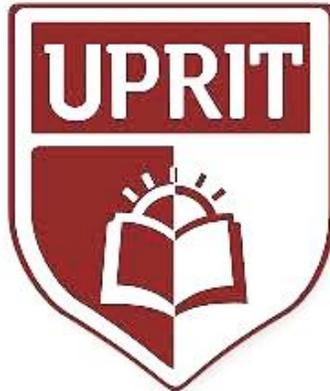


UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**ANÁLISIS DE PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON FIBRAS
DE ACERO 4D MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE DESGASTE HDM-
IV, TRUJILLO, LA LIBERTAD, PERÚ 2018**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. DANIEL GONZALO CRISPÍN SANTOS

ASESOR

Ing. JOSULADO CARLOS VILLAR QUIROZ

TRUJILLO - PERU

2019



Aprobación de la Tesis

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller Daniel Gonzalo Crispín Santos, denominada:

“ANALISIS DE PAVIMENTO FLEXIBLE REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO
4D MEDIANTE LA METODOLOGIA DE DESGASTE HDM-IV, TRUJILLO, LA
LIBERTAD, PERU 2018”

Ing. Enrique Manuel Durand Bazán

JURADO PRESIDENTE

Ing. Percy Lethelier Marín Cubas

JURADO SECRETARIO

Ing. Elton Javier Galarreta Malaver

JURADO VOCAL



Dedicatoria

A mis queridos Padres Bernardino Casimira

“Que medan la fortaleza de su compañía y su apoyo

Incondicional

A mi querida esposa Anamelva y a mi hija Kimberly

Quienes con su motivación inspiraron a perseguir en la
culminación del presente trabajo de investigación.

A mi hijo **Joaquín** y hermano **Adán** quienes

Partieron a la eternidad por todo lo que hemos

Compartido

Daniel Gonzalo Crispín Santos



Agradecimiento

Dar gracias a Dios por guiarme y conducirme por el camino de la sabiduría, el amor y la felicidad, durante todo el periodo de estudio. Un agradecimiento especial al Mg. Josualdo Carlos Villar Quiroz, por sus sabias enseñanzas en esta tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, por su paciencia, motivación y dedicación, por escucharnos y aconsejarnos, en la elaboración de esta Tesis.

Del mismo modo a mi familia por brindarnos su amor, apoyo y comprensión al dejar de compartir momentos familiares por dedicarme al desarrollo de este trabajo de investigación.

En general a mis compañeros de estudio, por los momentos vividos, por el apoyo constante y sobre todo por su cariño y amistad; por lo cual rogamos a Dios los ilumine y los guíe siempre con éxito en todos los aspectos de su vida.

Daniel Gonzalo Crispín Santos



Índice de Contenidos

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Realidad Problemática	1
1.2. Formulación del problema	13
1.3. Justificación	13
1.4. Objetivos	15
1.4.1. Objetivo General	15
1.4.2. Objetivos Específicos	15
1.5. Antecedentes	16
1.5.1. Nacionales	16
1.5.2. Internacionales	18
1.6. Bases Teóricas	22
1.6.1. Concreto Asfáltico	14
1.6.2. Fibras	32
1.7. Definición de términos básicos	43
1.8. Formulación de la hipótesis	45
1.8.1. Planteamiento de Hipótesis	45
1.8.2. Variables	45
II. MATERIAL Y MÉTODOS	47
2.1. Material	47



2.2.	Material de estudios	48
2.2.1.	Población	48
2.2.2.	Muestra	49
2.3.	Técnicas, procedimientos e instrumentos	50
2.3.1.	Para recolectar datos	50
2.3.2.	Para procesar datos	56
2.4.	Operacionalización de las variables	60
III.	RESULTADOS	61
3.1.	Deflectometría	61
3.1.1.	Deflectometría Actual	61
3.1.2.	Deflectometría a 10 20 años	62
3.2.	Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	66
3.2.1.	Índice de Rugosidad Internacional (Actual)	66
3.2.2.	Índice de Rugosidad Internacional (10 a 20 años)	66
3.3.	Costo Económico en horizonte de evaluación (10 a 20 años)	69
IV.	DISCUSIÓN	70
4.1.	Deflectometría	70
4.2.	Índice de Rugosidad Internacional	70
4.3.	Costo Económico en horizonte de evaluación	71
V.	CONCLUSIONES	73
VI.	RECOMENDACIONES	74
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
VIII.	ANEXOS	76



Índice de Tablas

Tabla 1 Principales propiedades de fibras de distintos materiales	34
Tabla 2 Cambios en el proceso de gestión	39
Tabla 3 Norma C.E. 010	49
Tabla 4 Análisis por Tramos	56
Tabla 5 Análisis por Proyecto.....	57
Tabla 6 Deflexión a 10 y 20 años	64



Índice de Figuras

Figura 1. Esquema típico del paquete estructural de un pavimento flexible	23
Figura 2. Clasificación de fibras por BISFA	35
Figura 3. Características Geométricas	35
Figura 4. Concepto de Análisis de Ciclo de vida útil en el HDM-4	41
Figura 5. Efecto del estado de la carretera sobre los costos de opresión vehicular para un terreno ondulado de diferentes modos de transporte	42
Figura 6. Ubicación del área de Investigación	48
Figura 7. Procedimiento de recolección de datos	51
Figura 8. Ubicación detallada de calles de área de Investigación	52
Figura 9. Valores Recomendados de pavimentos flexibles	52
Figura 10. Modelo de Análisis	62
Figura 11. Esquema del Costo Económico	63



Resumen

La presente monografía busca obtener información técnica necesaria para elaborar la investigación análisis de pavimento flexible reforzado con fibras de acero 4D mediante la metodología de desgaste HDM-IV, Trujillo, La Libertad.

La presente investigación elaboró la teoría del uso de fibras de acero las cuales se han venido usando en el medio constructivo desde hace más de 5 años, sólo que su uso no ha sido muy extendido en toda la comunidad ingenieril, como ejemplo del bueno uso de este se tiene la elaboración de la utilización de fibras metálicas para la construcción de concreto reforzado en la ciudad de Trujillo, señalando que el refuerzo de concreto que se logra es mediante un acople tridimensional, reduciendo las tensiones aplicadas al elemento estructural incrementando así su aguante. Usado especialmente en pavimentos y pisos, Odicio (2007) afirma que se “obtiene una gran cantidad de fibras por Kg. distribuyéndose equitativamente y obteniendo un comportamiento mecánico homogéneo”. (p.36)

PALABRAS CLAVES

- Fibras de acero 4D
- Metodología de desgaste.
- Pavimento flexible



Abstract.

The present monograph seeks to obtain technical information necessary to elaborate the research analysis of flexible pavement reinforced with 4D steel fibers through the wear methodology HDM-IV, Trujillo, La Libertad.

The present investigation elaborated the theory of the use of steel fibers which have been used in the construction medium for more than 5 years, only that its use has not been very widespread in the whole engineering community, as an example of the good use of This is the development of the use of metal fibers for reinforced concrete construction in the city of Trujillo, noting that the reinforcement of concrete is achieved through a three-dimensional coupling, reducing the stress applied to the structural element thus increasing its strength, used mainly in floors and pavements, Odicio (2007) says “obtaining a high number of fibers per Kg, distributing uniformly and achieving a homogeneous mechanical behavior”.

KEYWORDS

- 4D steel fibers
- Attrition methodology.
- Flexible pavement



Introducción

1.1. Realidad problemática

En las décadas siguientes, el sector del transporte en el mundo enfrentará desafíos sin precedentes causados por la demografía, la planificación urbana, la presión para mitigar considerablemente las emisiones de gases que causan el efecto invernadero, tanto en los ámbitos urbanos como en áreas rurales, la congestión de El tránsito en las ciudades, la aceleración de la vejez y el grave deterioro de la infraestructura y los equipos de transporte y el crecimiento de la demanda de combustible, son cuestiones de vital importancia que deben abordarse.

Combatir estos desafíos con éxito dependerá en gran medida de la infraestructura disponible y su nivel de servicio, estándares, políticas públicas e intervención estatal, cooperación regional y global, estabilidad económica, progreso y acuerdos tecnológicos generados entre los responsables políticos nacionales. y locales con productores, consumidores y productores. Chávez (2017)

En Argentina existen diferentes métodos de investigación, estos deben elegirse correctamente. En varios casos, los resultados de diferentes pruebas pueden compararse entre sí para confirmar los motivos del fallo o deterioro y, por lo tanto, comprender mejor su comportamiento, teniendo los más importantes: inspección visual, índice de estado; calicatas; perforaciones; Medidas de deflexiones y pruebas de laboratorio.

Según Botasso (2012) "describe que para la extensión de la rehabilitación superficial, las medidas de esto resuelven problemas que se limitan a las capas superiores del pavimento, generalmente dentro de los 100 mm superiores, tienen problemas relacionados con el envejecimiento del asfalto y las grietas que se originan en la superficie debido a factores térmicos". Para resolver problemas de rehabilitación, la estructura del piso generalmente se trata

como una solución a largo plazo. La resolución de los problemas estructurales debe recordarse que la estructura del pavimento es la que tiene defectos y no necesariamente los materiales que lo componen. Botasso (2012)

En Mexico cuando los pavimentos de asfalto se encuentran en un estado de deterioro con imperfecciones como malformaciones, piel de cocodrilo, grietas y baches que son los más comunes por motivo de las frecuentes lluvias, es necesario componer algún tipo de restablecimiento para rehabilitar el modelo de diseño, a la vez frenar los accidentes de tránsito que incrementan con las imperfecciones mencionadas anteriormente. Ortiz (2006) “La solución más repetitiva en Perú son los recapados de asfalto, pero con este sistema, si bien se reparan los errores funcionales, las fallas estructurales se mantienen y con el paso del años, el recapado presentará los mismos errores que mostraba el pavimento original.” (p.8) Por este motivo, en busca de nuevas alternativas de restablecimiento, Whitetopping se presenta como una alternativa segura y viable. Whitetopping es una técnica que se basa en la construcción de capas de cemento sobre pavimento de asfalto deteriorado, esta técnica también incluye el posicionamiento de la capa de hormigón y la corrección de las fallas principales del perfil de la vía, la reparación del asfalto existente antes de la utilización de la capa, La técnica está montada sobre la superficie de asfalto. Esta también corrige las deficiencias estructurales y funcionales.

La recuperación de los pavimentos es una técnica que está avanzando en México con respecto a la construcción y preservación de carreteras, principalmente porque los ahorros en la inversión de rehabilitaciones de carpetas son del 30 al 60% en comparación con las técnicas tradicionales. Por otro lado, la reutilización de los materiales pétreos ahorra la búsqueda de bancos de materiales, que son cada vez más escasos cada día y están limitados por el equilibrio ecológico que debe existir en las regiones, además se puede prescindir de los acarrees que se traducen a costos adicionales y muy altos. Esto significa que el trabajo de conservación

periódico y de rutina será mejor y tendrá una vida útil más larga.

Los denominados pavimentos Whitetopping están destinados a rehabilitar pavimentos asfálticos dañados, es decir, se construye una carpeta de concreto convencional sobre un pavimento de asfalto existente. Escandón (2013) anuncia que " Los métodos de diseño toman en cuenta esta solución, considerando las características de soporte de la estructura existente que normalmente tiene capa de sub-base, base y asfalto " (p.22)

Se deben considerarse algunos trabajos anteriores para la técnica de pavimentación Whitetopping, ya que esta técnica difiere de los que se aplican a los pavimentos convencionales. Lo primero que se debería hacer es reparar la superficie de asfalto. Desde el momento en el que se hallan corregido las irregularidades en el perfil de la superficie, se construye directamente sobre la superficie del asfalto la capa superpuesta de concreto.

En nuestro país es inadvertido reconocer al pavimento como una estructura de ingeniería, cuando los pavimentos se usan como elementos de construcción y no como el concreto armado tradicional.

A su vez, esta estructura de pavimento debe descansar sobre un plano de cimentación con características físicas y mecánicas particulares y dependientes de la carretera en su conjunto.

Los suelos, que son los materiales de obras de construcción más antiguos y el comportamiento complejo en ingeniería, requieren una comprensión profunda de sus características físicas y mecánicas, lo que permite articular etapas como la gestión del análisis de rutina y el método de diseño, con trabajos de construcción y rehabilitación de carreteras.

En general, la información recopilada en el campo, para el diseño de pavimentos, se procesa utilizando metodologías extranjeras que no necesariamente están de acuerdo con la realidad. Por lo tanto, requiere mucho trabajo para que el manejo racional de la información culmine en recomendaciones coherentes que eviten costos adicionales en comparación con los

previstos para la construcción o restauración de la carretera. La sostenibilidad del proyecto dependerá del modelado estructural utilizado para el pavimento, basado en la innovación continua de las metodologías utilizadas, que en cierto punto culmina con un proyecto de la norma peruana para el diseño de pavimento para diferentes regiones del Perú.

La falta de conocimiento del método de diseño utilizado en relación con la realidad provoca una brecha entre un diseño deficiente y uno que no, no es lo mismo diseñar una carretera en la costa con un clima cálido y poca lluvia; Qué hacer en la planicie que tiene pendientes a altas temperaturas y lluvias frecuentes.

El esquema de estudio del pavimento de asfalto muestra tres líneas básicas necesarias para abordar los problemas de la red vial nacional: construcción, mantenimiento y rehabilitación. Durante la construcción de una nueva estructura, requiere trabajos relacionados con la exploración de campo y las pruebas de laboratorio, integrando la información recopilada, los análisis y el diseño correspondientes para el pavimento; Para la línea de rehabilitación, se requiere un trabajo de evaluación de la estructura existente que permita establecer el estado situacional del pavimento, ya que desde el punto de vista superficial, así como estructural, esta evaluación se lleva a cabo a través de las regulaciones provistas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). Con esta información recopilada y procesada, el análisis se realiza para obtener los parámetros o entradas de diseño con el fin de aumentar su vida útil.

Para el análisis funcional, se utilizan metodologías foráneas, como la metodología del Consorcio de Rehabilitación Vial o CONREVIAl, basada en un catálogo de fisuras del tipo fisuras, que se detectan en un área restringida de la superficie de rodadura y en el entorno en el que se encuentra. Una vez realizada la evaluación estructural, la metodología del índice de condiciones de servicio del pavimento, que se basa en un catálogo de 19 fallas superficiales, que establece mejores valores en la evaluación y como una propuesta nacional de MTC basada

en los tipos de fisuras colocadas por el catálogo de fallas. de CONREVIAL, el MTC propuso la alternativa de usar otras fallas como deformaciones, desintegraciones, entre otras, que permiten un detalle más completo de la superficie del asfalto.

Desde el punto de vista de la evaluación estructural, desde la década del 80 y después del trabajo realizado por la asociación Louis Berger y Lagesa, el análisis del pavimentos se introdujo a través de métodos matemáticos basados en modelos elásticos y para los cuales más de dos lecturas de deflexiones, otro tipo de evaluación no destructiva en la viga Venkelman que determina que las deformaciones o los rebotes son más rigurosos debido a las tensiones de carga de un vehículo cargado Lázares (2016)

Goicochea (2007) descubrió que "al planificar el mantenimiento y la rehabilitación en un programa de varios años, los ingenieros de pavimentos se enfrentan a la decisión de determinar qué partes de la carretera deben repararse y deben realizarse según lo requieran los tipos de reparaciones o tratamientos para usar". Este es un problema importante debido a la amplia gama de combinaciones entre las posibles opciones entre la gran cantidad de secciones homogéneas existentes en la carretera y los diferentes posibles tratamientos de reparación.

La corrección de errores en el pavimento es una de las funciones más significativas en las organizaciones de operadores de carreteras. El sistema de gestión de pavimentos es una agrupación de herramientas y procedimientos que tienen como finalidad ayudar a estas organizaciones en la sistematización de procesos vinculados con este aspecto.

