de los cilindros extraídos se realizó atendiendo las indicaciones de las normas: NMX-C-ONNCCE, NMX-169-ONNCCE, NMX-C-109-0NNCCE.

En la Ilustración 40 se observa la medición de la altura de la muestra.



Ilustración 40 Medición longitudinal de muestra en pavimento hidráulico

El diámetro para calcular el área perpendicular en donde se aplicó la carga se verificó por medio de la medición del diámetro, Ilustración 41.



Ilustración 41 Medición transversal de muestra de pavimento hidráulico

Posterior a estas dos mediciones se cabeceó el cilindro con mortero de azufre, como lo muestra la Ilustración 42.



Ilustración 42 Cabeceo en muestra de pavimento hidráulico

Se le aplico carga hasta llevar la muestra a la falla, como lo muestra la Ilustración 43.



Ilustración 43 Aplicación de carga a muestra de material hidráulico.

Los datos de la resistencia a compresión de las muestras extraídas de los tramos se muestran en la Tabla 8:

Datos de resistencia a la carga para las muestras de pavimento hidráulico				
Muestra	Altura	Diámetro	Área de la sección transversal	Resistencia a la carga por compresión
Muestra 1	17.9	8.49	56.61 cm ²	28 000 kgf/cm ²
Muestra 2	18.2	8.48	56.47	27500 kgf/cm ²

Tabla 8 Resistencia a la carga de muestras de pavimento hidráulico

Descripción de la falla: Se presentan líneas de ruptura verticales como lo muestra la Ilustración 44.



Ilustración 44 Muestra de material hidráulico fallada debido a la carga aplicada.

Respecto a las terracerías que dan soporte a los pavimentos hidráulicos, se obtuvieron y cribaron las muestras obtenidas de acuerdo con la norma M-MMP-1/03 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Obteniendo los resultados mostrados en la **¡Error! No se**

encuentra el origen de la referencia. , en la cual se muestra el porcentaje que pasa cada una de las mallas recomendadas para este estudio.

Malla	Recomendada	Muestra I	Muestra II
4	80	75	80
8	62	65	65
30	40	57	58
40	32	52	54
50	25	48	50
100	18	41	43

En la Ilustración 45 se comparan por medio de una gráfica las diferentes granulometrías, la recomendada por la norma M-MMP-1/03 de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes; la granulometría recomendada se muestra con la línea verde, se observa como la línea de las dos muestras es diferente a la recomendada, las muestras contienen menores tamaños en sus graduaciones, por lo que se deduce que están trituradas.

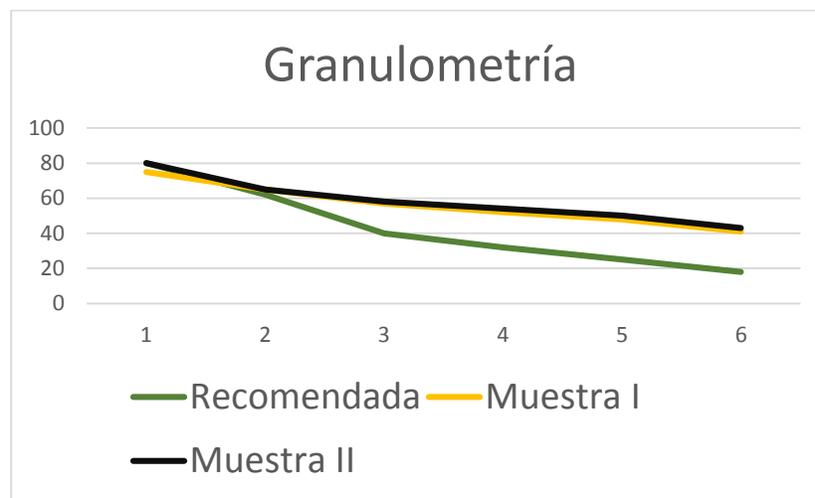


Ilustración 45 Comparativa de granulometrías de muestras y la recomendada

Se realizó el diseño de los pavimentos hidráulicos acorde al Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA) por carril obteniendo un espesor de la capa de rodamiento de 8.3 cm, por lo que al ser el espesor de 18 cm; las losas de concreto son adecuadas para las cargas. Los resultados se muestran en la Ilustración 46.

rev. 5.0

RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO

Camino de altas especificaciones. Nivel de confianza en el diseño: 85.0%

Para un tránsito de 9830 millones de ejes estándar

Vida Previsible

Capa	H cm	CBRz %	E kg/cm2	Poisson	Def	Fatiga
Carpeta	8.3		550000	0.35		> 150
Base granular	40	80.0	35000	0.35	> 150	
Sub-base	166.4	25.0	2000	0.45	> 150	
Terracería	Semi-inf.	3.0	500	0.45	> 150	

	Vida Previsible	Transito Proyecto
Deformación	> 150	9830
Fatiga	> 150	9830

La vida previsible es cercana o mayor que la vida de proyecto.
El diseño parece adecuado. La tolerancia es +/- 10% del tránsito de proyecto crítico.

Tiene las siguientes opciones:

Ilustración 46 Espesores recomendados para el diseño del pavimento hidráulico en cuerpos principales Sur-Norte

4.1.5.2. Estado estructural de los pavimentos asfálticos

Con las muestras obtenidas de los pavimentos asfálticos se obtuvieron los siguientes datos: densidad, granulometría de la capa de rodamiento, granulometría de la base. Estos datos son útiles para la determinación de la vida residual de los pavimentos. Referente a las granulometrías de las carpetas de rodamiento asfáltico se muestra la Ilustración 47. En la que se muestra que las granulometrías de las muestras son más finas de las recomendadas según la norma N CMT 4 04/08 de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Partiendo del supuesto de que se diseñaron adecuadamente y que se colocaron acorde al diseño, deduzco que las carpetas muestran materiales pétreos triturados.

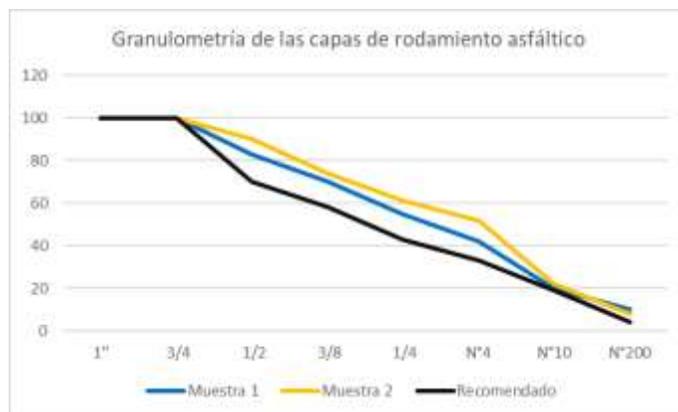


Ilustración 47 Granulometría de las capas de rodamiento asfálticas

Las pruebas para determinar la granulometría de la base de las muestras para el pavimento asfáltico muestra que de haber sido colocado acorde a la norma N CMT 4 02 002/11 estas se encuentran trituradas, por lo que su capacidad de carga se redujo, en la Ilustración 48 se puede apreciar la diferencia en las granulometrías recomendadas contra las encontradas en el tramo de estudio.

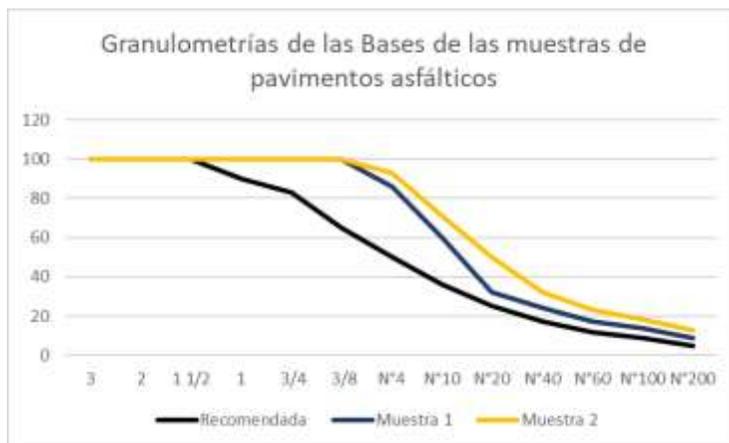


Ilustración 48 Granulometrías de las Bases de las muestras de pavimentos asfálticos

Se diseñaron pavimentos para el Tráfico Diario Promedio Anual (TDPA); se diseñó por medio del programa Dispav-2014 de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) el pavimento de los cuerpos laterales de norte a sur con una cantidad de 8075 ejes equivalentes (4035 para cada carril), con compactaciones ideales (100%) en base granular y sub base, los espesores mínimos de la carpeta son de 16.7 cm; los espesores observados en el tramo de estudio son entre 9.5 y 10 cm. En la Ilustración 49 enmarcado un rectángulo de color rojo se muestra el espesor de la capa de asfalto recomendada.

Rev. 5.0

RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO

Camino de altas especificaciones. Nivel de confianza en el diseño: 85.0%

Para un tránsito de 4035 millones de ejes estándar

Vida Previsible

Capa	H cm	CBRz %	E kg/cm2	Poisson	Def	Fatiga
Carpeta	16.7		35000	0.35		> 150
Base granular	35.2	100.0	35000	0.35	> 150	
Sub-base	17	100.0	2000	0.45	> 150	
Terracería	Semi-Inf.	80.0	500	0.45	> 150	

	Vida Previsible	Transito Proyecto
Deformación	> 150	4035
Fatiga	> 150	4035

La vida previsible es cercana o mayor que la vida de proyecto.
El diseño parece adecuado. La tolerancia es +/- 10% del tránsito de proyecto crítico.