Entre los componentes significativos de un sistema de gestión podemos mencionar: una serie de programas informáticos para la información requerida por el sistema; instrumentos de análisis para predecir el deterioro del pavimento; formulación de programas y estimación económica de proyectos viales. la Asociación Mundial de la Carretera, PIARC, es una alternativa atrayente para implementar los instrumentos de análisis de los sistemas de gestión

de pavimentos. PIARC comercializo HDM-4, un sistema desarrollado bajo los auspicios de varias entidades financieras y organizaciones internacionales de carreteras

Guevara (2015) describe que halló que “el concreto reforzado con fibras como opción de mejora en el comportamiento del concreto”, por dicha razón sus diversos usos hacen que sea uno de los productos más solicitados por las ventajas que aportan al concreto. Las principales mejoras que ofrece la adición de fibras al concreto es la contracción plástica como endurecida y la reducción de fisuras y grietas en la resistencia a tracción aumenta de manera considerable. Por ello la necesidad de optimizar los materiales, economizar costos y aumentar la calidad hace que se realicen investigaciones sobre distintos aditivos que se le agreguen al concreto como, reductores de agua, impermeabilizantes, incorporadores de aire, acelerantes de fragua, superplastificantes, entre otros; asimismo el tipo de refuerzo que complementa al concreto como mallas electro varillas de acero, fibras de acero, soldadas, entre otros.

El uso de la concreto reforzado crece considerablemente en Perú, se utiliza desde los pavimentos rígidos hasta el reforzamiento de estabilidad en túneles, haciéndolo uno de los materiales con mayor despacho en los diferentes campos del mercado.

El Modelo HDM-4 es un instrumento elaborado para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la restauración de pavimentos de redes viales y la gestión de la conservación, primordialmente en aplicaciones conducidas a la programación táctica de actividades de intervención y a la planeación estratégica. Asimismo, se puede aprovechar los modelos de deterioro con los cuales cuenta estimando el deterioro futuro de pavimentos sujetos a determinado nivel de sollicitación,

A manera de opinión personal el modelo de deterioro HDM-IV propuesto por el Banco mundial es un software que aún no ha sido explotado en su totalidad, se han realizado cientos de kilómetros de carreteras en el país, no se cuenta con la metodología de planteamiento,

formulación y evaluación de proyectos viales, que se adecuen a la variedad de condiciones que presenta el territorio nacional, haciendo meollo en el análisis funcional y estructural del pavimento a fin de su correcta y oportuna intervención, ocasionando así un ahorro significativo para la entidad y un mejor servicio para los usuarios.

Entre las entidades que realizan este tipo de Análisis directamente sobre la carpeta de rodadura tenemos a la empresa INDEX de procedencia chilena, dedicada a prestar servicios de auscultación de pavimentos y a la venta y arriendo de equipos. Con deflectómetros de impacto se calcula la capacidad portante, caracterizando mecánicamente cada capa que conforma el pavimento.

La entidad MTC, tiene a su disposición Analizadores de Perfil Longitudinal que se encarga de medir el nivel de irregularidad en la superficie de un terreno, dando valores de Índice de Rugosidad; así también como la Viga Venkelman de brazo doble la cual permite calcular la deformación que ocurre en un cierto tramo de control del pavimento, cuando sobre ella circula una carga de 8.2tn o 18000lb.

Al evaluarse el deterioro de los pavimentos en su horizonte de evaluación, se tiene una deficiencia en ausencia de una base de datos que permita tener un adecuado control de gestión las nuestras vías, tendiéndose que llevar a cabo proyectos como mantenimientos generales rutinarios y periódicos, que no es la mejor alternativa; en lugar de hacer rehabilitaciones y mantenimiento de forma estratégica dando así una adecuada conservación de las vías de la red a un costo apropiado. La problemática se debe al poco control e inventario que se tiene de las carreteras, de forma que no se puede planear futuras intervenciones, ni se puede monitorear el deterioro con la importancia que ello conlleva.

Un problema álgido es el inadecuado mantenimiento que se le da a las carreteras en mal estado, ya que al tenerse grietas identificadas en un análisis funcional o estructural del

pavimento, éstas para ser reparadas no cuentan con un puente de adherencia adecuado entre capa deteriorada y capa nueva de desgaste, originando así la reflexión de juntas, haciendo ineficiente las acciones de conservación u optimización de la red vial; generado por la inadecuada planificación en los proyectos y omisión de modelamientos, para tener claros los estándares básicos de conservación, dichos modelos pueden ser de comportamiento o de costos.

Los modelos de comportamiento de evolución y predicción de deterioros de un pavimento son parte fundamental de un sistema de gestión de pavimentos, ya que las características funcionales van degradándose con el tiempo, éstas llegan a deteriorarse con un mayor velocidad de desgaste que con la que fue diseñada, siendo su estudio uno donde interviene una gran cantidad de factores, sobrecarga excesiva de la vía, posible malos estudios de pre inversión al no contar con una data anual de datos de climáticos, diseñándose con datos puntuales de ciertas épocas del año, o considerando que pueden haber tiempos que excesiva lluvia, haciendo que la napa freática incremente su nivel a tal punto de saturar las capas granulares de soporte de la vía, produciendo una disminución de la capacidad portante efectiva, causando así que pierda rigidez y se pueda presentar ahuellamientos a nivel de subrasante, base o subbase, dando origen a una deflexión considerable a nivel de la capa de desgaste.

Al tener fallas funcionales, que no comprometen la estabilidad de la estructura, pero sí la seguridad y confort del usuario, esta puede llegar a alcanzar puntos críticos durante las épocas de lluvia, al tener un pavimento húmedo o saturado, se podría presentar el hidropilaje en vehículos, ocasionado por las peladuras y disgregaciones de los agregados de la capa de rodadura, dejando así una superficie lisa y sin rugosidad, siendo fácil para un vehículo sin la adecuada tracción en las llantas, llegando a un posible accidente.

Se cuenta con una metodología básica y foránea, que es adaptada a nuestra realidad, en nuestro país lo que se realiza es el acondicionamiento de metodologías que se basan en

realidades distintas, esto debido a que no se lleva a cabo la investigación y planteamiento de metodología para diseño, mantenimiento y rehabilitación de vías. Esto es ocasiona un uso indiscriminado de las metodologías sugeridas en los manuales de vías aprobados por el MTC, el problema se acentúa cuando se tiene diferentes regiones, se debe considerar también la estimación de los asentamientos que ocurren en zonas de materiales fino parcialmente saturados, donde se debe tomar en cuenta las cargas impuestas por la estructura y por los vehículos.

En nuestro país se ha investigado más a fondo lo que son las fibras y su enorme rendimiento, haciendo de componente de matriz de un material compuesto causando así que la colocación de fibras de acero en el concreto aumenta esencialmente la capacidad portante de la losa bajo acciones de flexión, por esta razón es posible tolerar mayores requerimientos en aplicación de magnitudes de carga (altos volúmenes de carga portuaria) y cargas repetidas (fatiga en carreteras). Como tal es posible mejorar los espesores sin afectar la capacidad del concreto o el desempeño de este. Para que cualquier fibra de refuerzo sea eficiente, es recomendable que el concreto sea por lo menos 3 veces inferior a su módulo de elasticidad. En este sentido es destacable el concreto (30.000 MPa), que es 7 veces menor que el del módulo de elasticidad de las fibras de acero (210.000 MPa). El concreto alcanza la ductilidad, esto se muestra en el momento que un material no acepta ninguna deformación en estado plástico. Se incrementa la tenacidad y dentro del concreto las fibras de acero se comportan como puntos de sutura evitando así el incremento de las fisuras hacia su interior y prorrogando el colapso.

Lo que se quiere investigar en este proyecto de tesis es la optimización de la gestión de pavimentos, por medio del Software HMD-IV, añadiendo la mejora de adición de fibras de acero 4D, haciendo variar este parámetro para obtener la cantidad límite basado en una compensación.

En el mercado de fibras de acero, existe una cantidad grande de proveedores: Química Suiza, Sika, Bekaert con la línea de fibras Dramix, o en algunos casos ya viene incorporado las fibras de acero o polipropileno en la misma mezcla de concreto, como es el caso de UNICON, proveyendo así una mezcla más homogénea que es resistente a las fisuras de contracción por secado plástico, así como a los impactos.

Normas que rigen el uso de las fibras:

ASTM C 1399:

Método de ensayo para definir el esfuerzo residual promedio del concreto reforzado con fibra

ASTM C 1609:

Método de ensayo para definir el desempeño del concreto reforzado con fibra

ASTM C 1550

Método de ensayo para definir la tenacidad a flexión del concreto reforzado con fibras.

EN 14488-3

Diagnosticar de la resistencia al primer pico, del último y de la resistencia residual de vigas de concreto reforzado con fibras.

EN 14488-5

Diagnosticar de la capacidad de absorción de energía de una placa de concreto reforzado con fibras

EN 14889-1

Fibras para concreto:

Definición, conformidad y especificaciones.

EN 14889-2

Parte 2- Fibras de polímeros o sintéticas

Definición, conformidad y especificaciones.

NTC 5214

Fibras de acero para añadir al concreto (ASTM A 820)

NTC 5541

Concretos intensificados con fibras (ASTM C 1116)

Se tiene una gran deficiencia en lo que es evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos, no teniendo un adecuado sistema de gestión, para detectar fallas o daños en el pavimento, ya sea de naturaleza estructural o funcional, la primera es un estudio de inspección visual y deflectométrico; mientras la funcional, representa el nivel de seguridad y la calidad que ofrece el pavimento (capa de rodadura), teniendo errores como rugosidad excesiva o resistencia al deslizamiento.

La aplicación de fibras para mejorar la isotropía de un material no es algo nuevo. Los adobes de barro armados con paja y cocidos al sol ya se empleaban en la antigüedad e incluso aún se usa, como el yeso que se arma con pelos de caballo o de cabra; Sika (2015) describe que “el fibrocemento no es otra cosa que una pasta de cemento a la que se ha añadido del 8 al 16 % de fibras de asbesto para incrementar la resistencia a flexotracción de 2 a 4 veces la de la matriz. Al mismo hormigón armado podríamos considerarlo, en el límite, como un hormigón de gruesas fibras orientadas.” (p.78)

Actualmente estas fibras son usadas en España, tendiendo a tener orígenes minerales, orgánicas y metálicas; de las cuales, la fibra de acero resulta ser la más eficaz y económica, dado que es sabido que el acero tiene un módulo elasticidad diez veces superior al del concreto, teniendo una buena adherencia a la pasta que estará directamente ligado al número de dobleces del anclaje de la fibra misma. Cáovas (2017).

En EEUU es probable lograr concretos con alta resistencia a la compresión y sus propiedades asociadas. Esto incluye mejor desempeño a los esfuerzos cortante y tensión, alto módulo de elasticidad, alta resistencia a edades tempranas y reducción en la deformación ocasionada por el flujo plástico. También se pueden asociar propiedades menos deseables al material como reducción en la ductilidad, resistencia a altas temperaturas y susceptibilidad a fisuras en edad temprana.

Chile, ha utilizado fibras de acero en los pavimentos en carreteras, la construcción de estabilización de taludes, pistas industriales y comerciales, pistas de aeropuertos y hangares, cimentaciones para maquinaria y equipo. Este tipo concreto mejora se aplica en lo que se conoce como shotcrete o concreto proyectado que es un concreto que es bombeado para darle estabilidad a las paredes interiores de los túneles.

Odicio (2007) describe que se ha venido utilizando las fibras de acero en el medio constructivo desde hace más de 5 años, sólo que su uso no ha sido muy extendido en toda la comunidad de ingeniería, como ejemplo del buen uso se tiene la utilización de fibras metálicas para la construcción de concreto “Reforzado en la ciudad de Pucallpa, definiendo que el refuerzo de concreto que se logra es mediante un acople tridimensional, reduciendo las tensiones aplicadas al elemento estructural aumentando así su resistencia, usado principalmente en pisos y pavimentos, obteniendo una gran cantidad de fibras por Kg. distribuyéndose uniformemente y logrando un comportamiento mecánico homogéneo.” Odicio (2007)

En Trujillo no es muy típico usar este tipo de adición de mezcla para el concreto, generalmente se suele usar fibras pero de naturaleza polimérica, como viene a ver la fibra de polipropileno que se usa asiduamente para mejorar propiedades como flexión, tracción y trabajabilidad del concreto en obra, teniendo investigaciones de este carácter a cargo del Ing. Iván Vásquez Alfaro-UPN, haciendo unas recomendaciones de que al usar fibras metálicas se

logrará una mejor mejora de las propiedades ya mencionadas. Alfaro (2014)

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la adición de Fibras Metálicas 4D en las propiedades de un Pavimento Flexible?

Al evaluarse el deterioro de los pavimentos en su horizonte de evaluación, se tiene una deficiencia en ausencia de una base de datos que permita tener un adecuado control de gestión las nuestras vías, tendiéndose que llevar a cabo proyectos como mantenimientos generales rutinarios y periódicos, que no es la mejor alternativa; en lugar de hacer rehabilitaciones y mantenimiento de forma estratégica dando así una adecuada conservación de las vías de la red a un costo apropiado. La problemática se debe al poco control e inventario que se tiene de las carreteras, de forma que no se puede planear futuras intervenciones, ni se puede monitorear el deterioro con la importancia que ello conlleva.

Un problema álgido es el inadecuado mantenimiento que se le da a las carreteras en mal estado, ya que al tenerse grietas identificadas en un análisis funcional o estructural del pavimento, éstas para ser reparadas no cuentan con un puente de adherencia adecuado entre capa deteriorada y capa nueva de desgaste, originando así la reflexión de juntas, haciendo ineficiente las acciones de conservación u optimización de la red vial; generado por la inadecuada planificación en los proyectos y omisión de modelamientos, para tener claros los estándares básicos de conservación, dichos modelos pueden ser de comportamiento o de costos.

1.3. Justificación.

Los grandes volúmenes de concreto asfáltico que se producen actualmente en la industria de la construcción hacen que se realicen mejoras u optimizaciones en la tecnología del mismo ya que los recursos para la producción del aumentan su valor cada vez más. Es por esto que se vienen haciendo investigaciones para mejorar no sólo las propiedades reológicas, sino

también las características del pavimento en sí, aumentando su tiempo efectivo de vida útil e incrementando su tiempo en el cual requiere de mantenimiento, generando consigo un mejor uso de los bienes del estado al mantener las vías del país.

Las fibras de acero se muestran como una alternativa diferente para el diseño y construcción de pavimentos de alta desempeño, cambiando totalmente los métodos convencionales. Un problema que se observa en la mayoría de proyectos de construcción de pavimentos son las fallas o fracturas debido a la falta de consideración de las solicitaciones reales que actuarán en la estructura, así también como la dificultad del mismo proceso constructivo.

Los pavimentos flexibles no se comportan de manera constante al transcurso del tiempo ya que, al ir deteriorándose, disminuye la serviciabilidad y podría darse el caso de comprometer estructuras a las cuales está soportando el pavimento, como por ejemplo un ahuellamiento que pueda dar pie a un accidente automovilístico. Por ello se debe adoptar nuevas metodologías como es el caso de uso y aplicación de fibras de acero dentro del diseño y construcción de losas apoyadas sobre terreno, el cual resulta una solución integral.

La presente investigación abrirá paso a una mejor gestión y evaluación de proyectos de pavimentos en etapa de ante proyectos, dando con esto una idea más clara acerca de cuál es la opción más viable y mantenida en el tiempo, al tener esta nueva adición al concreto asfáltico incentiva a la investigación de nuevas tecnologías de aplicación que estén en conformidad con las sub regiones que se cuentan en el país.

Existe una carencia de dato, criterios generales, y propiedades mecánicas como la flexión, compresión, módulo de Poisson y Módulo elástico de los pavimentos flexibles, estos valores son tomados como estimados, no habiendo pasado al menos por software dedicados a evaluar éstas características, lo que se busca en instaurar una referencia más precisa para la

futura elaboración de proyectos y evaluación de los mismos en el tiempo de vida útil proyectado.

Es necesario investigar nuevas teorías acerca del diseño de los pavimentos flexibles, reforzándolos de alguna forma, permitiendo así mejores desempeños frente a acciones de carga que pueda ser solicitada, las metodologías que se usar en nuestro país son foráneas, adaptadas a la realidad, pero con cierto grado de incertidumbre; esta incertidumbre se piensa disminuir al tener un sistema de gestión en la elaboración, evaluación y sostenimiento en el tiempo de los pavimentos mediante una metodología propuesta por el Banco Mundial que es la HDM-IV.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

Analizar un pavimento Flexible reforzado con adición de Fibras Metálicas 4D con la Metodología de Desgaste HDM-4.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Proporcionar información con respecto a parámetros Funcionales y Estructurales, con criterios generales y el uso nuevas metodologías para el dimensionamiento, proyecto y ejecución de obras de pavimentos reforzados con fibras y evaluarlos con la metodología HDM-IV.
- Desarrollar formatos de recolección de parámetros en el inventario calificado a fin de alimentar la base de datos; los que brindarán la verdadera condición funcional y estructural del pavimento en su interpretación en la herramienta HDM-4.
- Comparar los costos de mantenimiento y su incremento en concordancia con la vida útil, así como la ejecución en un proyecto real, verificando la optimización de recursos.