Ilustración 49 Espesores recomendados para el diseño del pavimento asfáltico en cuerpos laterales Norte-Sur

De acuerdo con los datos obtenidos en el diseño, la sección es inadecuada para el tráfico de los carriles laterales con pavimentos asfálticos. Debido a los daños superficiales mostrados se asignara una deformación máxima permitida para recarpeteo de 0.50 mm [12].

4.2 Definición de tramos- cuerpo

Para la recopilación del estado de los pavimentos se propuso la división de la vialidad en 16 tramos- cuerpo; posterior a la recopilación de los datos referentes al estado actual de los pavimentos y flujos vehiculares así como la composición del tránsito, se determinó que no era necesario sub dividir el tramo en 16 secciones debido a que las algunas características son constantes. Para determinar las características de los tramos-cuerpo, en la vialidad se calculó la media ponderada considerando la longitud de cada uno de los 16 tramos con estados estructurales y superficiales similares; considerando también para este fin el sentido del flujo, volumen y caracterización del tráfico vehicular.

Todos los tramos cuerpo laterales en el sentido de sur a norte de la vialidad, fueron incluidos en un solo tramo cuerpo; y se nombró como “LS-ASF”. Los datos de este tramo cuerpo fueron obtenidos por la media ponderada, considerando el IRI y la longitud del tramo. En Tabla 9 se muestran los datos y su manejo para la obtención del IRI y la longitud del nuevo tramo cuerpo LS-ASF.

CÁLCULO DEL IRI PARA CUERPO LATERAL SENTIDO SUR-NORTE (LS-ASF)				
LATERAL SUR	MATERIAL	IRI	LONGITUD	IRI X LONGITUD
1	ASFALTO	8	1.7	13.60
2	ASFALTO	7	1.6	11.20
3	ASFALTO	7	1.4	9.80
4	ASFALTO	7	1.5	10.50
			6.2	7.27
			LONGITUD DEL TRAMO CUERPO	MEDIA PONDERADA

Tabla 9 Calculo del IRI para cuerpo lateral sentido Sur-Norte (LS-ASF)

La lateral sentido Norte-Sur, presenta dos tipos de pavimento debido a esto fue necesario dividir en dos Tramos-Cuerpo, en la Tabla 10 y en la Tabla 11 se muestra el manejo de los datos para ponderar los IRI de dicha lateral.

CÁLCULO DEL IRI PARA CUERPO LATERAL SENTIDO NORTE-SUR (LN-ASF)				
LATERAL NORTE	MATERIAL	IRI	LONGITUD	IRI X LONGITUD
1	ASFALTO	8.5	1.7	14.45
2	ASFALTO	8	1.6	12.80
3	ASFALTO	8	1.4	11.20
			4.7	8.18
			LONGITUD DEL TRAMO CUERPO	MEDIA PONDERADA

Tabla 10 Calculo del IRI para el cuerpo lateral sentido Norte-Sur (LN-ASF)

CÁLCULO DEL IRI PARA CUERPO LATERAL SENTIDO NORTE-SUR (LN-HDR)				
LATERAL NORTE	MATERIAL	IRI	LONGITUD	IRI X LONGITUD
4	HIDRÁULICO	5	1.5	5.00
			1.5	5.00
			LONGITUD DEL TRAMO CUERPO	MEDIA PONDERADA

Tabla 11 Calculo del IRI para el cuerpo lateral sentido Norte-Sur (LN-HDR)

El cuerpo principal con sentido Sur-Norte se construyó en su totalidad en pavimento hidráulico por lo que se ponderó el IRI relacionado con la longitud, la Tabla 12 muestra el cálculo realizado.

CÁLCULO DEL IRI PARA CUERPO PRINCIPAL SENTIDO SUR-NORTE (PS-HDR)				
LATERAL SUR	MATERIAL	IRI	LONGITUD	IRI X LONGITUD
1	HIDRÁULICO	4.4	1.7	7.48
2	HIDRÁULICO	4	1.6	6.40
3	HIDRÁULICO	5	1.4	7.00
4	HIDRÁULICO	5	1.5	7.50
			6.2	4.58
			LONGITUD DEL TRAMO CUERPO	MEDIA PONDERADA

Tabla 12 Calculo del IRI para el cuerpo principal sentido Sur-Norte (PS-HDR)

Para el cuerpo principal sentido Norte-Sur, se realizaron dos cálculos, debido a que su construcción se realizó en dos tipos de pavimentos, la Tabla 13 muestra el cálculo para los pavimentos hidráulicos y la Tabla 14 para el pavimento asfáltico.

CÁLCULO DEL IRI PARA CUERPO PRINCIPAL SENTIDO NORTE-SUR (PN-HDR)				
LATERAL SUR	MATERIAL	IRI	LONGITUD	IRI X LONGITUD
1	HIDRÁULICO	4	1.7	6.80
2	HIDRÁULICO	3.7	1.6	5.92
3	HIDRÁULICO	5	1.4	7.00
			4.7	4.20
			LONGITUD DEL TRAMO CUERPO	MEDIA PONDERADA

Tabla 13 Calculo del IRI para el cuerpo principal sentido Norte-Sur (PN-HDR)

CÁLCULO DEL IRI PARA PRINCIPAL SENTIDO NORTE-SUR (PN-ASF)				
LATERAL NORTE	MATERIAL	IRI	LONGITUD	IRI X LONGITUD
4	ASFALTO	5	1.5	5.00
			1.5	5.00
			LONGITUD DEL TRAMO CUERPO	MEDIA PONDERADA

Tabla 14 Calculo del IRI para el cuerpo principal sentido Norte-Sur (PN-ASF)

En la Tabla 15 se establecen los tramos cuerpos que serán introducidos al programa de gestión HDM-4, y el nombre de cada uno.

1LS	LS-ASF
2LS	
3LS	
4LS	
1LN	LN-ASF
2LN	
3LN	
4LN	LN-HDR
1PS	PS-HDR
2PS	
3PS	
4PS	
1PN	PN-HDR
2PN	
3PN	
4PN	PN-ASF

Tabla 15 Nombre de los tramos cuerpo utilizados en HDM-4

4.3 Obtención y cálculo sobre aforo y características vehiculares

El volumen de tráfico y su caracterización determinan las cargas a las que se somete al pavimento. Estos datos son necesarios para la generación de las predicciones de deterioro en la vialidad.

Para determinar el costo al usuario, la caracterización es indispensable que se calculó el consumo de combustibles y refacciones.

4.3.1. Caracterización vehicular

Se video filmo el tráfico en ocho puntos en el tramo de estudio, en los puntos:

- Calle Del Valle
- Avenida Zaragoza
- Avenida Santiago Troncoso
- Avenida Manuel Talamás Camandari

Se video grabó tanto en el sentido norte sur como en el sur norte. Estos videos se analizaron para realizar el conteo de vehículos determinar sus características.; estas coinciden con las

planeadas por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), en la publicación Técnica 471 del año 2016.

A continuación, se enlistan los puntos de cruce en los que se video grabó el tráfico.

En la Tabla 16 y Tabla 17 se muestra los porcentajes por tipo de vehículo obtenido posterior al análisis de los videos.

CUERPOS PRINCIPALES (3 CARRILES)	
TIPO DE VEHICULO	PORCENTAJE
A2 DE 4 O 6 CILINDROS	84%
A2 DE 8 CILINDROS	9%
B2	1%
C2	5%
T3-S2	1%

Tabla 16 Caracterización vehicular de los cuerpos principales.

CUERPOS LATERALES (2 CARRILES)	
TIPO DE VEHICULO	PORCENTAJE
A2 DE 4 O 6 CILINDROS	59%
A2 DE 8 CILINDROS	19%
B2	22%
C2	0%
T3-S2	0%

Tabla 17 Caracterización vehicular de los cuerpos laterales.

El tránsito diario promedio anual en carriles (5) de sur a norte es de 38 302 ejes [13]

- 23% de los ejes corresponde a los tramos laterales (2 carriles). 8 810 ejes
- 77% de los ejes corresponde a los tramos cuerpo principales (3 carriles). 29 492 ejes

El tránsito diario promedio anual en carriles (5) de norte sur es de 32 301 ejes

- 25% de los ejes corresponde a los tramos cuerpo laterales (2 carriles). 8 075 ejes
- 75% de los ejes corresponde a los tramos cuerpo principales (3 carriles). 24 226 ejes

4.3.2. Cálculo de costos vehiculares debido a su tipo

Para realizar la calibración del parque vehicular en el programa para la gestión de pavimentos HDM-4 se utilizaron variados documentos, en los que se incluye a los emitidos por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), Secretaria de Comunicaciones y Transporte (SCT), *Federal Highway Administration* (FHA), *Victoria Transport Policy Institute* (VTPI). El conjunto de los datos para cada uno de los vehículos tipo, debió ser definido por medio de cálculos o aproximaciones empíricas en algunos de los casos, esto se debe a que las características de los vehículos en Ciudad Juárez son diferentes a las planteadas por los documentos. Esto se debe a la proximidad con Estados Unidos de Norteamérica, la cual facilita la importación o fronterización de automotores. Las edades de los vehículos observados en la vialidad estudiada muestran que los vehículos entre los 7 y 10 años son de 90%.

Para este estudio se observaron en las video filmaciones 7 vehículos tipo: 1) los vehículos sedan de 4 o 6 cilindros, 2) el vehículo de carga ligero o camioneta de 8 cilindros, 3) el vehículo “rutera” como coloquialmente se nombra al transporte público en Ciudad Juárez que coincide con el tipo “B2” establecido por la SCT, 4) el camión utilitario “C2”, 5) Camión Articulado T3-S2, 6) motocicleta 7) T3-S2-R4.

Las nomenclaturas y cargas máximas por eje de los vehículos de carga se establecen en la norma NOM-012-SCT-2-2014, publicada en el Diario Oficial.

- Vehículo sedan 4 o 6 cilindros:

Características básicas de calibración:

- Espacio equivalente de vehículo (PCSE): Es el espacio equivalente al de un vehículo por lo que se establece en 1.

- Numero de ruedas: 4 ruedas.
- Numero de ejes: 2 ejes
- Kilómetros anuales: 9 000 km [14].
- Horas trabajo por año: dado que la velocidad promedio de la ciudad en horas de mayor aforo vehicular es de 27 km/h [15]. Se propone la siguiente ecuación para calcular el tiempo que el vehículo trabaja por año:

$$Ta = \frac{Ra}{Vp}$$

Donde:

Ta: tiempo anual de trabajo.

Ra: Recorrido anual

Vp: Velocidad promedio

Sustituyendo se obtiene la siguiente:

$$Ta = \frac{9000 \text{ km}}{27 \text{ km/h}} = 333.33 \text{ h}$$

El valor que se utilizará será de 333.33 h por año de trabajo para los vehículos de 4 o 6 cilindros.

- Vida media: La vida media del parque vehicular en México es de 14 años [16].
- Tipo de neumático: Radial
- Numero de recauchutados: 0
- Costo del recauchutado: Debido a que la renovación de neumáticos en la ciudad es nula o casi nula se considera 0.
- Porcentaje de uso privado: El 97% de los vehículos registrados en el país son para uso particular [17], por lo que utilizara ese dato para viajes privados.
- Pasajeros: la ocupación vehicular es de 1.7 pasajeros [4].
- Porcentaje de viajes por trabajo: 3%.

- Número de ejes equivalentes por vehículo (ESALF): 0.002 (diapav 5)
- Peso en marcha: El peso en marcha se estableció con el promedio de vehículos chicos y vehículos medianos, estadísticas proporcionadas por los fabricantes dando como resultado 1.5 t.

Costos económicos unitarios del vehículo:

- Vehículo nuevo: el vehículo nuevo más vendido en México en el 2016 fue el Nissan Versa con un costo de 179 500 pesos, por lo que se determinó utilizar este precio para el campo.
- Neumático de repuesto: El Nissan Versa utiliza un neumático 185/65R15 el cual tiene un costo en el mercado de 1785.00 pesos.
- Combustible: El costo por litro en la ciudad es de alrededor de los 13.00 pesos.
- Aceite lubricante: 115 pesos por litro.
- Mantenimiento por hora: el costo por hora de mano de obra del taller en la agencia Nissan es de 200 pesos por hora.
- Tripulación: el costo por pasajero por hora en México es de 21.87 pesos [18]. Al ser la ocupación vehicular de 1.7 pasajeros, el total del costo de la tripulación se establece en 37.20 pesos.
- Gastos generales: Los gastos de mantenimiento anual proporcionados por el vendedor del Nissan Versa son de 2,482 pesos.
- Interés anual: 22% [19].

Valor del tiempo:

- Pasajero, tiempo por trabajo: 21.87 pesos [5].
- Pasajero, tiempo por ocio: 13.12 pesos [5].
- Retraso de la carga: Debido a que la mayoría de los traslados son particulares se establece un costo de la carga de 0 pesos.

Vehículo o camioneta de 8 cilindros:

Características básicas de calibración:

- Espacio equivalente de vehículo (PCSE): 1
- Numero de ruedas: 4
- Numero de ejes: 2
- Kilómetros anuales: 9 000
- Horas trabajo por año: 333.33 horas. Velocidad promedio en Ciudad Juárez 27 km/hr
- Vida media: 14 años
- Tipo de neumático: radial
- Numero de recauchutados: 0
- Costo del recauchutado: 0
- Porcentaje de uso privado: 30%
- Pasajeros: 1.7 (obtenido del documento de la embajada británica)
- Porcentaje de viajes por trabajo: 70%
- Numero de ejes equivalentes por vehículo (ESALF): 0.01, obtenido por el mismo programa HDM-4, por medio del asistente.
- Peso en marcha: obtenida en el fabricante de vehículos Ford F-150 el cual es el más vendido en México 2.7 t.

Costos económicos unitarios del vehículo:

- Vehículo nuevo: 429 700 pesos, dato obtenido en la concesionaria.
- Neumático de repuesto: 1 824 pesos, obtenido en un distribuidor.
- Combustible: 13.00 pesos
- Aceite lubricante: 115 pesos por litro.
- Mantenimiento por hora: 280 pesos por hora de mano de obra para mantenimiento.
- Tripulación: el costo por pasajero por hora en México es de 21.87 pesos [18]. Al ser la ocupación vehicular de 1.7 pasajeros, el total del costo de la tripulación se establece en 37.20 pesos.
- Gastos generales: 5 400 pesos por año.
- Interés anual: 35% [19]

Valor del tiempo:

- Pasajero, tiempo por trabajo: 21.87 pesos [5].

- Pasajero, tiempo por ocio: 13.12 pesos [5].
- Retraso de la carga: Cuando trata de cargas comerciales este concepto deberá ser calculado dependiendo del giro de cada empresa, en este estudio se asignara un salario mínimo horario 10.02 pesos. Salario, desgaste, mercancía

Camión de carga C2

Características básicas de calibración:

- Espacio equivalente de vehículo (PCSE): el valor se establece dependiente del tipo de camino y de las dimensiones del vehículo 1.6 [20].
- Numero de ruedas: 6
- Numero de ejes: 2
- Kilómetros anuales: El vehículo según encuestas recorre 60 km diarios [21], por lo que se establece en 18 780 km por año. (se restaron 52 domingos a 365 días de un año)
- Horas trabajo por año: La velocidad promedio de la ciudad es de 27 km/h por lo que se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$HTA = \frac{RD}{Vp} (313)$$

En donde:

HTA: Horas de trabajo por año

RD: Recorrido diario

Vp: Velocidad promedio

Sustituyendo se obtiene:

$$HTA = \frac{60 \text{ km}}{27 \frac{\text{km}}{\text{h}}} (313) = 695.5 \text{ h}$$

- Vida media: La edad media de los vehículos en circulación es de 15.1 años, este tipo de vehículo es el que presenta mayor antigüedad promedio [8].
- Tipo de neumático: Radial
- Numero de recauchutados: 0
- Costo del recauchutado: 0
- Porcentaje de uso privado: 0%
- Pasajeros: 2
- Porcentaje de viajes por trabajo: 100%
- Numero de ejes equivalentes por vehículo (ESALF): 1.25
- Peso en marcha: 8.8 t.

Costos económicos unitarios del vehículo:

- Vehículo nuevo: 567 500.00 pesos. Con el distribuidor Ford, cotizando el chasis F-450 con motor a gasolina.
- Neumático de repuesto: 5 644.00 pesos
- Combustible: 13.00 pesos
- Aceite lubricante: 70.00 pesos
- Mantenimiento por hora: 427.24 pesos.
- Tripulación: 2
- Gastos generales: 5350.00 pesos
- Interés anual: 35% [19]

Valor del tiempo:

- Pasajero, tiempo por trabajo: 21.87 pesos [5]
- Pasajero, tiempo por ocio: 13.12 pesos [5].
- Retraso de la carga: 43.74 pesos

Camión de carga B2

Características básicas de calibración:

- Espacio equivalente de vehículo (PCSE): 2.4 [7].
- Numero de ruedas: 6

- Numero de ejes: 2
- Kilómetros anuales: 145.2 km diarios [8], estos vehículos circulan todos los días de la semana por lo que tenemos que multiplicar el valor anterior por 365 días. La cifra se establece en 52 998 km.
- Horas trabajo por año: Generalmente estos camiones en la ciudad trabajan 14 horas de lunes a viernes y un turno de 8 horas sábado y domingo por lo que se establece que trabajan 1144 horas al año.
- Vida media: según datos proporcionados por los mismos choferes es de 13 años.
- Tipo de neumático: radial
- Numero de recauchutados: 1.5
- Costo del recauchutado: 15%
- Porcentaje de uso privado: 0%
- Pasajeros: 40
- Porcentaje de viajes por trabajo: 100%
- Numero de ejes equivalentes por vehículo (ESALF):
- Peso en marcha: 19.5t.

Costos económicos unitarios del vehículo:

- Vehículo nuevo: 1 200 000 pesos
- Neumático de repuesto: 5 200 pesos
- Combustible: Diesel
- Aceite lubricante: 230 pesos por litro
- Mantenimiento por hora: 156 pesos
- Tripulación: 1
- Gastos generales: 3 200
- Interés anual: 35% [19]

Valor del tiempo:

- Pasajero, tiempo por trabajo: 9 pesos
- Pasajero, tiempo por ocio: 0
- Retraso de la carga: 360 pesos

Camión de carga T3-S2

Características básicas de calibración:

- Espacio equivalente de vehículo (PCSE): 1.8
- Numero de ruedas: 18
- Numero de ejes: 5
- Kilómetros anuales: 86 000
- Horas trabajo por año: 2 050
- Vida media: 14
- Tipo de neumático: radial
- Numero de recauchutados: 1.3
- Costo del recauchutado: 15%
- Porcentaje de uso privado: 0
- Pasajeros: 2
- Porcentaje de viajes por trabajo: 100%
- Numero de ejes equivalentes por vehículo (ESALF): 4.63
- Peso en marcha: 28 t.