1.5. Antecedentes.

1.5.1. Nacionales

Montalvo (2015), en su trabajo de investigación “Pavimentos Rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales” publicada on-line presentada en la Pontificia Universidad Católica del Perú, plantea como objetivos:

Brindar información, criterios generales y nuevas metodologías para el dimensionamiento, proyecto y ejecución de obras de pavimentos reforzados con fibras. Comparando de manera teórica las propiedades mecánicas: flexión, compresión, modulo elástico y físicas del concreto sin refuerzo y el concreto reforzado con fibras de acero Wirand FF1, como también comparar sus espesores. Llegando a las siguientes conclusiones:

- a. Las fibras tienen buena condición a favor con respecto a las losas de concreto simple, ya que colabora en todo su espesor gracias a la distribución tridimensional de las fibras dándole al piso una mayor resistencia durante su vida útil.
- b. No se necesita mano de obra calificada para utilizar la fibra, solo se requiere de un técnico que instruya al personal la primera semana para la adecuada utilización de la fibra, la cual es muy simple.
- c. De acuerdo con el análisis efectuado tanto técnico como económicamente, se recomienda la utilización de concreto reforzado con fibras en la colocación en losas de pisos y pavimentos donde exigen una alta sollicitaciones de carga pesada.
- d. El aporte de la Tesis “Pavimentos Rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales” muestra que existen software’s que permiten evaluar pavimentos fibro esforzados llamado PAVE-2008, así como da un lineamiento de qué cantidades en kg/m^3 se tiene que usar para tener un trabajabilidad y resistencia adecuada según las especificaciones técnicas a la cual se esté solicitada la estructura.

Montoya (2007), describe en su trabajo e investigación “Implementación del Sistema de Gestión de Pavimentos con Herramienta HDM-4 para la red Vial nacional N°5. Tramo Ancón-Huacho-Pativilca” publicada on-line presentada en la Universidad Ricardo Palma – Perú, en la cual se plantea como objetivo Implementar un Sistema de Gestión de Pavimentos a Nivel de Proyecto determinado, a fin de acreditar las actividades a ejecutarse en posteriores mantenimientos, lo cual es solicitado por la Entidad Concesionaria. Se logró mediante una clasificación en módulos de Redes de Carreteras, Flotas, Estándares de conservación y Mejora, Configuración, Análisis de Proyectos, Análisis de Mejoras y Análisis de Estrategias. Llegando a las siguientes conclusiones.

- e. Con la creación del Sistema de Gestión de Pavimentos, se ha conseguido las distancias homogéneas de la Red Vial Nro.5, los que se deberán acatar en el horizonte de concesión. Deberán respetarse también los procedimientos de recolección de datos, ya que de esta forma se podrá acceder a la data estadísticamente equiparable
- f. El aporte de la Tesis “Creación del Sistema de Gestión de Pavimentos con Herramienta HDM-4 para la red Vial. Tramo Ancón-Huacho-Pativilca” muestra que la Metodología HMD-4 permite una mejor gestión de los recursos del estado al permitir una adecuada y pertinente rehabilitación o mantenimiento de las estructuras viales, manteniendo así los niveles de servicio solicitados por el consumidor.

Odicio (2007) en su trabajo de investigación sostiene que “La utilización de Fibras Metálicas para la construcción de Concreto Reforzado en la ciudad de Pucallpa” publicada on-line presentada en la Universidad Ricardo Palma – Perú, en la cual se plantea como propósito determinar las ventajas del uso de fibras metálicas en pavimentos de concreto en la Ciudad de Pucallpa. Se tuvo éxito mediante un ensayo de

materiales (Granulométrico, Módulo de Fineza, Peso Específico, Absorción, Peso Unitario, Contenido de Humedad, Resistencia al Desgaste Los Angeles), mientras que el concreto era analizado a la compresión ASTM C39y tracción ASTM C496. Obteniéndose las siguientes conclusiones.

- La incorporación de las fibras en el concreto hace que este reduzca su trabajabilidad e incremente su consistencia, lo cual significa que el slump se decremente. En general la trabajabilidad de la mezcla se atenúa con el incremento del factor de forma de fibra empleada.
- Las dosis empleadas en fibras metálicas son fáciles y rápidas de usar, además garantiza una repartición homogénea y perfecta en el concreto, es una ventaja considerable para los sistemas modernos de producción de concreto.
- Los extremos de las fibras de acero tienen una deformación que ofrece un anclaje óptimo de las fibras en el concreto, modificando la naturaleza del concreto simple, de frágil a un material firme, consiguiendo tomar en cuenta una resistencia adicional.

El aporte de la Tesis “Utilización de Fibras Metálicas para la construcción de Concreto Reforzado en la ciudad de Pucallpa muestra que las fibras de acero según su el número de dobleces, estos al incrementar la capacidad de adherencia y anclaje con el material que se haya sido añadido, prevé futuras fallas a roturas o agrietamiento por gradiente térmico.” Odicio (2007)

1.5.2. Internacionales

Syum (2007), Propone en su investigación que “El Desarrollo y gestión de carreteras modelo - 4 (HDM-4) Calibración (Addis Ababa - Caso del camino del tronco de Modjo)” publicada on-line presentada en la Addis Ababa, Etiopía en la cual se plantea como objetivo de este estudio calibrar el modelo HDM-4 para algunos de los Deterioro y Efectos de Trabajo en

Carretera, (RDWE). La ubicación seleccionada para el análisis de calibración es el enlace de Addis - Mojo debido al mejor desempeño del pavimento registrado datos. Cada calibración del modelo de deterioro de carreteras, medio ambiente y efectos de trabajo en carretera (RDWE) Implementar enfoques distintos que se discuten claramente en la sección de calibración. Sin embargo, la evaluación de la adecuación de las predicciones HDM-4 en general se realiza por Comparando las predicciones del modelo con datos conocidos, como la guía de calibración y adopción dicta así, los datos sobre las condiciones actuales del pavimento de una serie de pavimentos de Edades y predicciones HDM-4 de pavimentos condición de la misma edad y los mismos atributos Se evalúan si HDM-4 estaba dando predicciones adecuadas. Obteniéndose las siguientes conclusiones.

- La metodología sugerida en este estudio se puede replicar para la calibración de HDM-4 Modelos de deterioro del pavimento de carreteras pavimentadas a nivel nacional. Además de eso, para Aquellos que estén interesados en estudiar las directrices de calibración actuales del HDM-4 y Relaciones de modelo, notifica claramente las discrepancias y el área de interés para Investigaciones.

El aporte de la Tesis “Desarrollo y gestión de carreteras modelo - 4 (HDM-4) Calibración (Addis Ababa - Caso del camino del tronco de Modjo)” muestra que con respecto a la data que tienen en Etiopía se puede lograr una mejor gestión de estructuras viales y calibración del Modelo HDM-4 a su realidad nacional, según el nivel de deterioro y efectos que producen estos en la carretera, al usar esta metodología se obtuvieron resultados más conservadores que los usados usualmente en dicho país.

“Refuerzo Híbrido de Asfalto-Hormigón Mezclas con fibras de vidrio y polipropileno” Saman Esfandiarpour (2010), publicada on-line presentada en la Eastern Mediterranean University, República Turca del Norte de Chipre, en la cual se plantea como objetivo

de este estudio Mejorar la trabajabilidad y el rendimiento de la mezcla caliente Asfalto (HMA), utilizando aditivo de polipropileno (pp) y fibra de vidrio para aumentar la estabilidad y disminuir el valor del flujo. Llevándose a cabo variados métodos de ensayo, todas las experiencias, Códigos estándar como ASTM, AASHTO, Asphalt Institute y la carretera turca Estándar, Incluyendo (Prueba de asfalto normal, Método de diseño de mezcla, Gravedad específica máxima de la mezcla suelta y Procedimiento para analizar una mezcla de pavimento compactada). Obteniéndose las siguientes conclusiones.

- Tres porcentajes diferentes de polipropileno 2%, 4% y 6% en peso de Cemento Asfáltico fue seleccionado en este estudio. Todos estos porcentajes se sumaron al óptimo Cemento asfáltico (4,3%). Los resultados de las pruebas indicaron que el polipropileno, algunas propiedades del cemento asfáltico y mejoró el rendimiento de la mezcla.
- Los resultados de las pruebas de penetración mostraron que, al aumentar el porcentaje de aditivos (Polipropileno), la penetración disminuyó en comparación con el cemento asfáltico normal.

El aporte de la Tesis “Refuerzo Híbrido de Asfalto-Hormigón Mezclas con fibras de vidrio y polipropileno” muestra que con un porcentaje bajo de adición de fibras al asfalto, puede lograrse un significativo incremento en las propiedades reológicas del concreto asfáltico ya compactado, mejorando su comportamiento térmico a un gradiente de temperatura elevado.

“Estudio de efectos de la calidad de acoplamiento y fibra natural en mezclas de asfalto matriz de piedra (SMA)” Arpita Suchismita (2009), publicada on-line presentada en la National Institute of Technology, Rourkela, en la cual se plantea como objetivo de este

estudio, Comparar las propiedades Marshall de las muestras de SMA con el tipo de Concentraciones, Comparar las propiedades Marshall de las muestras de SMA con fibra variable concentración utilizando diferentes aglutinantes, Analizar los resultados de las pruebas Marshall de mezclas SMA para Contenido de aglutinante (OBC) y contenido óptimo de fibra (OFC) para estudios posteriores. Llevándose a cabo ensayos Marshall, Pruebas de Tracción Indirecta de Carga repetida, Pruebas de Susceptibilidad a la humedad y pruebas de Drain Down. Obteniéndose las siguientes conclusiones.

- Se ha observado que una concentración marginal de fibra de 0,3% considerablemente mejora las propiedades Marshall de las mezclas SMA, incluso para el mismo con 80/100 de asfalto. Los que encuentra que los contenidos óptimos de aglutinante se reducen considerablemente por adición de fibras, una gran ventaja desde el punto de vista económico y de calidad. Se ha observado que las características de susceptibilidad al drenaje y la humedad han mejorado usando ligante modificado y fibra en la mezcla. También se ha encontrado que la adición de fibra aumenta sustancialmente la resistencia a la tracción.
- Estas mezclas también funcionan satisfactoriamente bajo condiciones de prueba de carga repetidas y en términos de las características de fatiga.

El aporte de la Tesis “Estudio de efectos de la calidad de acoplamiento y fibra natural en mezclas de asfalto matriz de piedra (SMA)” muestra que las fibras si bien es cierto son naturales y no tratadas, mejoran las características mecánicas del concreto asfáltico, mostrándose un aumento en los resultados del ensayo Marshall, así como amentar sus capacidades drenantes ofreciendo un mejor comportamiento antes posibles precipitaciones.

1.6. Bases Teóricas

1.6.1. Concreto Asfáltico

a) Definición de Pavimento

Provias (2008) determina que “Los pavimentos son una estructura construida sobre la sub rasante de la vía, para distribuir y resistir a los esfuerzos causados por los vehículos y acrecentar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito”. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y carpeta de rodadura. (p.120)

Según AASHTO (1993) existen “Dos enfoques para determinar un pavimento: el de la Ingeniería y del Usuario”.

El pavimento es un elemento estructural que se encuentra apoyado sobre el terreno de instauración llamado subrasante. Esta capa deberá sostener un sistema de capas de diferentes espesores, diseñado para aguantar cargas externas durante un periodo de tiempo.

Desde la perspectiva del usuario, el pavimento es un terreno que debe mostrar seguridad y comodidad cuando se transite sobre ella es decir debe proporcionar un servicio de excelente condición y de calidad.

b) Pavimentos Flexibles

Denominado también pavimento asfáltico, constituido por una capa asfáltica en el terreno de rodamiento, la cual permite pequeñas deformaciones en las capas inferiores sin que la estructura falle; la base y la sub base, todas apoyadas sobre la subrasante

El pavimento flexible resulta más asequible en gastos en la construcción inicial, ya que se tiene un período de vida de entre 10 a 15 años, pero para cumplir su vida útil requieren de un mantenimiento periódico.



Figura 1: Esquema Típico del paquete Estructural de un pavimento Flexible.

Fuente: GP Maintenance Solutions “Asphalt Repair & Maintenance”

c) Comportamiento Estructural de los Pavimentos

Desde nuestra perspectiva; los pavimentos flexibles están conformados por una serie de capas y la distribución de la carga está definida por las características propias del sistema; los pavimentos rígidos distribuyen las cargas sobre un área grande y tienen un gran módulo de elasticidad, el factor más importante a tomar en cuenta es la resistencia estructural del concreto.

El comportamiento de un pavimento en contacto a cargas externas cambia conforme con las capas que las integran. La fundamental diferencia del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos es la estructura de cómo se reparten las cargas.

En un pavimento flexible las capas de mejor calidad están cerca de la superficie donde las fuerzas son mayores, y estas capas se reparten de mayor a menor a medida que se va ingresando hacia los niveles más profundos. Los pavimentos flexibles tienen escasa rigidez, por ese motivo se deforma aún más que el rígido también se forman fuerzas mayores en la subrasante. Para el pavimento rígido se asume casi toda la carga es la losa. Las capas inferiores a la losa, en términos de aguante, son despreciables. Las fuerzas se distribuyen uniformemente debido a la rigidez del concreto, dando como resultado cargas muy bajas en la subrasante.

Un factor que predomina en el comportamiento de los pavimentos es el tipo de carga que se le aplica y la velocidad con que ello se hace. Los pavimentos están sujetos a pesos móviles, es que los pesos actuantes sean repetitivos afectando a la resistencia de las capas de pavimento de relativa rigidez, por lo que, en el caso de los pavimentos flexibles, este efecto se muestra sobre todo en las carpetas y las bases estabilizadas.

d) Etapas en la vida útil de los Pavimentos

Los pavimentos antes, durante y después de su vida de servicio, afrontan diferentes criterios que permiten entender a qué están sujetos. Estas etapas están referidas a la construcción, rehabilitación y mantenimiento

- **Diseño y Construcción**

Es un procedimiento que comprende las actividades necesarias para la realización y puesta en servicio de una infraestructura vial, lo cual incluye la tenencia de recursos, la realización de obras civiles, instalación de equipos y todos aquellos trabajos vinculados a su puesta en marcha. La primera etapa para la construcción de un pavimento es la investigación de campo o la recopilación de información. Esta investigación abarca la búsqueda de la información disponible, los análisis de tráfico, la calidad de materiales y otras características necesarios para el diseño.

Antes de tomar decisión sobre la metodología de investigación a utilizar en un proyecto en particular, debe efectuarse un análisis de toda la información posible, para ello es necesario comprobar la calidad de los materiales disponibles en las canteras. Así mismo se debe hacer la evaluación de la subrasante, así como los ensayos de laboratorio, la planimetría y los niveles finales del pavimento.

En lo posible debe recolectarse la mayor cantidad de información disponible sobre el tráfico y en caso de no contar con ella, efectuar las estimaciones necesarias.

Luego de efectuar la recopilación de datos, trabajos de campo y los ensayos de laboratorio, se procede al diseño correspondiente. Este procedimiento de diseño consiste en seleccionar una adecuada combinación de espesores de capas y clasificación de materiales para que los esfuerzos y deformaciones causados por las sollicitaciones a que se somete la estructura, permanezcan dentro de los límites admisibles durante la vida útil de la estructura que están constituyendo. Una vez establecidos todos estos parámetros, se procede a la construcción del pavimento, correctamente estructurado.

- Mantenimiento

Son los trabajos, actividades, operaciones, acciones y cuidados rutinarios, periódicos o de emergencia, orientados a lograr que la infraestructura vial preserve la condición superficial, funcional, estructural y de seguridad requerida, a efectos de asegurar la satisfacción de los usuarios y en general atender de manera adecuada el tránsito. Por razones operativas, el mantenimiento se subdivide en mantenimiento periódico, mantenimiento rutinario y mantenimiento de emergencia (prevención y atención).