Costos económicos unitarios del vehículo:

- Vehículo nuevo: 1 800 000 pesos
- Neumático de repuesto: 5 400 pesos
- Combustible: Diesel
- Aceite lubricante: 245 pesos por litro
- Mantenimiento por hora: 84 pesos
- Tripulación: 2
- Gastos generales: 11 500 pesos
- Interés anual: 30%

Valor del tiempo:

- Pasajero, tiempo por trabajo: 280 pesos
- Pasajero, tiempo por ocio: 0

- Retraso de la carga: 325 pesos

4.4 Base de datos climáticos

El clima es uno de los cuatro factores que determinan el comportamiento de los modelos de predicción, esta base contiene datos recabados en el Laboratorio de Climatología y Calidad del aire de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, y datos obtenidos por el autor usando los datos del laboratorio antes mencionado.

5 Análisis económico y financiero de los planes de gestión

La disponibilidad de recursos es uno de los aspectos críticos en el mantenimiento vial, en este capítulo se analizan las predicciones de deterioro de los diferentes pavimentos de la vialidad, relacionando este estado con los costos de operación vehicular.

La principal característica de este análisis es la optimización en la creación de un plan de mantenimiento que minimice el valor combinado de los costos de mantenimiento y operación vehicular.

En primera instancia se establecen los costos de diferentes trabajos de mantenimiento por medio de un análisis de precios unitarios (anexo 1), estos trabajos se programan a diferentes periodos e intensidades. Auxiliándose del programa HDM-4 se identifican los planes con mayor Tasa Interna de Retorno (TIR) a valores descontados de inversión en el mantenimiento de la vialidad menos los ahorros de operación vehicular.

5.1 Recopilación y elaboración de los trabajos de reconstrucción y mantenimiento.

Los trabajos de mantenimiento seleccionados son los que tradicionalmente se realizan en la ciudad y son los siguientes:

Para pavimentos asfálticos:

- Sello en grietas y fisuras
- Bacheo superficial aislado
- Perfilado y reposición de 2.5 cm
- Perfilado y reposición de 5 cm

Para pavimentos hidráulicos se seleccionaron los siguientes trabajos de mantenimiento:

- Reposición de losa

En el caso de los pavimentos hidráulicos, es inconveniente en el uso del programa HDM-4 la elección de trabajos de sellado de grietas o de juntas debido a que la versión utilizada (1.3) por defecto al realizar estos trabajos, los tramos en estudio reducen su IRI a 2 o menor, situación que es falsa, por lo que se determinó, no utilizar los trabajos antes mencionados.

Se diseñaron 6 planes acordes a los presupuestos destinados anualmente para el mantenimiento de las vialidades en Ciudad Juárez, el cual es de 50 000 000 de pesos para el mantenimiento de vialidades primarias y secundarias. La Avenida de las Torres es la segunda vialidad con mayor aforo vehicular de la ciudad (163 000 vehículos) [1], solamente debajo de la Avenida Tecnológico.

El 25% del total de vehículos que circulan por las 5 principales arterias de la ciudad circula por la Avenida de las Torres [1]. Debido a este indicador se determinó como límite superior

para la inversión anual en el mantenimiento y mejora de la avenida fuera cercano al 10% del presupuesto total invertido en el año 2017 para vialidades secundarias y primarias de la ciudad. El 10% del presupuesto asignado a mantenimiento se propone a partir de interacciones con el programa HDM-4

Los planes fueron nombrados “nulo” el cual sirve de base para identificar beneficios costo, “preventivo”, “predictivo”, “correctivo”, “Mantener ISA”, y “Mejorando ISA”. En la Tabla 18 se describen las características de cada uno de los planes de mantenimiento para los pavimentos asfálticos. En la tabla 17 se describen las características de cada plan de mantenimiento para los pavimentos hidráulicos.

Las variaciones de los planes de mantenimiento son principalmente los criterios de intervención, la intensidad de la intervención y los tiempos en los que se aplica cada plan, excepto para él “nulo”, este plan tiene un costo de 0 pesos referente al mantenimiento de la vialidad, debido a que el plan tiene una intervención nula para pavimentos asfálticos e hidráulicos.

Los costos de las labores de mantenimiento se obtuvieron por medio de una análisis de precios unitarios, las fichas pueden ser consultadas en el anexo 1

Planes de trabajo en pavimentos asfálticos para la Av. De Las Torres				
PREVENTIVO				
Trabajos	Intervención	Criterio	Diseño	Efecto
Fresado y reposición localizado	Programada	Cada 3 años	Corte y reposición de 2.5 cm	Zona regresa a 4 de IRI deflexión máxima de 40 mm
Bacheo	Programada	Cada año	Bacheo aislado	Repara hasta 5 000 m ² /km/año
Sello de fisuras y grietas	Programada	Cada año	Sello de fisura por junta fría y grieta al 70%	Repara hasta 7 000 m ² /km/año
PREDICTIVO				
Trabajos	Intervención	Criterio	Diseño	Efecto
Fresado y reposición localizado	Programada	Cada 2 años	Corte y reposición de 2.5 cm	Zona regresa a 5 de IRI deflexión máxima de 50 mm
Bacheo	Correctiva	De 31 a 100 baches/km	Bacheo aislado	Repara hasta 2 500 m ² /km/año
Sello de fisuras y grietas	Programada	Cada 2 años	Sello de fisuras por junta fría y fisuras al 100%	Repara hasta 5 000 m ² /km/año
CORRECTIVO				
Trabajos	Intervención	Criterio	Diseño	Efecto
Fresado y reposición localizado	Correctiva	14<IRI<16	Corte y reposición de 2.5 cm	Vialidad regresa a IRI de 6
Bacheo	Correctiva	De 50 a 100 baches/km	Bacheo aislado	Repara hasta 8 000 m ² /km/año
Sello de fisuras y grietas	Correctiva	Fisuración del 70 al 100 %	Sello de fisura por junta fría y grieta al 100%	Repara hasta 8 000 m ² /km/año

Tabla 18 Características de los planes de mantenimiento para pavimentos asfálticos

Planes de trabajo en pavimentos hidráulicos para la Av. De Las Torres				
Cambio de losas a los 10 años				
Trabajos	Intervención	Criterio	Diseño	Efecto
Reposición de losas	Programada	Cada 10 años	Sustitución de losas	100 % de losas sustituidas
Cambio de losas a los 20 años				
Trabajos	Intervención	Criterio	Diseño	Efecto
Reposición de losas	Programada	Cada 20 años	Sustitución de losas	100 % de losas sustituidas
Cambio de losas a los 30 años				
Trabajos	Intervención	Criterio	Diseño	Efecto
Reposición de losas	Programada	Cada 30 años	Sustitución de losas	100 % de losas sustituidas

Tabla 19 Características de los planes de mantenimiento para pavimentos hidráulico

5.2 Selección de los planes de mantenimiento por tramo-cuerpo

Se realizó una simulación del tramo en estudio en el programa HDM-4, con la finalidad de obtener las predicciones de deterioro y los trabajos que serán necesarios para el mantenimiento de la vialidad. Este estudio se realizó maximizando el costo beneficio de la aplicación de recursos por parte del municipio relacionado a los ahorros obtenidos por los usuarios.

5.2.1. Gestión de pavimentos asfálticos

Para el caso de los tramos-cuerpo laterales con pavimento asfáltico, el autor no encontró un programa de mantenimiento que combinando; perfilado y reposición, sellado de fisuras y bacheo redujera los Índices Internacionales de Rugosidad (IRI) y por ende beneficiara al usuario, esto es debido a que de acuerdo a la simulación realizada, los IRI no se reducen en la aplicación de dichos trabajos; por lo que se recomienda sustituir paulatinamente y lo antes posible los pavimentos mencionados por pavimentos que cumplan con las especificaciones necesarias para resistir las cargas a las que se someten dichos tramos-cuerpo; -los pavimentos asfálticos ubicados en las laterales no son gestionables para el alcance de esta investigación-

Debido a que los resultados obtenidos con los pavimentos asfálticos de la vialidad se analizó un plan de mantenimiento para un hipotético tramo-cuerpo lateral con un espesor de 160 mm y una estructura de soporte adecuada a las cargas para un periodo de duración de 10 años; el diseño se realizó con el programa Dispav-2014 de la Universidad Nacional Autónoma de México; para este tramo-cuerpo se obtienen predicciones de deterioro acordes a la literatura consultada para esta investigación, en la Ilustración 50 se puede observar como este tramo-cuerpo adecuado para las cargas de la vialidad obtiene predicciones de deterioro acordes a un comportamiento típico de un pavimento asfáltico correctamente diseñado. A partir del año 2025 (año 9) los planes de mantenimiento preventivo, correctivo y la Alternativa base, inician un comportamiento no deseable; el plan de mantenimiento preventivo se mantiene estable en un IRI cercano al 9 durante los 15 años de predicción.

Regularidad Media (IRImed) por Proyecto (ponderado según longitud de tramo)

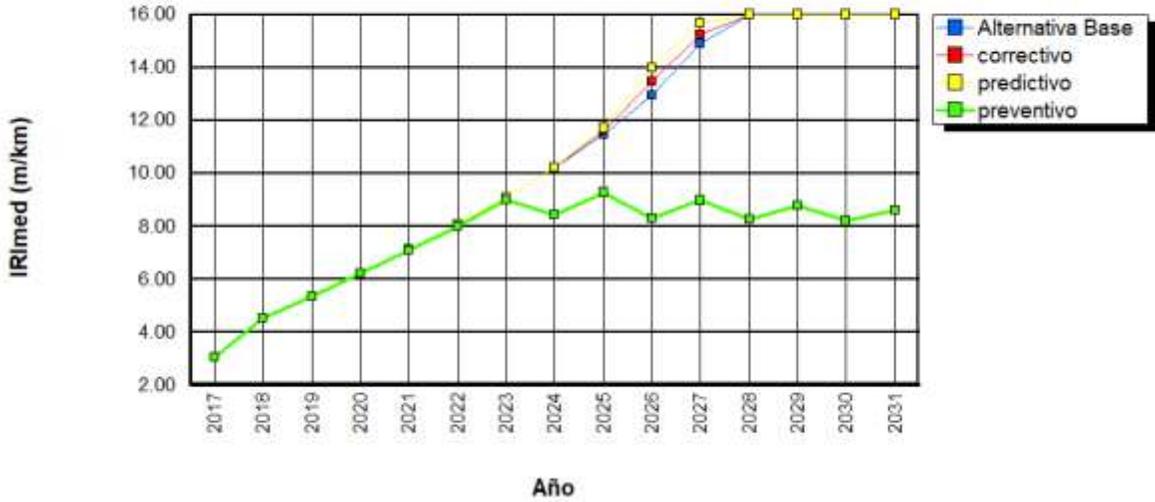


Ilustración 50 Regularidad media por proyecto de tramo-cuerpo en adecuado estado inicial

Para el plan de mantenimiento preventivo en la Tabla 20 se pueden observar los ahorros de los usuarios y la TIR de los diferentes planes. En los rectángulos color rojo se enmarcan los datos del plan de mantenimiento “preventivo”.

Relaciones Beneficio Coste

Nombre del estudio: perfecto estado

Fecha de ejecución: 04-12-2017

Moneda: Peso MX (millones)

Tasa de descuento: 10.00%.

Tramo: nuevo

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costes de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
preventivo	7.727	7.727	7.714	8.192	0.000	0.478	0.062	0.062	10.3 (1)
correctivo	0.015	0.000	0.001	-3.360	0.000	-3.362	-223.949	zero cost	No Solution
predictivo	0.000	0.000	-0.014	-6.708	0.000	-6.694	zero cost	zero cost	No Solution

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Tabla 20 Relaciones de beneficio costo para tramo-cuerpo con estado inicial adecuado.

El calendario de actuación (Tabla 21) pueden observarse los montos que deberán aplicarse en 15 años al tramo-cuerpo en un periodo de 15 años para mantener los índices de servicio mostrados en la Ilustración 50 para que los ahorros de los usuarios sean superiores a las inversiones realizadas con una tasa de descuento del 10%. El costo económico, enmarcado en el recuadro verde es de 28 059 602.70 pesos, en caso de que los trabajos deban de ser financiados por no contar con el dinero para hacer los trabajos requeridos será de 30 220 669.30 pesos (enmarcado en el cuadro azul). Las cantidades de trabajo realizadas al tramo se encuentran al lado derecho.

Alternativa: preventivo					
Tramo: nuevo			Clase de carretera: Secundaria o principal		
Tipo rodadura: Bituminosa			Ancho: 7.00 m		
Longitud: 12.40 km					
Año	Descripción	Código	Coste económico	Coste financier	Cantidad de trabajo
2017	Bacheo	Bch	0.0	0.0	0.00 sq. m
	sellado de fisuras	sf	0.0	0.0	0.00 sq. m
2018	Bacheo	Bch	0.0	0.0	0.00 sq. m
	sellado de fisuras	sf	0.0	0.0	0.00 sq. m
2019	Bacheo	Bch	0.0	0.0	0.00 sq. m
	sellado de fisuras	sf	32,314.0	34,795.1	992.44 sq. m
2020	Bacheo	Bch	0.0	0.0	0.00 sq. m
	sellado de fisuras	sf	88,058.5	94,819.7	2,704.50 sq. m
2021	Bacheo	Bch	0.0	0.0	0.00 sq. m
	sellado de fisuras	sf	125,038.2	134,638.8	3,840.24 sq. m
2022	Bacheo	Bch	0.0	0.0	0.00 sq. m
2023	Fresado y reposicion localizadc	FRI	6,953,548.0	7,489,104.0	86,800.00 sq. m
2024	Bacheo	Bch	0.0	0.0	0.00 sq. m
2025	Fresado y reposicion localizadc	FRI	6,953,548.0	7,489,104.0	86,800.00 sq. m
2026	Bacheo	Bch	0.0	0.0	0.00 sq. m
2027	Fresado y reposicion localizadc	FRI	6,953,548.0	7,489,104.0	86,800.00 sq. m
2028	Bacheo	Bch	0.0	0.0	0.00 sq. m
2029	Fresado y reposicion localizadc	FRI	6,953,548.0	7,489,104.0	86,800.00 sq. m
2030	Bacheo	Bch	0.0	0.0	0.00 sq. m
2031	Bacheo	Bch	0.0	0.0	0.00 sq. m
Coste total para el tramo:			28,059,602.7	30,220,669.6	

Tabla 21 Calendario de trabajo para el plan preventivo.

5.2.2. Gestión de pavimentos hidráulicos

El programa con el que se cuenta para esta investigación (HDM-4), referente a la gestión de pavimentos hidráulicos tiene limitaciones que impide la correcta predicción de los deterioros; la mayor limitante consiste en cuando se aplican a la simulación el trabajo de sello en las fisuras y las juntas de unión, mejora el IRI (Índice Internacional de Rugosidad), indicando el de un pavimento nuevo (IRI=2), y conforme se sigue aplicando este trabajo los IRI siguen disminuyendo hasta llegar a 0.5. Estas predicciones no son probables, ya que el sello de fisuras y grietas no beneficia el IRI, la intención de esta labor de mantenimiento es la de limitar las filtraciones de las precipitaciones a la capas de base.

Cabe mencionar, que el trabajo de sello de fisuras y juntas es el que se recomienda de forma rutinaria en este tipo de pavimentos, y que generalmente cuando el pavimento fue diseñado adecuadamente es el que de forma programada se realiza.

Debido a la limitante en el HDM-4 para realizar las predicciones de deterioro, el autor propuso el sellado de juntas cada 3 años, conociendo el precio unitario de dicha labor se propusieron los montos que deberán estar disponibles para dichos trabajos. En cada uno de los años del periodo de análisis los del estudio se destinará el monto necesario para sustituir el 2% del área total del tramo identificado como pavimento hidráulico, este 2% es el dañado estructuralmente en los recorridos realizados actualmente.

Otra limitante es el cálculo de los incrementos en los costos de operación vehicular, sin embargo al sellar las grietas y las fisuras, y sustituyendo (el 2% del área total de pavimentos hidráulicos) las losas con daños estructurales se espera que los costos de operación vehicular se mantengan estables. En el sección 4.1.5.1 de este trabajo se demostró por medio de pruebas de laboratorio, que el diseño de los pavimentos hidráulicos del tramo en estudio son adecuados para las cargas vehiculares, por lo que las predicciones obtenidas para el primer año referente a los gastos vehiculares se tomaran como ciertos para 5 años posteriores, los costos para los siguientes 10 años serán los que se presenten para el año 12, esta decisión es tomada debido a que el pavimento muestra en las predicciones un IRI de 9 para el año 12, y se mantiene como un máximo a lo largo de los 15 años de análisis con un mantenimiento nulo.

Los flujos de efectivo necesarios para el sello de juntas y fisuras cada 3 años y la sustitución del 2% (2 728 m²) de las losas cada año los 15 años del estudio se muestran en la Tabla 22, estos montos tienen el valor actual de estos trabajos.

Costos monetarios anuales para el mantenimiento de los pavimentos hidráulicos			
Año	Concepto	Costo monetario para el municipio	Total del año
2017	Sello de fisuras y grietas	\$ 763,629.32	\$ 2,782,355.46
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2018	Sello de fisuras y grietas	\$ -	\$ 2,018,726.14
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2019	Sello de fisuras y grietas	\$ -	\$ 2,018,726.14
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2020	Sello de fisuras y grietas	\$ 763,629.32	\$ 2,782,355.46
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2021	Sello de fisuras y grietas	\$ -	\$ 2,018,726.14
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2022	Sello de fisuras y grietas	\$ -	\$ 2,018,726.14
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2023	Sello de fisuras y grietas	\$ 763,629.32	\$ 2,782,355.46
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2024	Sello de fisuras y grietas	\$ -	\$ 2,018,726.14
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2025	Sello de fisuras y grietas	\$ -	\$ 2,018,726.14
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2026	Sello de fisuras y grietas	\$ 763,629.32	\$ 2,782,355.46
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2027	Sello de fisuras y grietas	\$ -	\$ 2,018,726.14
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2028	Sello de fisuras y grietas	\$ -	\$ 2,018,726.14
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2029	Sello de fisuras y grietas	\$ 763,629.32	\$ 2,782,355.46
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2030	Sello de fisuras y grietas	\$ -	\$ 2,018,726.14
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Año	Concepto	Monto	Total del año
2031	Sello de fisuras y grietas	\$ -	\$ 2,018,726.14
	Sustitución del 2% de las losas (2 728 m2)	\$ 2,018,726.14	
Inversión total a precio actual			\$ 34,099,038.70

Tabla 22 Costos monetarios anuales para el mantenimiento de los pavimentos hidráulicos.

La suma de los costos para la gestión de pavimentos asfálticos e hidráulicos serán tomados como los montos que deberán estar disponibles para el mantenimiento de la vialidad quedando para cada año según los mostrados en la Tabla 23.