- a. Mantenimiento rutinario

Son todas aquellas actividades y trabajos menores, permanentes y frecuentes, que se ejecutan con el objetivo de proteger y preservar fundamentalmente la condición superficial y funcional de la infraestructura vial, cooperando así a que ésta cumpla con el período de vida para la que fue diseñada, sin incurrir significativamente en la natural evolución de la disminución de su capacidad estructural, producto de los requerimientos de carga previstas en el diseño u otros agentes.

- b. Mantenimiento periódico

Son todos aquellos trabajos mayores, temporales, de menor frecuencia, y de carácter preventivo, que se ejecutan en forma programada o en respuesta a cierta condición

preestablecida, a fin de retardar en forma oportuna la natural evolución de la disminución de la condición estructural, de la condición funcional o calidad de rodadura, y de las condiciones de seguridad de la infraestructura vial, producto de las solicitaciones de carga previstas en el diseño inicial u otros agentes, contribuyendo de esta manera a que ésta pueda extender su vida útil más allá del período para el que fue diseñada.

El mantenimiento periódico comprende trabajos de tratamiento y trabajos de renovación de la superficie de rodadura. En el primer caso, los trabajos se refieren a restablecer algunas características superficiales como la textura o simplemente a mantener la durabilidad de la mezcla asfáltica y prevenir el desarrollo de fisuras y grietas, y se aplican mientras el pavimento aún está en buen estado, no habiendo alcanzado a llegar ni siquiera el estado regular. En el segundo caso, los trabajos se refieren a agregar una capa adicional sobre el pavimento conocido como recapeo sin alterar significativamente la estructura subyacente, o ejecutar trabajos de fresado y/o reciclado del pavimento. Este segundo caso se aplica cuando el pavimento se encuentra en estado regular, antes de llegar a un mal estado.

Los trabajos de recapeo indicados, aparte de la función de renovar la superficie de rodadura, deben cumplir con la función de reforzar la estructura del pavimento para alcanzar el objetivo de extender la vida útil de la infraestructura vial, por lo que su cálculo y dimensionamiento deben estar acordes con la actualización de las solicitaciones de carga en la vía y debe aprovechar además la capacidad remanente de soporte estructural del pavimento existente. El mantenimiento periódico incluye las reparaciones y mejoras necesarias en zonas específicas o puntuales de la infraestructura vial.

c. Rehabilitación

Es la actividad necesaria para devolver a la estructura de pavimento las condiciones de soporte de carga con las que inicialmente se construyó, así como su nivel de servicio en términos

de seguridad y comodidad Son obras que se ejecutan como consecuencia de la existencia de problemas en la condición superficial, funcional, estructural y/o de seguridad en sectores de la infraestructura vial, con el objeto de darles solución, previa demolición parcial o total de las estructuras existentes.

A diferencia de las obras de mejoramiento, la rehabilitación no implica elevar el estándar de la vía, pero comprenden la ejecución de reforzamientos del pavimento para responder a la mayor cantidad de tránsito en el futuro, así como mejoras específicas en la infraestructura vial. En relación a los trabajos de reparación, su alcance es mayor en cuanto a extensión. La rehabilitación es una intervención indeseada dentro de un programa de conservación, pues en la mayoría de los casos surge como una necesidad por no haber existido una adecuada conservación, o como una respuesta necesaria a los efectos de un desastre natural.

Un pavimento puede presentar dos tipos de rehabilitación, superficial y estructural. Las medidas de rehabilitación superficial, resuelven problemas que se encuentran confinados a las capas superiores del pavimento, inconvenientes que están relacionados con el envejecimiento del asfalto y con el agrietamiento que se origina en la superficie debido a factores térmicos.

Una rehabilitación superficial, se orienta a la colocación, sobre la superficie existente de una carpeta delgada de mezcla asfáltica en caliente o en frío.

Esta es la solución más simple a un problema, debido a que el tiempo requerido para completar los trabajos es corto y existe un impacto mínimo sobre los usuarios de la vía. El fresado y conformación de material granular, es muy utilizado en los casos en los que se requiere aumentar la capacidad portante del pavimento, así como otras alternativas.

Una rehabilitación estructural puede orientarse a una reconstrucción total. Esta es la opción elegida cuando se combina la rehabilitación con una decisión de mejoramiento que demanda un cambio significativo de la vía. También son considerados la construcción de capas

adicionales sobre la superficie existente.

Existen diferentes opciones disponibles para la rehabilitación de un pavimento, pero resulta más complejo determinar cuál de ellas es mejor. Sin embargo, los puntos más importantes para tomar una decisión son la viabilidad de las diferentes opciones de rehabilitación, el ordenamiento del tráfico, las condiciones climáticas y de acceso a la zona y la disponibilidad de recursos.

e) Evaluación de Pavimento

La evaluación de pavimentos consiste en un estudio, en el cual se presenta el estado en el que se halla la estructura y la superficie del pavimento, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de conservación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil del pavimento, en este sentido es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre.

- **Importancia de la evaluación**

La evaluación de pavimentos es importante, pues permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las medidas correctivas oportunas, consiguiendo con ellas, cumplir el objetivo de una serviciabilidad óptima al usuario. Con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto. La evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio, previniendo una futura mayor inversión.

- **Objetividad**

La objetividad en la evaluación de pavimentos juega un papel primordial, pues se necesita personas verdaderamente capacitadas para que realicen las evaluaciones, de no ser así, dichas pruebas pueden perder credibilidad con el tiempo y no podrán ser comparadas, además,

es importante que se escoja un modelo de evaluación que se encuentre estandarizado para poder decir que se ha realizado una evaluación verdaderamente objetiva.

No siempre se pueden obtener mediciones o índices que cumplan con la condición para comparar dos proyectos debido al sesgo intrínseco de la toma de decisiones, produciéndose una desviación entre la realidad y lo expresado por las muestras. La desviación que ocurre puede deberse a dos causas principales

- ✓ Variabilidad de las unidades, debido a que las unidades son la base para los análisis que se realizaron
- ✓ Diversidad de la respuesta dentro de cada unidad, esto porque se relaciona a la fiabilidad de la eventual rehabilitación.

Existen diferentes tipos y métodos de evaluación de pavimentos. En muchos casos los resultados de varios ensayos pueden compararse entre sí con el objeto de confirmar las razones del deterioro o de la falla y, de esta manera, entender mejor el comportamiento del mismo.

a. Estructural

Los métodos de evaluación estructural se dividen en dos grupos, los ensayos destructivos y los ensayos no destructivos. Entre los ensayos destructivos más conocidos están las calicatas que nos permiten obtener una visualización de las capas de la estructura expuestas, a través de las paredes de esta y realizar ensayos de densidad “in situ”. Estas determinaciones permiten obtener el estado actual del perfil a través de las propiedades reales de los materiales que lo componen.

Las calicatas facilitan además la toma de muestras en cantidad, para su posterior clasificación en el laboratorio, de cuyos resultados se puede establecer el uso más efectivo, al momento de realizarse las tareas de rehabilitación y mejoramiento. Los trabajos suministran información adicional como los espesores de las capas conformantes, contenidos de humedad,

posible causa del deterioro de la capa, densidad de cada capa y la capacidad de soporte en el material subrasante.

Por otro lado se pueden realizar perforaciones con la ayuda de equipos de calado, saca muestras; esta alternativa, en comparación con las calicatas es más sencilla, menos costosa, más rápida y provoca menores interrupciones en el tránsito. Como desventaja, no se puede realizar determinaciones de densidad “in situ” por cuestiones de espacio.

Los ensayos no destructivos pueden llevarse a cabo mediante medidas de deflexiones que son una herramienta importante en el análisis no destructivo de los pavimentos. La magnitud de la deflexión producida por la carga, son útiles para investigar las propiedades “in situ” del pavimento. Se trata de aplicar una sollicitación tipo y medir la respuesta de la estructura.

El sistema más difundido de medición de deflexión es mediante el empleo de la viga Benkelman. Este dispositivo se utiliza para realizar mediciones en sectores en los que se observan fallas visibles y en los que no se observan fallas, de esta forma es posible acotar las propiedades actuales del pavimento “in situ”, e integrar sus resultados para una interpretación global.

Otro equipo con el que se pueden realizar mediciones es con un deflectómetro de impacto. Este es un método no destructivo, que sirve para la evaluación estructural del pavimento y conocimiento detallado de su estado. Esta técnica es de alto rendimiento, sin mayores interferencias al tránsito de las vías y además es utilizado de forma rápida y precisa. Por otro lado, puede utilizarse el perfilómetro láser, principalmente en la etapa de recepción, este proporciona información sobre la rugosidad del pavimento, cuya información permite estimar la serviciabilidad actual del pavimento. (González, 2004).

b. Superficial

Se entiende por evaluación superficial o funcional, aquella evaluación realizada en una

vía con el objeto de determinar los deterioros que afectan al pavimento y al usuario, y conocer el estado en el que se encuentra el mismo.

Existen diferentes métodos para la evaluación superficial de los pavimentos. Estos métodos son sencillos de aplicar y no requieren de equipos experimentados. La evaluación visual que se realiza, es una de las herramientas más importantes en la aplicación de estos métodos, y forma parte esencial de toda la investigación. La evaluación se realiza generalmente en dos etapas, una inicial y otra detallada. (Gutiérrez, 1994).

La evaluación inicial se realiza con el fin de hacer una inspección general del proyecto. Esta tarea se realizará recorriendo el camino ya sea mediante un desplazamiento personal o por vehículo para determinar la serviciabilidad que está brindando el pavimento, finalmente será abarcando todo el tramo de vía a evaluar.

La evaluación detallada consiste en inspeccionar la vía caminando sobre ella y realizando la recopilación de datos necesarios, en donde es necesario describir a todo tipo de falla encontrados en función a su severidad, frecuencia y ubicación, así como otra información que se considere necesaria.

La evaluación superficial debe ser definida de manera de periódica, con el fin de determinar la naturaleza y extensión de los deterioros en el pavimento; ya que tales datos son extremadamente importantes debido al impacto directo que tienen sobre el comportamiento del pavimento existente y sobre aquellas capas de refuerzo posteriores.

Este tipo de evaluación es también importante porque permite determinar el tratamiento más adecuado que requiere la superficie del pavimento antes de colocar la sobrecapa de refuerzo.

La evaluación superficial comprende los siguientes pasos: primero, identificar las fallas y las posibles causas de las mismas. Después, se ubican las fallas en una hoja de evaluación de

acuerdo al método a aplicar.

Luego, se determina el grado de severidad y la extensión de las fallas. Seguidamente, se cuantifica en gabinete la información recogida en el campo. Inmediatamente, se emite un informe con el análisis del tramo evaluado. Finalmente, se determinan los tratamientos y reparaciones adecuados. (Gutiérrez, 1994).

1.6.2. Fibras.

1.6.1.1. Reseña Histórica de la Aplicación de fibras.

La idea de reforzar con materiales fibrosos manufacturados se remonta a muchos años atrás; en el antiguo Egipto se introducía paja al macizo arcilloso con el cual confeccionaban ladrillos para conferirle una mayor resistencia y por lo tanto una buena manejabilidad después del secado al sol. Existen otros ejemplos históricos; revoques reforzados con pelo de caballo, o también con paja en las construcciones más precarias, para evitar fisuras antiestéticas.

En los años 50 se hicieron los primeros estudios sobre la utilización de fibras de acero y de vidrio en el hormigón, en los años 60 en cambio aparecen los primeros estudios sobre concreto reforzados con fibras sintéticas.

Con el transcurrir del tiempo y los años, las patentes van evolucionando y utilizando parámetros muy similares a los actuales, un ejemplo para este caso es la patente de G. Constatinesco en 1954 en Estados Unidos, utilizando fibras helicoidales y espirales para aumentar la resistencia a la fisuración del concreto.

En el inicio de los 50 fue una etapa de numerosas investigaciones referentes al concreto reforzado con fibras, los trabajos realizados y que destacaron en la época fueron de Romualdi, Batos y Mandel (1963).

No es hasta la década de los 70 que se comenzó a utilizar en los países europeos, sobre todo en España, donde se utilizaban las fibras en diversos proyectos: revestimiento de túneles,

pavimentos industriales, pavimentos de tableros de puentes, contenedores de puentes, etc. Dentro de esta época resalta el registro de la patente de I. Kennedy (España) la cual consistía en la implementación del proceso Hatschek, el cual producía láminas de cemento reforzado con fibras de asbesto o amianto para elaborar concreto. Sin embargo, entre 1970 y 1980 quedó inutilizado debido a los casos de problemas de salud que generaba.

En la actualidad la construcción de estructuras elaboradas con concreto reforzado con fibras de acero viene teniendo gran éxito y aceptación, gracias a los diversos trabajos de investigación, revelando su aplicación en ramas militares, utilizándose concreto fibroreforzado en el blindado de carros de combate, hangares y recintos protegidos frente al impacto de proyectiles.

1.6.2.2. Tipos de Fibras de Acero

Hay muchos tipos de fibras disponibles para comercializar y realizar experimentos, pero las básicas categorías son: fibras de acero, fibras de vidrio, fibras sintéticas y fibras naturales.

A continuación, se presenta un cuadro representativo de cómo se clasifican las fibras por BISFA (The International Bureau for the standardisation of Man-Made fibres).

Se presenta la Tabla 1 con ciertas características de las fibras que se utilizan mayormente. En esta se observa grandes diferencias entre las propiedades de cada tipo de fibra. Entre ellas resaltan la resistencia a la tracción y alargamiento en la ruptura. Se recomienda que las fibras estructurales tengan un módulo de elasticidad 3 veces superior al del concreto. Las fibras de acero tienen aproximadamente el módulo de elasticidad 7 veces mayor al del concreto.

Tabla 1: Principales propiedades de fibras de distintos materiales

Fuente: Technical Data Sheet. Maccaferri

Fibras	Diámetro (um)	Densidad (kg/m ³)	Módulo de Elasticidad (kN/mm ²)	Resistencia a la tracción (kN/mm ²)	Alargamiento en la ruptura (%)
Acero	5-500	7.84	200	0.5-2	0.5-3.5
Vidrio	9-15	2.60	70-80	0.2-4	2-3.5
Amianto	0.02-0.04	3.00	180	3.30	2-3
Polipropileno	20-200	0.90	5-7	0.5-0.75	8
Nylon	-	1.10	4	0.90	13-15
Polietileno	-	0.95	0.30	0.0007	10
Carbono	9	1.90	230	2.60	1
Kevlar	10	1.45	65-133	3.60	2.1-4
Acrílico	18	1.18	14-19.5	0.4-1	3

1.6.2.3. Clasificación de fibras de Acero

La clasificación de las fibras de acero es según sus características geométricas, físicas, químicas, mecánicas y también por el proceso constructivo.

De acuerdo a su geometría, este producto se caracteriza geoméricamente por obtener una dimensión predominante con respecto a las demás, la relación de estas dimensiones, longitud (L) y diámetro equivalente (De) generan lo que se denomina esbeltez o también relación de aspecto. Las fibras tienen que ser suficientemente pequeñas para dispersarse al azar en una mezcla sin endurecer al concreto asfáltico.

La norma ASTM 820 considera la siguiente simbología:

- A=área de la sección transversal
- D= diámetro
- Fu= esfuerzo de tensión último
- L=longitud
- De = Diámetro equivalente (sección diferente a una circular)
- λ =relación de aspecto= Longitud/Diámetro Equivalente.