Montos monetarios anuales para mantenimiento de la av. De Las Torres			
Año	Asfalto	Hidráulico	Valor actual
2017	\$ -	\$2,782,355.00	\$ 2,782,355.00
2018	\$ -	\$2,018,726.14	\$ 2,018,726.14
2019	\$ 32,314.00	\$2,018,726.14	\$ 2,051,040.14
2020	\$ 88,058.50	\$2,782,355.00	\$ 2,870,413.50
2021	\$ 125,038.20	\$2,018,726.14	\$ 2,143,764.34
2022	\$ -	\$2,018,726.14	\$ 2,018,726.14
2023	\$6,953,548.00	\$2,782,355.00	\$ 9,735,903.00
2024	\$ -	\$2,018,726.14	\$ 2,018,726.14
2025	\$6,953,548.00	\$2,018,726.14	\$ 8,972,274.14
2026	\$ -	\$2,782,355.00	\$ 2,782,355.00
2027	\$6,953,548.00	\$2,018,726.14	\$ 8,972,274.14
2028	\$ -	\$2,018,726.14	\$ 2,018,726.14
2029	\$6,953,548.00	\$2,782,355.00	\$ 9,735,903.00
2030	\$ -	\$2,018,726.14	\$ 2,018,726.14
2031	\$ -	\$2,018,726.14	\$ 2,018,726.14

Tabla 23 Montos monetarios anuales para mantenimiento de la av. De Las Torres.

5.3 Propuesta para la gestión de pavimentos en la avenida de Las Torres.

Los diferentes factores que inciden en el comportamiento de los pavimentos a lo largo de su ciclo de vida, hacen necesaria la implementación de un plan de gestión para mantener los índices de servicio y prolongar la vida útil de los mismos. Para que esto se lleve a cabo es necesario contar con datos verídicos y suficientes para realizar una adecuada toma de decisiones de inversión. El principio fundamental de la creación de vialidades, es el de dar un servicio adecuado al usuario. Una combinación de costos para el erario y los del usuario debe ser considerada.

Una adecuada gestión de pavimentos consiste en la optimización de las labores de diseño, construcción, mantenimiento y mejora de las vialidades.

El plan de gestión propuesto por el autor consta de 4 pasos: entradas, proceso, salidas y retroalimentación. Los datos necesarios, procesos requeridos y las salidas deseables se muestran de forma simplificada en la Tabla 24.

Necesidades, proceso y salidas del plan de gestion para la Av. De Las Torres			
ENTRADAS		PROCESO	SALIDAS
Datos	Norma		
Indice Internacional de Rugosidad	ASTM E 867-06 y NLT-330/98	predicciones de deterioro	costos al erario
Textura Micro y Macro	NLT-335/87		
Cuantificacion de Fallas y ubicación de las mismas	GUÍA DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO 2014	Priorizacion de trabajos de mantenimiento	plan de trabajo
Estado Estructural de los pavimentos	Sistema de evaluacion de pavimentos IMT 2014		
Aforos Vehiculares	Propuesto por el autor		
Caracterizacion de Trafico vehicular	Propuesto por el autor	Prediccion de costos de operación vehicular	
Cargas vehiculares	PROY-NOM-012-SCT-2-2017		
Costos de operación vehicular	-		
Datos Climaticos	-		

Tabla 24 Necesidades, proceso y salidas del plan de gestión para la Av. De Las Torres.

La etapa de retroalimentación consiste en introducir de nuevo los datos de las predicciones realizadas y la actualización de cualquier dato que cambie sus valores y el análisis de los resultados obtenidos.

Los o el plan elegido deberá ser realizable, económica y técnicamente, cuantificar los costos beneficio de su implementación y los montos necesarios para su ejecución en el periodo de tiempo de la gestión.

Para realizar el análisis el autor recomienda la utilización del programa HDM-4 versión 2.4, el cual cuenta con algoritmos necesarios para la predicción de los deterioros de pavimentos asfálticos e hidráulicos.

6 Conclusiones

El deterioro de los pavimentos incrementa los costos de operación para los usuarios y limitan el traslado de personas y mercancías; generalmente, el recurso económico destinado a la gestión de los pavimentos es limitado, por lo que resulta necesario eficientizar su aplicación para prolongar la vida útil de los pavimentos. Es necesario establecer planes de mantenimiento y reparación, con la finalidad de que éstos proporcionen el servicio para el que fueron diseñados y construidos.

En Ciudad Juárez, es necesario optimizar los recursos financieros destinados al mantenimiento y reparación de las vialidades, en la búsqueda de disminuir los gastos de las dependencias gubernamentales y de los usuarios. En Ciudad Juárez se tiene una superficie de rodamiento de 1 029 203 m² la cual se encuentra en condiciones no aceptables, los cuales requerirían acciones de rehabilitación o reconstrucción, mientras que 2´466,294 m² están en condiciones regulares [3].

El objetivo de esta investigación fue el desarrollo de una metodología, para la elaboración de planes de gestión de las vialidades en Ciudad Juárez, tomando como caso de estudio la Avenida de Las Torres, priorizando las labores de gestión con la finalidad de optimizar los costos al municipio y al usuario.

Para la implementación de un plan de gestión es necesario contar con datos veraces y suficientes que permitan conocer el estado actual de los pavimentos y los requerimientos del usuario; los datos existentes en ocasiones resultan insuficientes o no adecuados para los requerimientos del programa propuesto para dicha labor (HDM-4).

La aplicación de normas para recabar datos, permite introducir los requeridos por programas de gestión. La utilización de criterios locales o personales, limita la aplicación generalizada a una vialidad o red vial.

Como primer paso para implementación de un plan de gestión, se deberán establecer procedimientos actualizados y útiles para la obtención de datos de los estados de los pavimentos y requerimientos del usuario -así como sus costos- para ser usados en programas computacionales de gestión.

Se deberá contar con un catalogo actualizado de precios de las diferentes labores de mantenimiento realizables por los organismos gubernamentales y de los contratistas disponibles para la ejecución de los mismos.

A los materiales y productos terminados de mantenimiento se le deberán realizar pruebas de laboratorio con la finalidad de conocer sus características reales, ya que dichos datos en la ciudad son desconocidos, o no se tiene acceso a ellos.

La supervisión de los procesos constructivos, de diseño y el seguimiento de el estado de los pavimentos durante su vida útil debe ser prioritario para todo sistema de gestión.

Es necesario vigilar el cumplimiento de las normas que hacen referencia a los pesos permitidos en las vialidades, así como un adecuado plan de rutas para el transporte pesado.

Para el caso de estudio planteado de la Av. De Las Torres, se tuvo la necesidad de diseñar y utilizar en el modelo de predicción un pavimento asfáltico hipotético, debido a que los pavimentos asfálticos existentes -según las pruebas de laboratorio realizadas- no cuentan con la capacidad de carga para las que se somete, este factor puede ser el que no permita disminuir los Índices Internacionales de Rugosidad, en dichos tramos y por ende no se disminuyen los costos de operación vehicular. Es probable que el diseño de los pavimentos mencionados se realizara cuando las cargas vehiculares eran menores.

En el caso de los pavimentos hidráulicos, el desface de losas mayor a 4 mm es del 100%, el sello en fisuras y juntas de unión se realizó con materiales no adecuados, lo que provoca filtraciones a la capa base, y muy probablemente por los ciclos de saturación y secado rompa el sello inadecuado generando la retroalimentación del sistema de deterioro. Otra observación hecha por el autor en los pavimentos hidráulicos es la fisuración del 100% de las losas en sentido longitudinal, transversal y diagonal, la mayoría de estas fisuras no se encuentran selladas.

En las pruebas de laboratorio realizadas a las capas de soporte de los pavimentos, se determinó que las granulometrías no corresponde a las normas establecidas, esto puede deberse a una mala supervisión durante la ejecución de la obra, un mal diseño o que las capas ya estén falladas (trituras). Cual quiera que sea el caso, este factor no permite la adecuada transferencia de las cargas, lo que incrementa o acelera los deterioros.

Respecto a los aforos vehiculares y su caracterización, se determino que en el caso de los cuerpos laterales, las cargas son mayores que las de los cuerpos principales, sin embargo el diseño de las laterales es para menores cargas vehiculares; esto es posible por la cantidad de camiones urbanos que circulan por las laterales -subida y bajada de personas-.

El programa utilizado para esta investigación fue el HDM-4, este tiene limitantes para la predicción de deterioros en pavimentos hidráulicos, las cuales cuya característica principal es la inadecuada predicción del comportamiento del IRI posterior a la aplicación de trabajos de mantenimiento, por lo que se debió calcular por parte del autor los costos de mantenimiento de tal forma que no fueran mayores en conjunto de los dos pavimentos a los 10 000 000 de pesos establecidos como limite superior de inversión anual.

Los resultados de esta investigación ofrecen un plan de gestión optimizando los costos de operación vehicular y los costos al erario. Además identifica la necesidad de sustituir los pavimentos flexibles o su actualización para la adecuada aplicación de recursos en su

mantenimiento. Se establecen los montos necesarios para dichos trabajos a valor actual en la Tabla 23.

7 Recomendaciones

La principal limitante de este trabajo de estudio fue la obtención de datos en dependencias gubernamentales debido a su inexistencia o el no contar con un sistema que los haga accesibles. Se recomienda la generación de datos y la elaboración de una base que permita el acceso a investigadores.

Utilizar para la elaboración de trabajos posteriores la versión 2.4 o posterior del programa HDM-4.

[1] (2016). *Plan de Desarrollo Urbano Sostenible*.

[1] (2016). *Plan de Desarrollo Urbano Sostenible*.

[2] K. C., M. G. Hill, Ed. *Ingeniería de carreteras volumen II*, I ed. España, 2004, p. 547.

[3] G. N. J., T. Lerner, Ed. *Ingeniería de tránsito y carreteras*, 3 ed. México, 2005.

[4] C. d. I. C. E. Fronteriza. (2012, 01 enero 2016). *Proyectos*. Available: <http://www.cocof.org/proyectos/proyectos-certificados/proyecto-integral-de-pavimentacion-para-mejoramiento-de-la-movilidad-urbana-ciudad-juarez-chihuahua>

[5] J. M. P. Carlos Kraemer, Sandro Rocci, Manuel G. Romana, Víctor Sánchez Blanco, Miguel Ángel del Val, *Ingeniería de carreteras* (no. II). España: McGraw-Hill, 2003, p. 479.