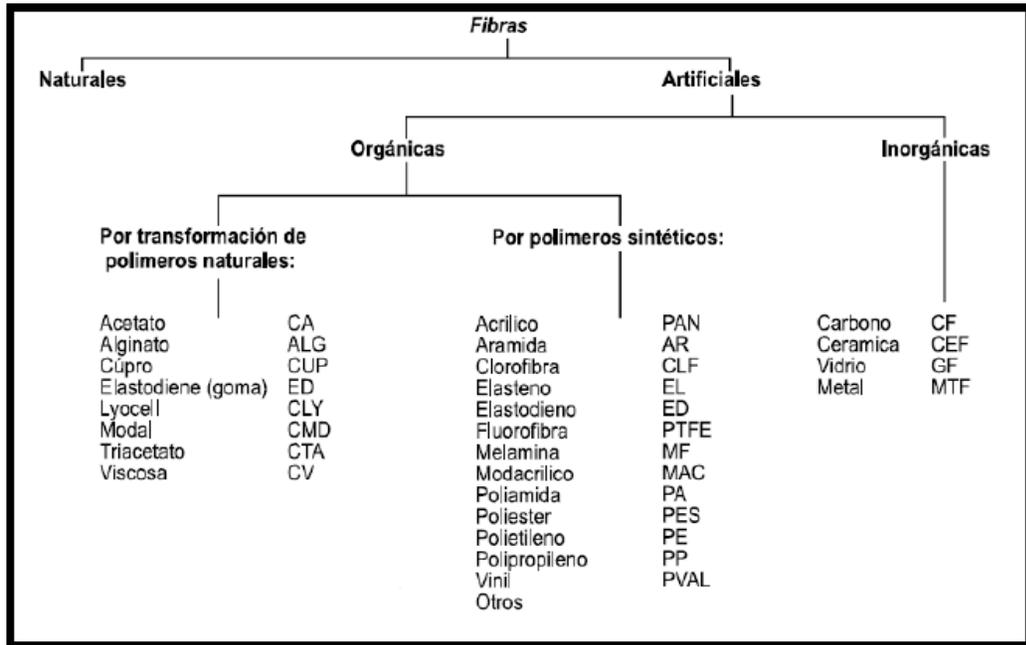


Figura 2: Clasificación de fibras por BISFA

Fuente: Technical Data Sheet. Maccaferri

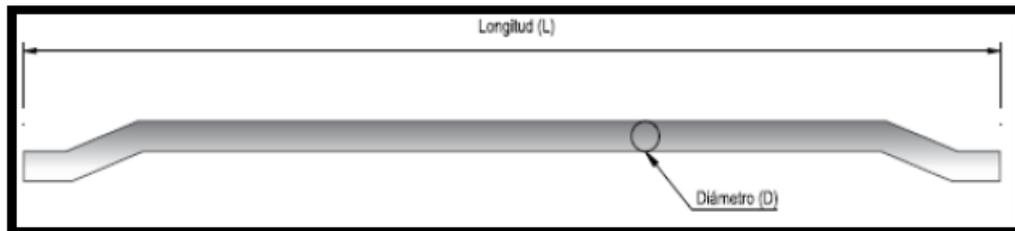


Figura 3: Característica Geométrica

Fuente: Technical Data Sheet. Maccaferri

El Diámetro equivalente D_e (mm), está definido con diferentes modalidades, las cuales están en función de su forma transversal y proceso constructivo.

La relación de aspecto ($\lambda = L/D_e$) es la esbeltez de la fibra, si la fibra es más larga y el diámetro equivalente es más corto, la fibra es más esbelta, por lo tanto, habrá más fibras por unidad de masa.

1.6.2. Gestión de Carreteras.

Cuando se consideran las aplicaciones del HDM-4 es necesario observar el proceso de gestión de carreteras a partir de las siguientes funciones:

a) Planificación

La planificación representa el análisis del sistema vial como un todo, lo que normalmente requiere la estimación de los gastos de mediano a largo plazo o de los gastos estratégicos para desarrollar y conservar carreteras bajo distintos escenarios presupuestales y económicos. Es posible hacer predicciones no solo de las condiciones de la red de carreteras para diversos niveles de financiamiento con base en indicadores claves, sino también del gasto necesario bajo partidas presupuestales específicas. Por lo regular, durante la etapa de planificación el sistema físico de carreteras se define por:

- Características de la flota vehicular que circula por la red.
- Características de la red.

Estas se agrupan en varias categorías que se definen tomando como base algunos parámetros, como:

- Tipo o jerarquía de carretera.
- Flujo vehicular/cargas/congestionamiento vehicular.
- Tipos de pavimentos.
- Condición del pavimento.
- Longitud de carretera en cada categoría.

Los resultados del ejercicio de planificación son de especial interés para los altos funcionarios, tanto de carácter político como profesional, encargados de formular políticas dentro del sector Transportes. Por lo regular, un grupo de planificación se encargará de realizar este trabajo. Ejemplo: Plan Intermodal de Transportes

b) Programación

La programación involucra preparar programas plurianuales de trabajos y gasto, sujetos a restricciones presupuestales, en los que se identifican y analizan los tramos de la red que probablemente necesiten conservación, mejora o construcción nueva. Se trata de un ejercicio de planificación táctica. Es recomendable llevar a cabo un análisis costo-beneficio para determinar la viabilidad económica de cada grupo de estos trabajos.

En la etapa de programación, la red de carreteras se evalúa ruta por ruta, y se divide cada una de estas en tramos homogéneos de pavimento, en función de sus atributos físicos. Por medio de la programación se generan estimaciones de gastos anuales, bajo partidas presupuestales definidas, para distintos tipos de trabajos y para cada tramo carretero. En la mayoría de las ocasiones, los presupuestos están restringidos, y un aspecto fundamental de la programación es organizar los trabajos por nivel de prioridad, para aprovechar al máximo los recursos limitados.

Una de las aplicaciones más frecuentes es para preparar el presupuesto de un programa de trabajo anual o plurianual, para una red o subred vial. Los profesionales del nivel gerencial de una organización vial suelen encargarse de realizar actividades de programación, posiblemente dentro de un departamento de planificación o conservación. Ejemplo: Plan Quinquenal de Provías Nacional (PVN).

c) Preparación

Esta es la etapa de planificación a corto plazo en la cual se agrupan los proyectos para su implementación. En esta fase, los diseños se preparan y afinan con mayor precisión; se elaboran los listados de cantidades de obra y las cotizaciones, así como las órdenes de trabajo y contratos necesarios para efectuar los trabajos.

Por lo regular se formulan especificaciones y cotizaciones detalladas, y puede ejecutarse un análisis costo-beneficio pormenorizado para confirmar la viabilidad del esquema final.

Es posible agrupar los trabajos programados para tramos carreteros adyacentes mediante la formación de paquetes cuyos alcances permitan que su construcción sea rentable. Las actividades típicas de preparación incluyen el diseño minucioso de:

- Un proyecto de recapeado o refuerzo estructural.
- Trabajos de mejoramiento de la superficie de rodadura.

d) Operaciones

Son tareas que se refieren al trabajo cotidiano de una organización. Por lo regular, las decisiones relacionadas con la gestión de operaciones se toman de manera diaria o semanal, e incluyen la programación del trabajo que se planea realizar, la supervisión de la mano de obra, el equipo y los materiales, el registro del trabajo concluido y el uso de esta información con fines de seguimiento y control.

Las actividades típicamente se concentran en tramos individuales o en sub tramos de una carretera, y las mediciones se toman con cierto nivel de detalle. Es común que las operaciones corran a cargo de personal no profesional, es decir, supervisores de obra, técnicos, encargados, entre otros.

A medida que el proceso de gestión pasa de la fase de planificación a la de operaciones se observará que las necesidades de información van cambiando. En un inicio se necesita solo un resumen general de la información, pero de manera gradual se incrementa el nivel de detalle de los datos requeridos (ver tabla 2).

Ejemplo: Mantenimiento por niveles de servicio de la ruta A – B

Tabla 2:
Cambios en el Proceso de Gestión

Actividad	Horizonte de tiempo	Personal responsable	Cobertura espacial	Nivel de detalle de los datos	Modo de operación modelo
Planificación	Largo plazo (estratégico)	Altos funcionarios y nivel de formulación de políticas	Toda la red	Resumen general	Automática
Programación	Mediano plazo (táctico)	Profesionales de nivel medio	Red o subred	Resumen general	Automática
Preparación	Año presupuestal	Profesionales subalternos	Nivel esquemático/subtramos	Resumen general	Automática
Operaciones	Inmediata/muy corto plazo	Técnicos/ personal no profesional	Nivel esquemático/subtramos	Fino/detallado	Interactiva

Fuente: Paterson y Scullion (1990); Paterson y Robinson (1991)

Cada una de estas funciones se realiza mediante una serie de actividades a la que se conoce como el ciclo de gestión (Robinson et al. 1998).

e) Marco Analítico del HMD-IV

El marco analítico del HDM-4 se basa en el concepto del ‘análisis de la vida útil del pavimento’. Este marco se aplica para predecir, a lo largo de la vida útil de un proyecto de carreteras —que suele durar entre 15 y 40 años—, lo siguiente:

- El deterioro de la vía.
- Los efectos de los trabajos de mantenimiento.
- Los efectos en los usuarios de la vía.
- Efectos socioeconómicos y medioambientales.

Una vez construidas, las vías se deterioran como consecuencia de diversos factores, entre los principales están:

- Las cargas de tráfico
- Los efectos medioambientales
- Los efectos de sistemas de drenaje inadecuados

La tasa de deterioro de una vía está directamente afectada por las políticas de conservación aplicadas a reparar defectos en la superficie del pavimento, como fisuras, desprendimiento de áridos, baches, etc., o a conservar la integridad estructural del pavimento (por ejemplo, tratamientos superficiales, refuerzos, etc.), lo que permite que la carretera soporte el tráfico para el que ha sido diseñada. Las condiciones generales del pavimento a largo plazo dependen de las políticas de mantenimiento o mejora aplicados a la carretera.

La gráfica 2.1 ilustra las tendencias previstas en el rendimiento de pavimentos representadas por la calidad de rodadura, que se suele medir en función del Índice de Regularidad Internacional (IRI). Cuando se define una política de mantenimiento, esta impone un límite al nivel de deterioro al que se permite que llegue el pavimento.

Como consecuencia, además de los costos de capital de la construcción (capex) de carreteras, los costos totales en que incurren los organismos implicados dependerán de las políticas de mantenimiento y de mejora aplicados a las redes de carreteras.

Es esencial hacer notar que la exactitud del rendimiento previsto de los pavimentos depende de la amplitud de la calibración aplicada en la adaptación de los modelos predeterminados del HDM-4 a las condiciones locales.

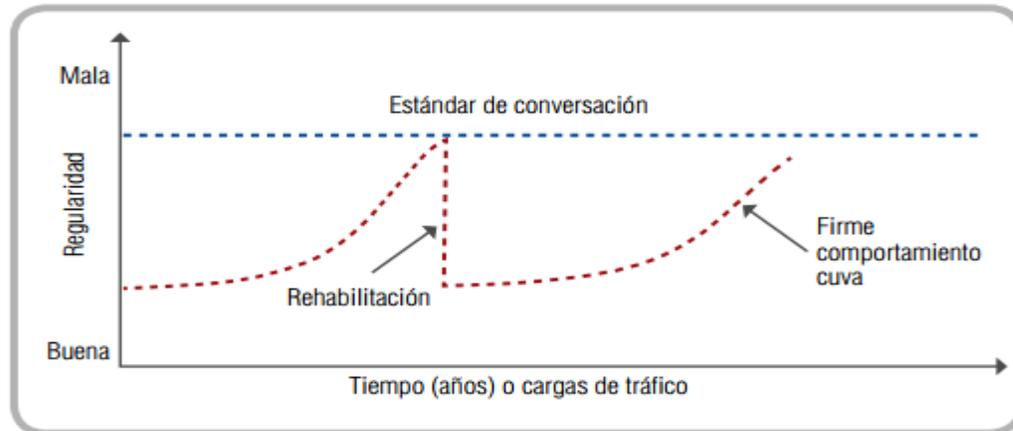


Figura 4: Concepto de Análisis de Ciclo de Vida útil en el HDM-4

FFuente: Ministerio de Economía y Finanzas

Los impactos de la condición de la vía, así como los estándares de diseño de esta sobre los usuarios, se miden en función de costos y otros efectos sociales y medioambientales. Los costos de los usuarios en las vías incluyen:

- Costos de operación de vehículos (combustible, neumáticos, aceite, consumo de repuestos, depreciación y utilización del vehículo, etc.)
- Costo del tiempo de viaje – para pasajeros y carga
- Costos para la economía de los accidentes de tráfico (es decir, pérdida de vidas humanas, lesiones a los usuarios, daños a vehículos y otros componentes de la vía).

Los efectos sociales y medioambientales incluyen emisiones de gases de los vehículos, consumo de energía, ruido del tráfico y otros beneficios sociales a la población a la que dan servicio las vías. Aunque los efectos sociales y medioambientales suelen ser difíciles de cuantificar en términos monetarios, se pueden incorporar en el análisis económico del HDM- 4 si se cuantifican de forma exógena.

Debe notarse que en el HDM-4 los efectos sobre los usuarios se pueden calcular tanto para transporte motorizado (autos, camionetas, buses, camiones, etc.) como para no motorizado (bicicletas, triciclos de tracción humana, carros de tracción animal, etc.). La gráfica 2.2 ilustra el impacto del estado de la carretera (representada en función del IRI) sobre el costo de los

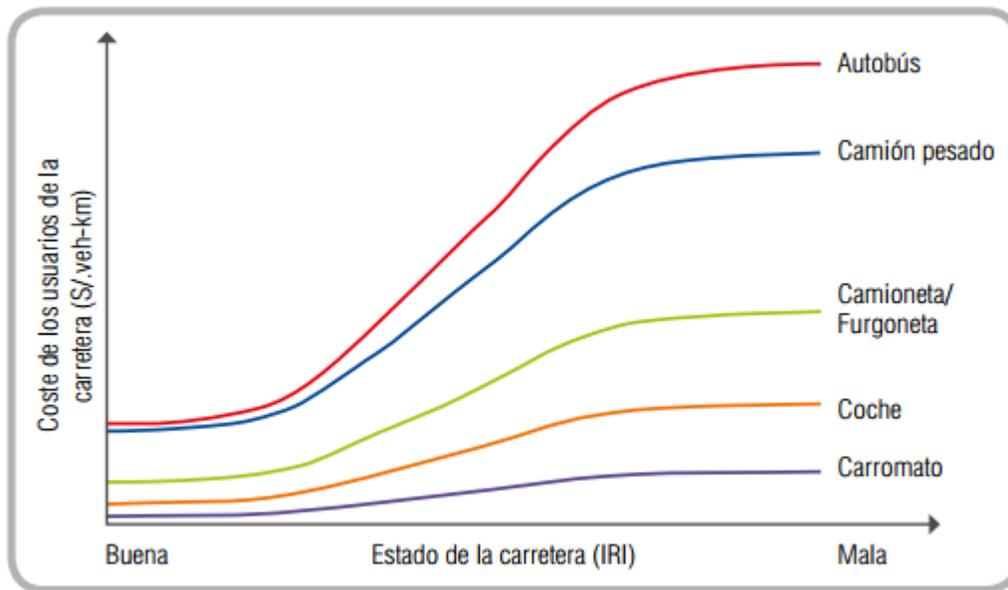


Figura 5: Efecto del estado de la Carretera sobre los costos de operación vehicular para un terreno ondulado. diferentes modos de transporte.

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas

f) Estándar

Los costos de usuarios en el HDM-4 se calculan prediciendo las cantidades físicas de consumo de recursos y multiplicando esas cantidades por los correspondientes costos unitarios de usuarios específicos. Es necesario estar seguro de que las cantidades de recursos de vehículos previstas estén en línea con la gama de valores observados en el área de aplicación. Para más detalles, consultar la “Guía de calibración y adaptación” - Volumen 5 (coordinar con el MTC-OPP).

Los beneficios económicos de las inversiones en carreteras se determinan luego, al comparar los flujos totales de costos para las distintas obras y alternativas de construcción, con

un caso base, que normalmente representa el estándar mínimo de mantenimiento rutinario en la situación sin proyecto. El HDM-4 está diseñado para ejecutar estimaciones de costos comparativos y análisis económicos de diferentes opciones de inversión, y estima los costos de un gran número de alternativas año a año, para un periodo de análisis definido por el usuario.

Todos los costos futuros se descuentan al año base que se especifique.

Para hacer estas comparaciones se necesitan especificaciones detalladas de programas de inversión, estándares de diseño y alternativas de conservación, junto con costos unitarios, volúmenes de tráfico previstos y condiciones medioambientales.

1.7. Definición de términos básicos

- **ASFALTO:** Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo de petróleo.
- **CARRETERA:** Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- **CONCRETO ASFÁLTICO:** Mezcla procesada, compuesta por agregados gruesos y finos, material bituminoso y de ser el caso aditivo de acuerdo a diseño y especificaciones técnicas.
- **DURABILIDAD DEL CONCRETO ASFÁLTICO:** Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación para resistir desintegración por efectos ambientales o de tráfico. Los efectos ambientales incluyen cambios en las características del asfalto, tales como oxidación y/o volatilización y en el agregado debido a la acción del agua, incluyendo congelamiento y deshielo.