[6] E. C. Aroni. (2015, 02/19/2017). *Gestión conservación vial*. Available: <http://es.slideshare.net/castilloaroni/gestion-conservacion-vial-49011370>

[7] (1998). *Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México*.

[8] H. G. R. Kenali, T. w. r. association, Ed. *HDM-4 Highway development & management*. Francia, 2001.

[9] J. A. A. Osorno, "Costos de operación base de los vehículos representativos del transporte interurbano 2016," in "Publicación técnica 471," Instituto Mexicano del Transporte, Snfandila Queretaro 2016.

[10] *Guide for Design of Pavement Structures I*, 1993.

[11] *IMT, Materiales para pavimentos*, 2011.

- [12] *Cátalogo de secciones estructurales de pavimentos para carreteras de la república mexicana.*
- [13] (2007). *Sistema de Administración de Pavimentos.*
- [14] M. R. Salvador, "La importancia de la reducción del uso del automóvil en México," Instituto de Políticas para el Transporte y Desarrollo México, México D.F. 21 de octubre del 2012 2012.
- [15] (2015). *Estudio integral para el corredor de Transporte Público.*
- [16] J. E. Cruz Rivera. (2008) Acumulación de productos al final de su vida útil en México, el caso de los vehículos automotores. *Revista internacional de contaminación ambiental.*
- [17] I. N. d. E. y. Geografía. (2017, 22 de abril de 2017). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía.* Available: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/?idserpadre=10900530&d10900530#D10900530>
- [18] (2006). *Propuesta metodológica para la estimación del valor del tiempo de los usuarios de la infraestructura carretera en México: El caso del transporte de pasajeros.*
- [19] C. N. p. l. P. y. D. d. l. U. d. S. Financieros. (2017, 22 de abril de 2017). *¿Te conviene comprar una auto?* Available: <http://www.condusef.gob.mx/Revista/index.php/usuario-inteligente/educacion-financiera/129-te-conviene-comprar-un-auto>
- [20] B. T. Richard Robinson, T. F. o. Routledge's, Ed. *Road Engineering for Development*, 2 ed. London, 2004, p. 539.
- [21] (2010). *Encuesta sobre el consumo de combustibles en el sector autotransporte de carga y de pasajeros por modalidad.*

Anexo 1

En este anexo se presentan las fichas para obtenidas del análisis de costos unitarios de los diferentes trabajos de mantenimiento.

Clave: 1.0

BACHEO CON MEZCLA ASFALTICA FINA COMPACTADA MANUALMENTE CON PIZON A CAIDA LIBRE INCLUYE: SEÑALIZACIÓN Y BANDEREROS, MATERIAL, LIGA, MANO DE OBRA, HERRAMIENTA, EQUIPO Y TODO LO NECESARIO PARA SU CORRECTA EJECUCION.

Unidad: m2
 Cantidad: 1.0000
 Precio: 146.23
 146.23

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total \$
Material					
MEASF	MEZCLA ASFALTCA	M3	0.02	1,984.00	30.36
ECR-65	EMULSION ASFALTICA DE ROMPIMIENTO	LT	0.40	14.30	5.72
BASETRIT	BASE TRITURADA	m3	0.20	129.80	25.31
Total de Material					61.39
Mano de obra					
RAST	RASTRILLERO EN ASFALTO	JOR	0.07	272.34	18.15
		Rendimient	15.00150	Total	\$18.15
PAL	PALERO	JOR	0.07	272.34	18.15
		Rendimient	15.00150	Total	\$18.15
PO	PEON OBRERO	JOR	0.07	255.88	17.06
		Rendimient	15.00150	Total	\$17.06
AGEN	AYUDANTE EN GENERAL	JOR	0.07	272.34	18.15
		Rendimient	15.00150	Total	\$18.15
Total de Mano de obra					71.51
Herramienta					
HERRM	HERRAMIENTA MENOR	(%)MO	0.05	71.51	3.58
Total de Herramienta					3.58
Equipo costo horario					
MAQ0111	COMPACTADOR DE BAILARINA MARCA	hora	0.07	68.30	4.55
		Rendimient	15.00150	Total	\$4.55
COCON	CORTADORA CON MOTOR A GASOLINA	HR	0.07	79.68	5.31
		Rendimient	15.00150	Total	\$5.31
Total de Equipo costo horario					9.86
Auxiliar					
RM-FL 1	FLETE DE MATERIAL EN CAMION DE	M3	0.13	8.77	1.17
MRH-VOLT 6	VOLTEO DE 6m3, CON MOTOR DIESEL	HR	0.02443	358.85	8.77
				Suma	8.77
		Cantidad	0.13390	Total	1.17
RM-FL 2	FLETE DE MATERIAL EN CAMION DE	M3/KM	0.01	5.64	0.08
MRH-VOLT 6	VOLTEO DE 6m3, CON MOTOR DIESEL	HR	0.01573	358.85	5.64
				Suma	5.64
		Cantidad	0.01339	Total	0.08
Total de Auxiliar					1.25
Costo directo					147.59
Indirectos de oficina					0.00 %
Indirectos de campo					0.00 %
Financiamiento					0.00 %
Utilidad					0.00 %
Cargos adicionales					0.00 %
Otros porcentajes					0.00 %
Total sobrecostos					0
Precio Unitario					146.23

** CIENTO CUARENTA Y SEIS PESOS 23/100 MXN **

Clave: 2.0

ELABORACION DE CARPETA ASFALTICA DE 16 CM. INCLUYE DEMOLICION DE LA CARPETA EXISTENTE (9 CM), RETIRO DE MATERIAL PRODUCTO DE LA DEMOLICION, RETIRO DEL MATERIAL QUE COMPONE LA BASE Y EL TERRENO NATURAL HASTA UNA PROFUNDIDAD DE 70 CM. SE DEBERA REALIZAR LA NUEVA ESTRUCTURA TRATANDO EL TERRENO NATURAL, ADEMAS DE UNA CAPA DE SUB BASE DE 25 CM Y UNA BASE DE 35 CM. SE DEBERA INCLUIR DE IGUAL MANERA, LA PINTURA DE TRAFICO CORRESPONDIENTE Y DEMAS TRABAJOS

Unidad: m2
 Cantidad: 1.0000
 Precio: 541.4
 Total: 541.4

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total \$
Material					
CALICHE	CALICHE (MATERIAL DE BANCO)	M3	0.33	88.00	28.60
BASETRIT	BASE TRITURADA	m3	0.46	129.80	59.06
ECR-65	EMULSION ASFALTICA DE ROMPIMIENTO	LT	0.40	14.30	5.72
MEASF	MEZCLA ASFALTICA	M3	0.17	1,984.00	327.36
AGCON	AGUA PARA CONSTRUCCION	M3	0.28	7.05	1.97
Total de Material					422.71
Mano de obra					
RAST	RASTRILLERO EN ASFALTO	JOR	0.02	272.34	5.45
		Rendimient	50.00000	Total	\$5.45
PAL	PALERO	JOR	0.02	272.34	5.45
		Rendimient	50.00000	Total	\$5.45
PO	PEON OBRERO	JOR	0.02	255.88	5.12
		Rendimient	50.00000	Total	\$5.12
AGEN	AYUDANTE EN GENERAL	JOR	0.02	272.34	5.45
		Rendimient	50.00000	Total	\$5.45
Total de Mano de obra					21.47
Herramienta					
HERRM	HERRAMIENTA MENOR	(%)MO	0.05	21.47	1.07
Total de Herramienta					1.07
Equipo costo horario					
EXT MA	EXTENDEDORA DE MEZCLA ASFALTICA	HR	0.03	564.62	15.69
		Rendimient	36.00101	Total	\$15.68
COMPDR	COMPACTADOR DOBLE RODILLO MARCA	HR	0.02	402.38	8.05
		Rendimient	50.00000	Total	\$8.05
MRH-MOTO	MOTOCONFORMADORA CATERPILLAR CON	HR	0.02	535.00	8.21
		Rendimient	65.18905	Total	\$8.21
MRH-PIP10	CAMION PIPA DE 10m3, CON MOTOR A	HR	0.03	433.10	13.33
		Rendimient	32.48863	Total	\$13.33
MRH-VIBRO	VIBROCOMPACTADOR DE RODILLO LISO	HR	0.01	417.37	5.57
		Rendimient	74.96252	Total	\$5.57
Total de Equipo costo horario					50.84
Auxiliar					
RM-AFTR	AFINE Y NIVELACION DE TERRACERIAS Y	M2	1.00	2.40	2.40
MRH-MOTO	MOTOCONFORMADORA CATERPILLAR CON OPERADOR	HR	0.00200	535.00	1.07
MRH-VIBRO	VIBROCOMPACTADOR DE RODILLO LISO MCA SAKAI, MOD. SW 850.	HR	0.00200	417.37	0.83
MADP1X2	MADERA DE PINO DE 1" x 2"	PT	0.00250	10.03	0.03
PINAE	PINTURA EN AEROSOL	PZA	0.00050	23.75	0.01
PEON	PEON OBRERO EN GENERAL	JOR	0.00100	273.55	0.27
RM-AGP	AGUA POTABLE PARA CONSTRUCCION (PUESTA EN OBRA)	M3	0.00200	93.67	0.19
				Suma	2.40
		Cantidad	1.00000	Total	2.4
RM-CESC	CARGA DE ESCOMBRO AL CAMION DE	M3	0.91	32.76	29.81
PEON	PEON OBRERO EN GENERAL	JOR	0.08333	273.55	22.79
MRH-VOLT 6	VOLTEO DE 6m3, CON MOTOR DIESEL	HR	0.02778	358.85	9.97
				Suma	32.76
		Cantidad	0.91000	Total	29.81
RM-EXCMEC	EXCAVACION MECANICA EN CUALQUIER	M3	0.91	14.38	13.09
MRH-RETRO	RETROEXCAVADORA MARCA JOHN DERE 410	HR	0.02083	416.78	8.68
PEON	PEON OBRERO EN GENERAL	JOR	0.02083	273.55	5.70
				Suma	14.38
		Cantidad	0.91000	Total	13.09
Total de Auxiliar					45.30
Costo directo					541.4
Indirectos de oficina 0.00 %					0
Indirectos de campo 0.00 %					0
Financiamiento 0.00 %					0
Utilidad 0.00 %					0
Cargos adicionales 0.00 %					0
Otros porcentajes 0.00 %					0
Total sobrecostos					0
Precio Unitario					541.4

Clave: 3.0

SELLADO DE FISURAS DE 20mm a 6mm EN PAVIMENTO ASFALTICO, INCLUYE: SEÑALAMIENTO DURANTE LA EJECUCION, SOPLETEADO DE LA FISURA, EMULSION ASFALTICA DE ROMPIMIENTO LENTO. ARENA Y BARRIDO.