- **FIBRA DE ACERO:** Armadura muy efectiva en la realización de pavimentos, losas y en muchas de las aplicaciones del hormigón proyectado, fabricadas a partir de alambre trefilado, de acero bajo en carbono y caracterizadas por su elevado límite elástico (800-1500 Mpa), permiten habitualmente sustituir por completo el armado tradicional del hormigón a base de mallazos y acero corrugado.
- **HDM:** Modelo de transportes del Banco Mundial para la evaluación técnica y económica de inversiones y mantenimiento de carreteras.
- **MANTENIMIENTO PERIÓDICO:** Conjunto de actividades programables cada cierto periodo, que se realizan en las vías para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a: i) reposición de capas de rodadura, colocación de capas nivelantes y sello, ii) reparación o reconstrucción puntual de capas inferiores del pavimento, iii) reparación o reconstrucción puntual de túneles, muros, obras de drenaje, elementos de seguridad vial y señalización, iv) reparación o reconstrucción puntual de la plataforma de carretera y v) reparación o reconstrucción puntual de los componentes de los puentes tanto de la superestructura como de la subestructura.
- **MANTENIMIENTO RUTINARIO:** Conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de derrumbes de pequeña magnitud; así como, limpieza o reparación de juntas de dilatación, elementos de apoyo, pintura y drenaje en la superestructura y subestructura de los puentes.

- **MANTENIMIENTO VIAL:** Conjunto de actividades técnicas destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario, puede ser de naturaleza rutinaria o periódica.
- **PAVIMENTO FLEXIBLE:** Constituido con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos.
- **SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS (SINAC):** Conjunto de carreteras conformantes de la Red Vial Nacional, Red Vial Departamental o Regional y Red Vial Vecinal o Rural. Provias (2008).

1.8. Formulación de la hipótesis

1.8.1. Planteamiento de la hipótesis.

Hipótesis de investigación

El Uso de Fibras de Acero 4D brindará la alternativa para el diseño y construcción de pavimentos, mejorando sus características aumentando su tiempo de vida utilizando como herramienta de software la metodología de desgaste HDM4.

Hipótesis de Nula

El Uso de Fibras de Acero 4D en pavimentos, utilizando la herramienta de software la metodología de desgaste HDM4, no aumentará el tiempo de vida útil en pavimentos.

1.8.2. Variables

- Por su Relación: **VARIABLE INDEPENDIENTE**, no estará sujeta a otra variable, solo se analizará los parámetros medidos.
- Por su Naturaleza: **VARIABLE CUANTATIVA**, los valores obtenidos de parámetros estructurales y funcionales del pavimento son susceptibles a ser



medidos.

- Por su escala de Medición: **RAZÓN**, por ser cuantitativa y tener un parámetro de medición base (El estado ideal de un pavimento marcado por el valor que tome de IRI)
- Por sus Dimensiones: **UNIDIMENSIONAL**, debido a que al ser afectado por el factor de fibras se va a obtener parámetros estructurales y se serviciabilidad al usuario.
- Por su forma de Medición: **INDIRECTA**, al tenerse valores de tráfico proyectados, factores de desgaste y la utilidad de una metodología HDM-4, se mide indirectamente los parámetros observados



Material y Métodos

2.1. Material:

a) Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad
1. Bienes		
Materiales de Escritorio		
Bolígrafos	Unidad	2
Lápices	Unidad	1
Corrector	Unidad	1
Resaltador	Unidad	2
Papel Bond A4	Millar	1
USB	Unidad	2
Fólder Manila	Docena	1
Borrador	Unidad	1
Clips	Docena	1
Engrapador	Unidad	1
Grapas	Caja	1
Perforador	Unidad	1
Soporte Informático		
Laptop	Unidad	1
Impresora	Unidad	1
CD's	Unidad	1
Cartuchos de tinta	Unidad	2
Impresos		
Revistas, Libros Tesis		
Documentos		
2. Servicios		
Movilidad		
Fotocopiado		
Empastado		

Anillado

Internet

- b) Humano.
- c) Servicios.
- d) Otros

2.2. Material de estudio

2.2.1. Población.

En la presente Investigación se va a evaluar el comportamiento de un Pavimento Flexible mejorado con fibras de acero 4D, en 2.20 Km de Pavimento Flexible Perimetral y 295.498,99 m², que abarca la Urbanización de San Isidro, Trujillo, La Libertad, donde se encontrará tramos de interés a analizar en el estudio.

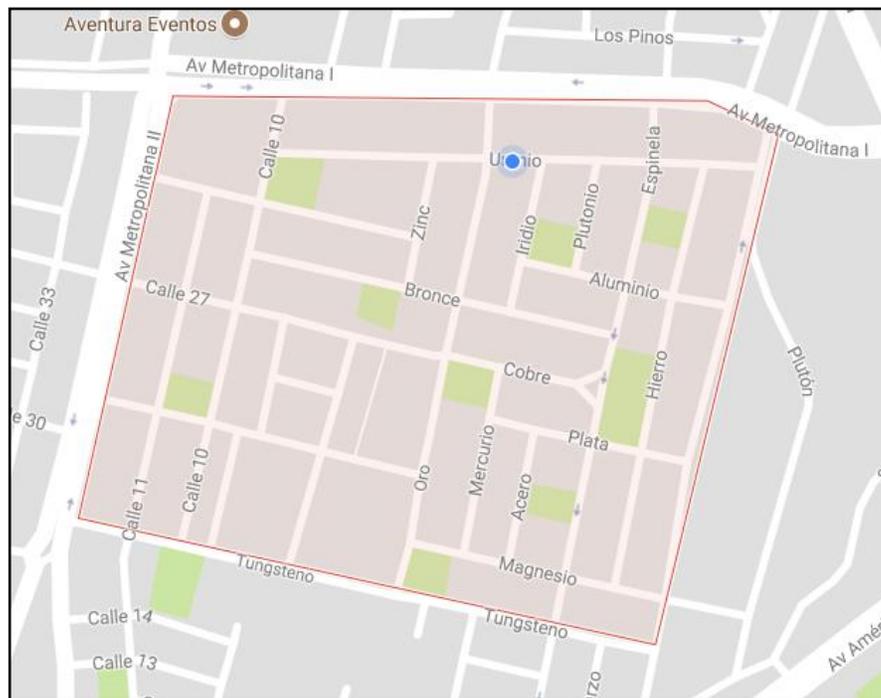


Figura 6: Ubicación del área de Investigación
Fuente: Googlemaps.org

2.2.2. Muestra.

Para realizar la investigación de forma correcta, en función a la evaluación del terreno m se procederá a realizar el estudio de mecánica de suelos, de los 295.498,99 m² de área de terreno que abarca la urbanización San Isidro, Trujillo, La Libertad, por lo cual se realizarán la cantidad de puntos de estudio según la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos indica:

TIPO DE VÍA	NÚMERO MÍNIMO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN	ÁREA (m ²)
Expresas	1 cada	2000
Arteriales	1 cada	2400
Colectoras	1 cada	3000
Locales	1 cada	3600

Tabla 3. Norma C.E. 010
Fuente: CE.010 Pavimentos Urbanos

El número de puntos de investigación para urbanizaciones es 1 punto por cada 3600 m², por lo cual en la Urbanización a analizar tendríamos 81 Puntos de Control.

Técnica de muestreo:

MUESTRA	<ul style="list-style-type: none"> •Puntos de investigacion de Tráfico •81 Puntos de Control
NO PROBABILISTICA	<ul style="list-style-type: none"> •No es un producto de un proceso de selección aleatoria •Una muestra no probabilística generalmente son seleccionados en función de su accesibilidad o a criterio personal e intencional del investigador.
JUICIO DE EXPERTO	<ul style="list-style-type: none"> •Porque nos regimos al la normal CE0.010 Pavimentos Urbanos, como base para determinar la muestra para la investigacion.

2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos

2.3.1. Para recolectar datos.

a) Fundamento de Guía de Observación (Metodología Vizir)

La metodología de auscultación francesa VIZIR, la cual permiten realizar la evaluación de las condiciones superficiales de los pavimentos asfálticos, y mediante experiencias recolectadas en la Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos asfálticos en carreteras a fin de establecer posibles actividades de intervención.

Este informe busca en base a la posible información recolectada en una inspección visual mediante la metodología VIZIR determinar el estado de deterioro de un pavimento flexible, esto permitirá estudiar el comportamiento estructural y funcional del mismo, para poder dar una primera propuesta de las estrategias de intervención a evaluar por el especialista en pavimentos. Teniendo como Guía lo que se denomina “ESQUEMA ITINERARIO” a fin de recoger los 3 valores necesario para el análisis de pavimentos: Tipo de Falla, Intensidad y Extensión. (Julio Guevara Jaramillo, 2007)

		CARRERA : EJEMPLO	FECHA :	
		SECTOR : EJEMPLO	PR :	A PR :
		0 100 200 300 400 500 600 700 800 900	SI	A PR
CONDICION SUPERFICIAL	DAÑOS	Deformación		
		Fisuración longitudinal		
		Fatiga		
		Parcheo/Reparación		
		Fisura longitudinal de junta		
		Pérdida película de ligante		
	SUPERFICIALES	Pérdida de agregado		
		Ojos de pescado		
		Índice de Fisuración If		
		Índice de Deformación Id		
	Índice de Deterioro Is			
	IRI			
	m/Km			
	CRD			
CONDICION ESTRUCTURAL		250		
		225		
		200		
		175		
		150		
		125		
		100		
		75		
		50		
		25		
	0			
	ESTRATIGRAFIA			
	(cm)			
	<input type="checkbox"/> CAPAS ASFALTICAS			
	<input type="checkbox"/> GRANULARES			
	CONDICION DEL DRENAJE			

b) Procedimiento de recolección de datos

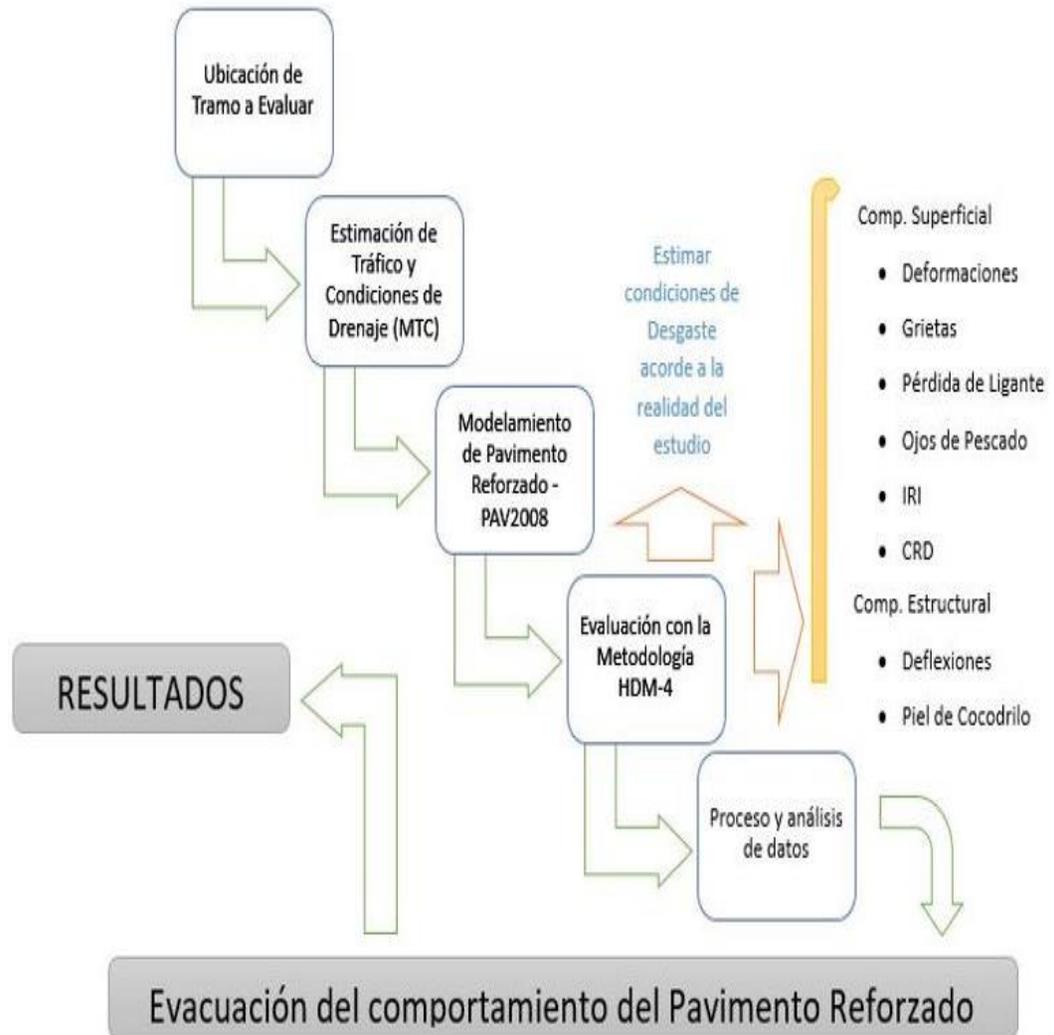


Figura 7. Procedimiento de recolección de datos
Fuente: CE.010 Pavimentos Urbanos

c) GUÍA

• Tráfico

Referencias para estudio de tráfico, señalización de incidencia de vehículos en función de la velocidad de circulación.

- **Comportamiento Superficial**

- a. **Deformaciones**

DETERIORO:	3. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.1 Deformaciones a) Rodera	
DESCRIPCION	Deformación del perfil transversal por hundimiento a lo largo de las rodadas, con la aparición de cordones laterales a cada lado de la rodera.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Profundidad máxima de la rodera, medida a partir de una regla colocada transversalmente cada 100 m o más.	
	LIGERO < 2 cm	
	2 cm < MEDIO < 4 cm	
	4 cm < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Aisladamente rellenar la rodera en mantenimiento rutinario.
	MEDIO:	Rellenar la rodera en forma continua en mantenimiento rutinario.
	FUERTE:	Fresar la capa de rodadura (carpeta) y sustituirla en la banda de circulación afectada.
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de ligantes (asfalto) blandos. • Dosificación del ligante (asfalto) en exceso. • Uso de áridos (agregados) redondeados. • Compactación o calidad deficiente de la base. 	

b. Ojos de Pescado

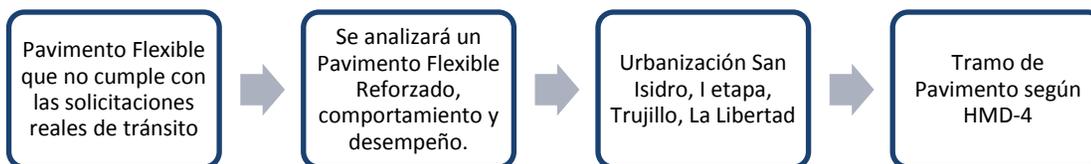
DETERIORO:	3. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.1 Deformaciones c) Baches profundos	
DESCRIPCION	Hundimiento local de la calzada, con agrietamiento en malla cerrada y generalmente pérdida parcial de bloques de la capa de rodadura (carpeta).	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100 m, con hundimiento mayor que 2 cm, medidos a partir de una regla de 3 m.	
	LIGERO < 1 %	
	1 % < MEDIO < 10 %	
	10 % < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario. Bacheo
	MEDIO:	Tratamiento aislado y nueva capa de rodadura (carpeta) para refuerzo en el tramo afectado.
	FUERTE:	Recuperación de la capa de rodadura y base para estabilización en 15 ó 20 cm. Agregar nueva capa de rodadura del espesor necesario.
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura inadecuada. • Defecto constructivo aislado. • Subdrenaje inadecuado. 	

- **Comportamiento Estructural**

a. Grietas por Fatiga (Piel de Cocodrilo)

DETERIORO:	3. DETERIOROS DE LA ESTRUCTURA 3.2 Agrietamientos c) Piel de cocodrilo (malla cerrada)	
DESCRIPCION	Roturas longitudinales y transversales, con separación menor que 15 cm, y con abertura creciente según avanza el deterioro. Generalmente presenta hundimiento del área afectada.	
IMAGEN O ASPECTO SUPERFICIAL		
EVALUACION	Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m.	
	LIGERO < 10 %	
	10 % < MEDIO < 50 %	
	50 % < FUERTE	
FRONTERA Y TIPO DE INTERVENCION	LIGERO:	Lechada superficial en cada área afectada.
	MEDIO:	Lechada superficial en todo el tramo.
	FUERTE:	Recuperación de la capa de rodadura (carpeta) y parte de base para estabilización como refuerzo. Nueva capa de rodadura
CAUSAS COMUNES	<ul style="list-style-type: none"> • Incompatibilidad de deflexiones con el espesor de la capa de rodadura (carpeta). • Subdrenaje inadecuado en sitios aislados. • Uso de ligantes (asfaltos) muy duros. 	

2.3.2. Para procesar datos.



A) Método de procedimiento de análisis de datos

Estos métodos nos permiten describir ciertos fenómenos como el Análisis de un modelamiento de Pavimento Flexible adicionado con fibras, mencionada en la tesis de carácter DESCRIPTIVA y NO EXPERIMENTAL en la zona de Urbanización San Isidro I etapa, Trujillo, La Libertad.

a. Metodología de Análisis HDM 4

En el HDM-4 existen dos opciones de análisis de inversiones a nivel de proyecto:

Análisis por Tramos

En el análisis por tramos, cada uno de ellos elegidos para el proyecto, se estudian por separado. Las alternativas pueden definirse para cada tramo (por ejemplo, políticas de mantenimiento y/o mejoramiento), tal como se muestra en el cuadro 4.1 (por ejemplo, tres alternativas para el tramo A, cuatro alternativas para el tramo B, etc.), con una alternativa diseñada por el usuario como alternativa base contra la cual las otras alternativas se compararán. Los indicadores económicos (VAN, TIR y B/C) se calculan para cada tramo alternativo.

Tramo de carretera	Alternativas por tramo				
	1 Alternativa base	2	3	4	5
Tramo A	Mant. Rut.	Sello	Recapa		
Tramo B	Mant. Rut.	Recapa	Reconstr.	Ensanche	
Tramo C	Mant. Rut.	Sello	Rehabilit.	Añadir carril	Realignar
Tramo D	Perfilado c/año	Colocac. grava	Pavimentación		

Tabla 4. Análisis por tramo

Análisis por Proyecto

En el análisis por proyecto, un ‘proyecto’ se define como el conjunto de obras viales que se llevarán a cabo en uno o más tramos de carretera, las cuales se pueden agrupar convenientemente para ser llevadas a cabo como un solo contrato. Se pueden analizar varias alternativas del proyecto para determinar, por ejemplo, cuál es el más rentable. Una alternativa de proyecto puede constar de diferentes opciones de trabajos aplicados a las distintas secciones o tramos que componen el proyecto, como se muestra en el cuadro 4.2.

Usando este método, los tramos de carretera se analizan juntos como un paquete, al considerar las alternativas del proyecto como la unidad básica para realizar el análisis económico.

En primer lugar, los costos y beneficios anuales se suman para todos los tramos dentro de cada alternativa de proyecto para obtener los totales anuales. Los indicadores económicos se calculan para cada alternativa en comparación con la alternativa base.

Tramo de carretera	Alternativa de proyecto			
	1 Alternativa base	2	3	4
	Mant. Rut.	Sello	Reconst.	Realineam.
Tramo B	Mant. Rut.	Recapa	Escar./recapa	Ensanche
Tramo C	Mant. Rut.	Sello	Reconstr.	Añadir carril
Tramo D	Perfilado c/año	Colocac. grava	Ensanche	Mejoramiento
Σ VAN	0	Σ VAN	Σ VAN	Σ VAN

Tabla 5. Análisis por Proyecto

B) Instrumento de análisis de datos

Para la tesis “Análisis de Pavimento Flexible adicionado con fibras de acero 4D, con la metodología HDM-4”, se usará gráficos de líneas con el fin de poder mostrar el Índice de Comportamiento del Pavimento (PCI) o el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y su respectiva variación en el tiempo de vida útil estimada.

METODOLOGÍA VIZIR VS. PCI



Ver anexos:

- Valores Adecuados para IRI (Anexo 3)
- Formato de Inspección Visual para PCI (Anexo 4)
- Formato de levantamiento de fallas con metodología VIZIR (Anexo 5)
- Gráfica de Índice de condición del Pavimento (PCI). (Anexo 6)
- Gráfica de Índice de Deterioro Superficial (VIZIR) (Anexo 6)



DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL (Is) APLICANDO LA METODOLOGÍA VIZIR																											
Nombre de Vía: Urbanización de San Isidro, Trujillo, La Libertad						Longitud de tramo: 200.00 m																					
Evaluado por: CRISPIN SANTOS, Daniel Gonzalo						Área de tramo: 295.498,99 m ²																					
Punto Inicial: 0+000.00																											
Punto Final: 0+200.00																											
FALLAS TIPO A						FALLAS TIPO B																					
NOMBRES DE FALLAS			CÓDIGO	UNIDAD		NOMBRES DE FALLAS			CÓDIGO	UNIDAD																	
Ahuellamiento			AH	m ²		Fisura longitudinal de junta de construcción			FLJ	m																	
Depresiones o hundimientos longitudinales			DL	m ²		Fisura transversal de junta de construcción			FT J	m																	
Depresiones o hundimientos transversales			DT	m ²		Fisuras de contracción térmica			FCT	m																	
Fisuras longitudinales por fatiga			FLF	m		Fisuras parabólicas			FP	m																	
Fisuras piel de cocodrilo			FPC	m ²		Fisura de borde			FB	m																	
Bacheos y parcheos			B	m ²		Ojos de pescado			O	und																	
						Desplazamiento o abultamiento			DM	m																	
						Pérdida de la película de ligante			PL	m ²																	
						Pérdida de agregados			PA	m ²																	
						Descascaramiento			D	m ²																	
						Pulimento de agregados			PU	m ²																	
						Exudación			EX	m ²																	
						Afloramiento de mortero			AM	m ²																	
						Afloramiento de agua			AA	m ²																	
						Desintegración de los bordes del pavimento			DB	m ²																	
						Escalonamiento entre calzada y berma			ECB	m																	
						Erosión de las bermas			EB	m																	
						Segregación			S	m ²																	
PARÁMETROS DE EVALUACIÓN																											
TIPO DE FALLA	FALLA	CANTIDADES PARCIALES							TOTAL	GRAVEDAD	EXTENSIÓN (%)																
Tipo B	DB	1.05	0.75	0.64	1.69				4.13	2	1.38%																
Tipo B	PL	1.18							1.18	2	6.00%																
Tipo B	O	1.00							1.00	2	0.33%																
Tipo B	D	0.72							0.72	1	0.24%																
Tipo A	FPC	1.21							1.21	3	0.40%																
Tipo A	DL	1.21							1.21	3	0.40%																
Tipo A	B	1.21							1.21	3	0.40%																
Tipo A	FPC	1.21							1.21	3	0.40%																
Tipo A	FLP	1.21							1.21	3	0.40%																
Tipo B	S	1.18							1.18	2	6.00%																
Tipo B	EP	1.23							1.23	2	0.33%																
Tipo B	D	0.72							0.72	1	0.24%																
CÁLCULO DEL ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ÍNDICE DE FISURACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRAVEDAD</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>EXTENSIÓN (%)</td> <td>0.40%</td> </tr> <tr> <td>If</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>						ÍNDICE DE FISURACIÓN		GRAVEDAD	3	EXTENSIÓN (%)	0.40%	If	3	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ÍNDICE DE DEFORMACIÓN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>GRAVEDAD</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>EXTENSIÓN (%)</td> <td>0.00%</td> </tr> <tr> <td>Id</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>						ÍNDICE DE DEFORMACIÓN		GRAVEDAD	0	EXTENSIÓN (%)	0.00%	Id	0
ÍNDICE DE FISURACIÓN																											
GRAVEDAD	3																										
EXTENSIÓN (%)	0.40%																										
If	3																										
ÍNDICE DE DEFORMACIÓN																											
GRAVEDAD	0																										
EXTENSIÓN (%)	0.00%																										
Id	0																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Is</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>CALIFICACIÓN</td> <td>Marginal</td> </tr> </tbody> </table>						ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL		Is	3	CALIFICACIÓN	Marginal																
ÍNDICE DE DETERIORO SUPERFICIAL																											
Is	3																										
CALIFICACIÓN	Marginal																										

2.4. Operacionalización de variables.

VARIABLE	DEF. CONCEPTUAL	DEF. OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Análisis de Pavimento Flexible con la adición de fibra metálica 4D	Análisis de estructura construida sobre la sub rasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y carpeta de rodadura. En este caso reforzado con Fibras 4D.	Análisis funcional y estructural en el horizonte de evaluación al paquete estructural el cual ha sido reforzado con fibras, ganando mejoras en sus propiedades reológicas y de confort al usuario.	Desgaste del Pavimento	Tránsito Proyectado de Diseño
			Agrietamiento por Fatiga	Análisis Estructural Multicapa de Deformaciones
			Tiempo Adecuado de Intervención	Análisis HMD-4 para tiempo de rehabilitación y Mejoramiento
			Parámetros Estructurales	Análisis de Capas para propiedades reológicas
			Parámetros Funcionales	Análisis de Capa de Desgaste

Resultados

3.1. Deflectometría

3.1.1. Deflectometría Actual

DISTANCIA (m)	DEFLECCIÓN ACTUAL (mm)	MÓDULO DE ELASTICIDAD		MÓDULO DE POISSON
		(Mpa)	(kg/cm ²)	
10	29.34	172315.75	16898.34	0.37
20	32.54	168867.09	16560.14	0.39
30	31.12	167579.94	16433.92	0.45
40	27.20	167445.31	16420.71	0.33
50	33.14	169851.81	16656.71	0.40
60	32.57	167637.56	16439.57	0.35
70	28.57	171910.63	16858.61	0.33
80	36.40	167977.30	16472.88	0.36
90	27.89	177283.30	16404.83	0.42
100	33.49	167448.86	16421.06	0.39
110	31.80	167183.68	16769.08	0.38
120	31.23	170997.70	16628.17	0.43
130	30.98	169560.81	16804.03	0.38
140	27.14	171354.05	16583.08	0.41
150	30.68	169100.99	16497.01	0.43
160	28.98	164898.73	16538.12	0.32
170	27.84	165682.00	16499.95	0.37
180	31.75	169735.70	16521.76	0.48
190	29.11	178934.25	17783.56	0.42
200	35.56	175875.86	16956.76	0.36

3.1.2. Deflectometría a 10 y 20 años.

Según la metodología HDM IV se tuvo 2 tramos de evaluación en concordancia con la evaluación de Pavimentos Sistema Vizir y el Propuesto con el MTC, se tiene la nomenclatura C1A (Asphalt Low) y C2A (Asphalt Low) la cual abarcan los tramos 0+000.00 – 0+100.00 y 0+100.00 – 0+200.00 respectivamente; así como tener horizontes de evaluación de 10 y 20 años, la vida útil típica proyectada en pavimentos flexibles.

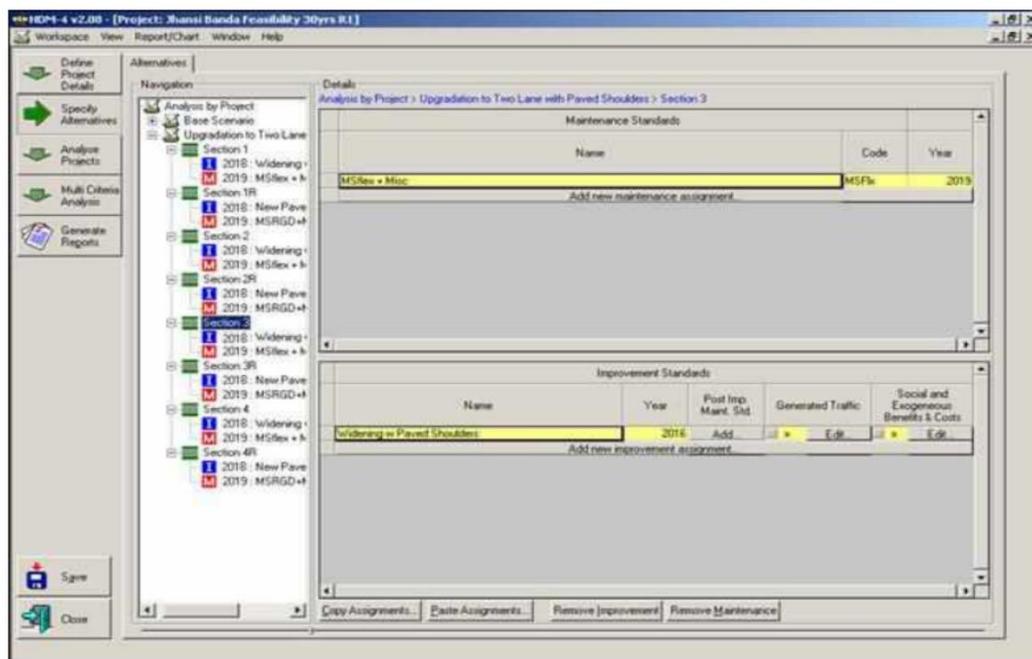


Figura 10: Modelo de Análisis a 10 y 20 años

Fuente: Software HDM IV

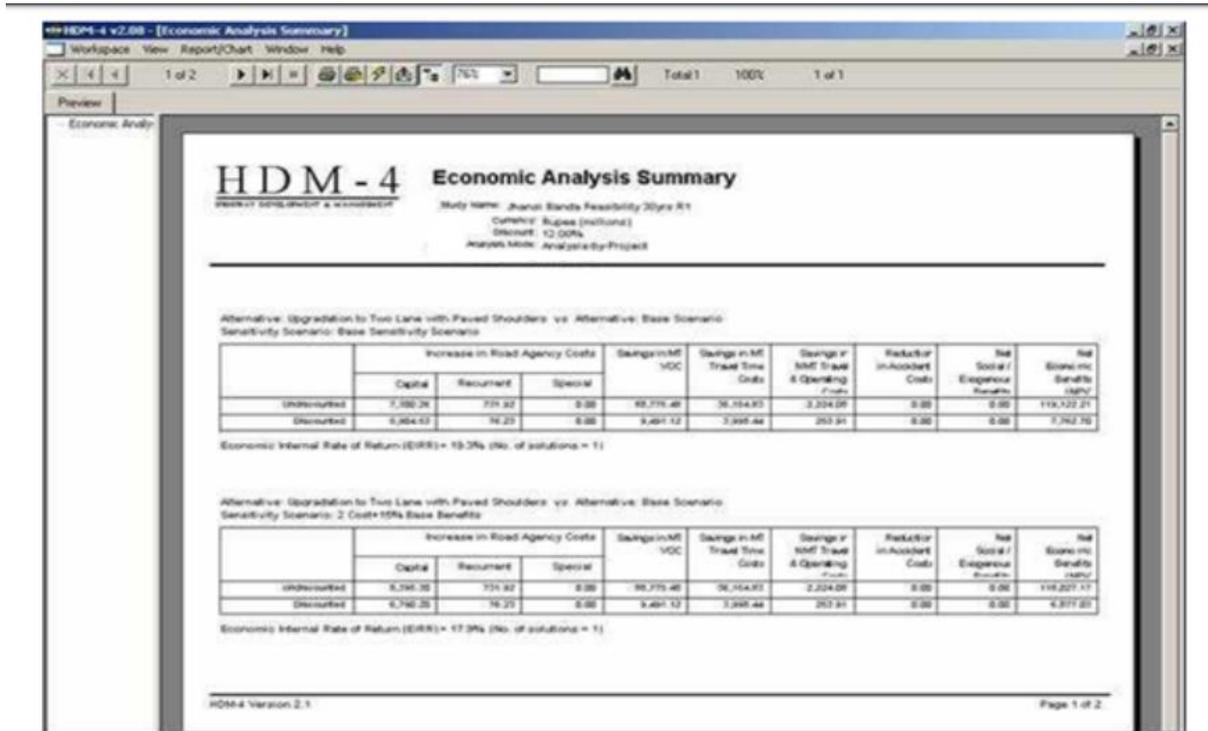


Figura 11: Esquema del Costo Económico.6

Fuente: Software HDM IV



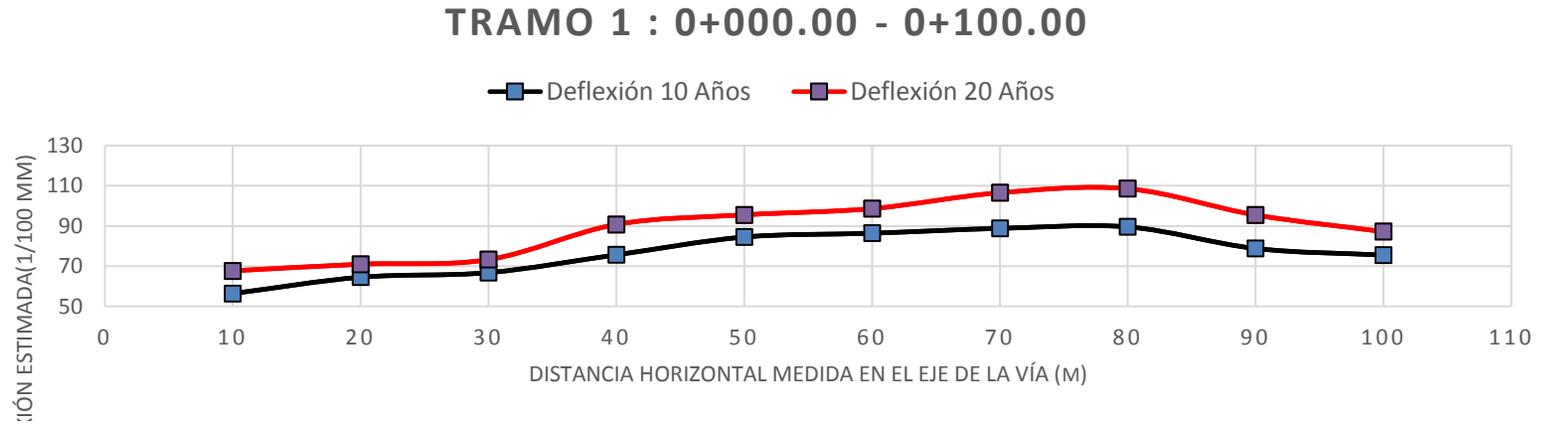
Tabla 6:
Deflexión a 10 y 20 años en 1/100 mm.