Unidad: m2
 Cantidad: 1.0000
 Precio: 30.56
 30.56

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total \$
Material					
ECR-65	EMULSION ASFALTICA DE ROMPIMIENTO	LT	0.60	14.30	8.58
ARE	ARENA	M3	0.07	145.00	9.63
Total de Material					18.21
Mano de obra					
PO	PEON OBRERO	JOR	0.02	255.88	5.12
		Rendimient	50.00000	Total	\$5.12
AGEN	AYUDANTE EN GENERAL	JOR	0.02	272.34	5.45
		Rendimient	50.00000	Total	\$5.45
Total de Mano de obra					10.57
Herramienta					
HERRM	HERRAMIENTA MENOR	(%)MO	0.05	10.57	0.53
Total de Herramienta					0.53
Auxiliar					
RM-FL 1	FLETE DE MATERIAL EN CAMION DE	M3	0.13	8.77	1.17
MRH-VOLT 6	VOLTEO DE 6m3, CON MOTOR DIESEL	HR	0.02443	358.85	8.77
				Suma	8.77
		Cantidad	0.13390	Total	1.17
RM-FL 2	FLETE DE MATERIAL EN CAMION DE	M3/KM	0.01	5.64	0.08
MRH-VOLT 6	VOLTEO DE 6m3, CON MOTOR DIESEL	HR	0.01573	358.85	5.64
				Suma	5.64
		Cantidad	0.01339	Total	0.08
Total de Auxiliar					1.25
Costo directo					30.56
Indirectos de oficina 0.00 %					0
Indirectos de campo 0.00 %					0
Financiamiento 0.00 %					0
Utilidad 0.00 %					0
Cargos adicionales 0.00 %					0
Otros porcentajes 0.00 %					0
Total sobrecostos					0
Precio Unitario					30.56

**** TREINTA PESOS 56/100 MXN ****

Clave: 4.0

CARPETA DE MEZCLA ASFALTICA TEMPLADA CON ADITIVO AGREGADO DE 19 mm DE DIAMETRO POSTERIOR AL FRESADO DE 2.5 cm COMPACTADA AL 95%

Unidad: m2
 Cantidad: 1.0000
 Precio: 80.12
 80.12

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total \$
Material					
ECR-65	EMULSION ASFALTICA DE ROMPIMIENTO	LT	0.40	14.30	5.69
MEASF	MEZCLA ASFALTCA	M3	0.02	1,984.00	39.68
Total de Material					45.37
Mano de obra					
RAST	RASTRILLERO EN ASFALTO	JOR	0.02	272.34	4.09
		Rendimient	66.66667	Total	\$4.09
PAL	PALERO	JOR	0.02	272.34	4.09
		Rendimient	66.66667	Total	\$4.09
PO	PEON OBRERO	JOR	0.02	255.88	3.84
		Rendimient	66.66667	Total	\$3.84
AGEN	AYUDANTE EN GENERAL	JOR	0.02	272.34	5.45
		Rendimient	50.00000	Total	\$5.45
Total de Mano de obra					17.47
Herramienta					
HERRM	HERRAMIENTA MENOR	(%)MO	0.05	17.47	0.87
Total de Herramienta					0.87
Equipo					
FSR_ASF	FRESADORA	hr	0.01	674.00	6.74
		Rendimient	100.00000	Total	\$6.74
Total de Equipo					6.74
Equipo costo horario					
EXT MA	EXTENDEDORA DE MEZCLA ASFALTICA	HR	0.01	564.62	5.65
		Rendimient	100.00000	Total	\$5.65
COMPDR	COMPACTADOR DOBLE RODILLO MARCA	HR	0.01	402.38	4.02
		Rendimient	100.00000	Total	\$4.02
Total de Equipo costo horario					9.67
Costo directo					80.12
Indirectos de oficina 0.00 %					0
Indirectos de campo 0.00 %					0
Financiamiento 0.00 %					0
Utilidad 0.00 %					0
Cargos adicionales 0.00 %					0
Otros porcentajes 0.00 %					0
Total sobrecostos					0
Precio Unitario					80.12

**** OCHENTA PESOS 12/100 MXN ****

Clave: 5.0

Sellado de juntas con sonomeric o kempro en todas las juntas longitudinales, transversales y de construcción tanto en losa como en guarnición. Incluye limpieza, sopleteado y colocación de cola de rata de 1/4". Se paqará en un ranqo del 70% al 80% del área de losas dependiendo del diseño.

Unidad: m2
 Cantidad: 1.0000
 Precio: 16.2
 16.2

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total \$		
Material							
COLA01	Cola de rata	ml	0.29	13.50	3.97		
SELL280	Sello elastomrico	cub	0.00	3,094.28	3.59		
Total de Material					7.56		
Mano de obra							
10	Cuadrilla de 2 ayudante	jor	0.01	647.94	8.64		
13	Ayudante general	JOR	2.00000	279.99	559.98		
18	C. Oficios	jor	0.10000	571.09	57.11		
HERRAM	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.05000	617.09	30.85		
					Suma	647.94	
Rendimiento					75.01876	Total	8.64
Total de Mano de obra						8.64	
					Costo directo	16.2	
Indirectos de oficina					0.00 %	0	
Indirectos de campo					0.00 %	0	
Financiamiento					0.00 %	0	
Utilidad					0.00 %	0	
Cargos adicionales					0.00 %	0	
Otros porcentajes					0.00 %	0	
Total sobrecostos						0	
Precio Unitario						16.2	

**** DIECISEIS PESOS 20/100 MXN ****

Clave: 6.0

Losa de concreto hidráulico para pavimento, por unidad de obra terminada de 15cm de espesor, con módulo de ruptura MR=42kg/cm2, tamaño de agregado de 1-1/2", revenimiento de 10cm (+/-2), construido con cimbra deslizando y con pasajuntas transversales 3/4" de diámetro de 41 cm de longitud, espaciadas a cada 30cm y armadas en canastillas de alambón. Juntas longitudinales con barras de amarre No.3 corrugada de diámetro y 41cm de longitud, la instalacion de varillas de amarre debera comenzar 45 cm antes y despues de cada junta transversal. Aserradas con cortadora de disco de 1/4" a un tercio del espesor de la losa. Previa limpieza a base de aire

Unidad: m2
 Cantidad: 1.0000
 Precio: 416.71
 Total: 416.71

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total \$
Material					
CON42	cnmr42	m3	0.16	1,974.46	310.98
ACELISO	Varilla de 3/4	kg	0.38	16.85	6.37
CELOTEX	celotex	pza	0.00	225.00	1.07
CURACRE	curafesto	lt	0.33	15.86	5.23
CIMMET	Cimbra metaliza	pza	0.00	3,306.04	3.44
V4.	Varilla de 1/2	kg	0.19	16.85	3.16
GRASA	grasa	kg	0.02	28.21	0.50
EL POLN010	Poliducto naranja	ml	0.10	7.33	0.70
ALAMBRE	Alambre recocido	kg	0.05	15.35	0.79
Total de Material					332.24
Mano de obra					
10	Cuadrilla de 2 ayudante	jor	0.06	647.94	38.95
13	Ayudante general	JOR	2.00000	279.99	559.98
18	C. Oficios	jor	0.10000	571.09	57.11
HERRAM	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.05000	617.09	30.85
				Suma	647.94
				Rendimiento	16.63617
				Total	38.95
4	Cuadrula 3 1 albanil 1 ayudante	jor	0.06	745.62	43.30
25	Oficial albanil 2	jor	1.00000	373.01	373.01
13	Ayudante general	JOR	1.00000	279.99	279.99
18	C. Oficios	jor	0.10000	571.09	57.11
HERRAM	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.05000	710.11	35.51
				Suma	745.62
				Rendimiento	17.22060
				Total	43.3
Total de Mano de obra					82.25
Equipo costo horario					
REGVIBAS	Regla vibratoria de concreto	hora	0.03	71.37	2.22
				Rendimiento	32.20612
				Total	\$2.22
Total de Equipo costo horario					2.22
Costo directo					416.71
Indirectos de oficina					0
Indirectos de campo					0
Financiamiento					0
Utilidad					0
Cargos adicionales					0
Otros porcentajes					0
Total sobrecostos					0
Precio Unitario					416.71

** CUATROCIENTOS DIECISEIS PESOS 71/100 MXN **