Distancias(m)	Deflexión 10 Años (1/100 mm)	Deflexión 20 Años (1/100 mm)
10	56.4	67.68
20	64.52	70.98
30	66.8	73.26
40	75.65	90.78
50	84.5	95.54
60	86.4	98.65
70	88.8	106.56
80	89.56	108.56
90	78.8	95.47
100	75.5	87.19
110	75.6	82.85
120	72.5	80.65
130	70.98	81.56
140	69.5	83.547
150	70.5	83.56
160	69.48	85.6
170	65.48	80.94
180	65.49	79.5
190	65.84	79.008
200	64.89	75.5

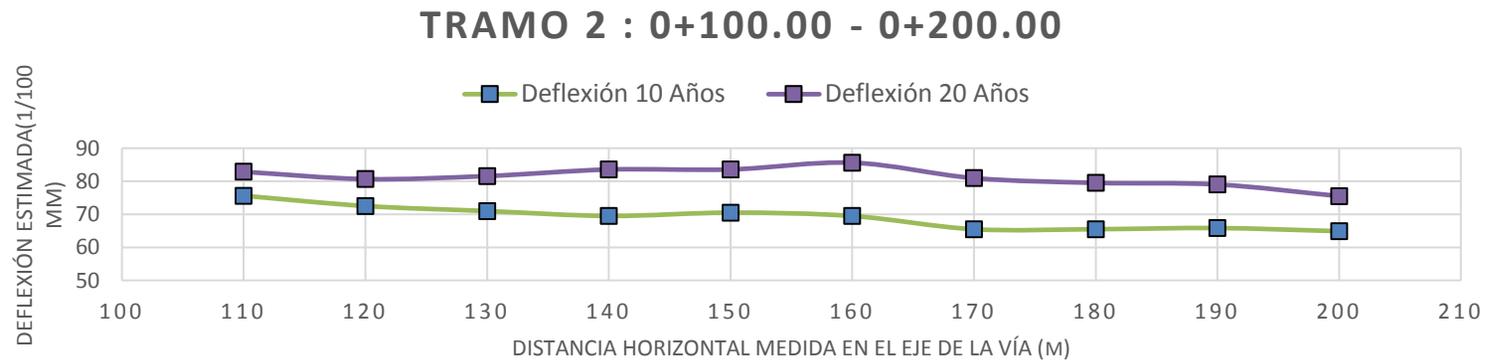
Fuente: Software HDM IV



Tramo 1: 0+000.00 – 0+100.00



Tramo 2: 0+100.00 – 0+200.00r



3.2. Índice de rugosidad internacional (IRI)

3.2.1. Índice de rugosidad internacional (Actual)

Distancias (m)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
IRI Actual (m/Km)	2.10	1.90	2.19	2.40	2.38	2.28	2.29	2.35	2.31	2.26	2.42	2.33	2.48	2.27	2.11	2.31	2.16	2.13	2.17	2.26

3.2.2. Índice de rugosidad internacional (10 y 20 años)

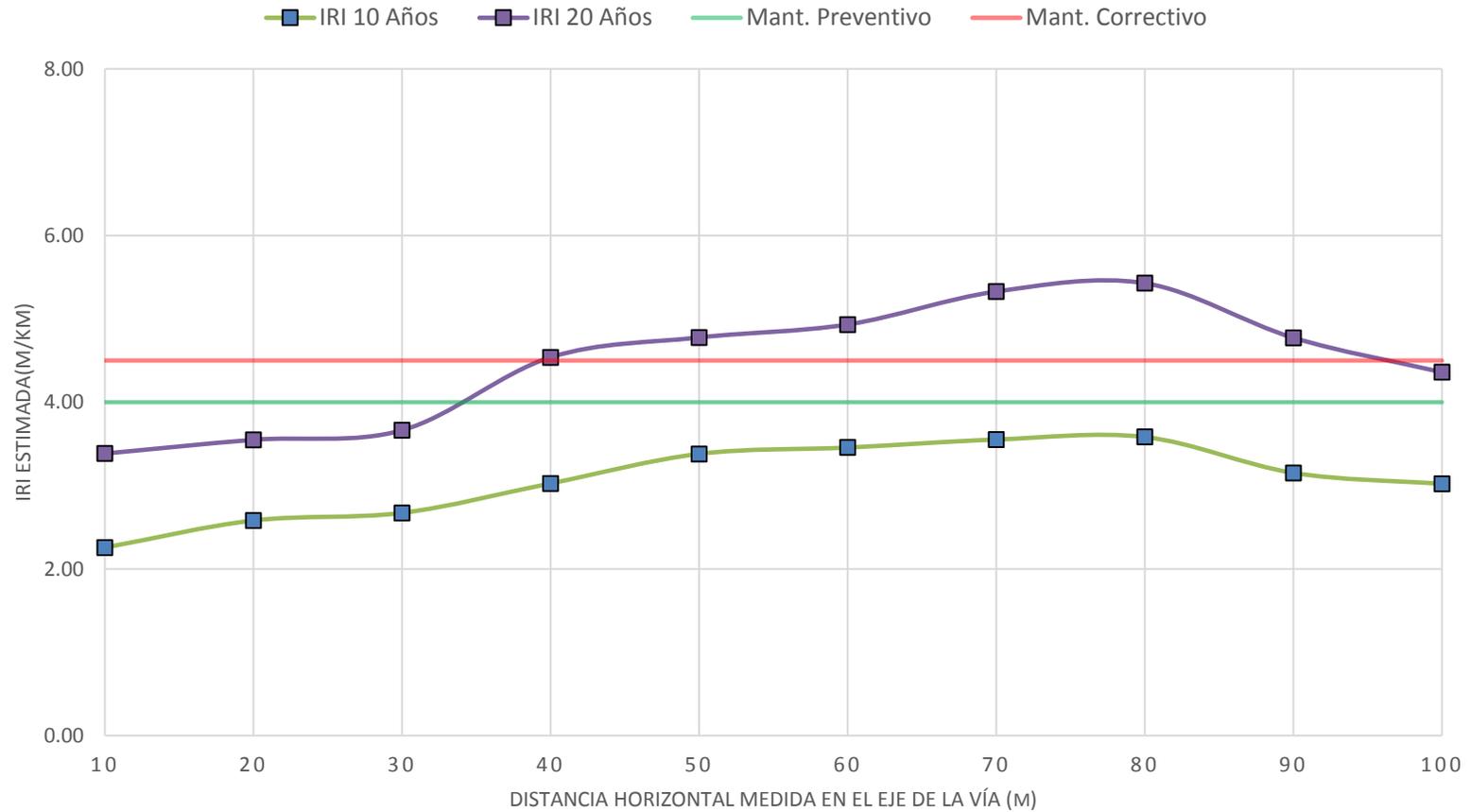
Para el método HDM IV existe 2 tramos de evaluación acorde con la evaluación de Pavimentos Sistema Vizir y el propuesto por MTC, La nomenclatura C1A (Asphalt Low) y C2A (Asphalt Low), abarcan tramos 0+000.00 – 0+100.00 y 0+100.00 – 0+200.00 teniendo horizontes de evaluación de 10 y 20 años, vida útil típica proyectada en pavimentos flexibles. El Autor Mg. Ing. Wilfredo Gutiérrez Lazares y la Sección Manual Suelos y Pavimentos del MTC tenga valores de mantenimiento Preventivo y Correctivo a un valor de IRI de 4.0 y 4.5.

Distancias (m)	IRI 10 Años (m/Km)	IRI 20 Años (m/Km)	Mantenimiento Preventivo IRI	Mantenimiento Correctivo IRI
10	2.26	3.38	4	4.5
20	2.58	3.55	4	4.5
30	2.67	3.66	4	4.5
40	3.03	4.54	4	4.5
50	3.38	4.78	4	4.5
60	3.46	4.93	4	4.5
70	3.55	5.33	4	4.5
80	3.58	5.43	4	4.5
90	3.15	4.77	4	4.5
100	3.02	4.36	4	4.5
110	3.02	4.14	4	4.5
120	2.90	4.03	4	4.5
130	2.84	4.08	4	4.5
140	2.78	4.18	4	4.5
150	2.82	4.18	4	4.5
160	2.78	4.28	4	4.5
170	2.62	4.05	4	4.5
180	2.62	3.98	4	4.5
190	2.63	3.95	4	4.5
200	2.60	3.78	4	4.5



Tramo 1: 0+000.00 – 0+100.00

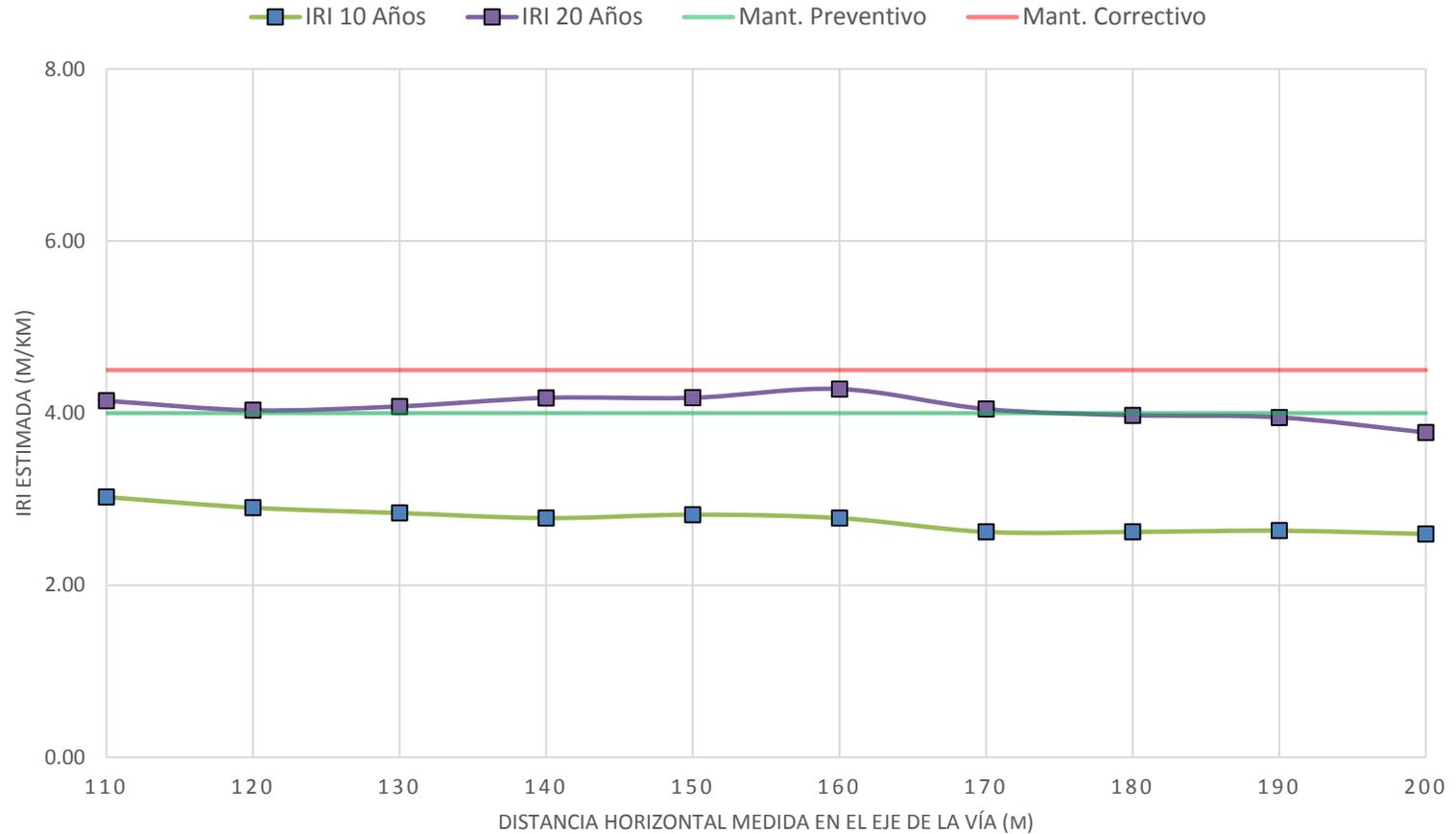
TRAMO 1 : 0+000.00 - 0+100.00





Tramo 2: 0+100.00 – 0+200.00

TRAMO 2 : 0+100.00 - 0+200.00



3.3. Costo económico en horizonte de evaluación (10 y 20 años)

Etapa Actual

Año	Tramo	Extensión (m)	Descripción de Trabajo	Código	Costo Económico	Cantidad	
2018	C1A (Asphalt Low)	Start	0+000.00	Miscellaneous	MI	S/. 20,000.00	0.100 Km
		Mid	0+050.00	Drainage	DR	S/. 10,500.00	
		End	0+100.00	25 mm Reseal	DT	S/. 65,000.00	
	C2A (Asphalt Low)	Start	0+100.00	Miscellaneous	MI	S/. 17,500.00	0.100 Km
		Mid	0+150.00	Drainage	DR	S/. 7,500.00	
		End	0+200.00	25 mm Reseal	DT	S/. 45,000.00	

Etapa Estimada 1 (10 años)

Año	Tramo	Extensión (m)	Descripción de Trabajo	Código	Costo Económico	Cantidad	
2028	C1A (Asphalt Low)	Start	0+000.00	Miscellaneous	MI	S/. 22,000.00	0.100 Km
		Mid	0+050.00	Drainage	DR	S/. 13,125.00	
		End	0+100.00	25 mm Reseal	DT	S/. 75,250.00	
	C2A (Asphalt Low)	Start	0+100.00	Miscellaneous	MI	S/. 19,875.00	0.100 Km
		Mid	0+150.00	Drainage	DR	S/. 9,375.00	
		End	0+200.00	25 mm Reseal	DT	S/. 56,250.00	

Etapa Estimada 2 (20 años)

Año	Tramo	Extensión (m)	Descripción de Trabajo	Código	Costo Económico	Cantidad	
2038	C1A (Asphalt Low)	Start	0+000.00	Miscellaneous	MI	S/. 30,000.00	0.100 Km
		Mid	0+050.00	Drainage	DR	S/. 15,750.00	
		End	0+100.00	25 mm Reseal	DT	S/. 80,500.00	
	C2A (Asphalt Low)	Start	0+100.00	Miscellaneous	MI	S/. 21,250.00	0.100 Km
		Mid	0+150.00	Drainage	DR	S/. 11,250.00	
		End	0+200.00	25 mm Reseal	DT	S/. 67,500.00	



Discusión

4.1. Deflectometría

En el gráfico Tramo 1: 0+000.00 – 0+100.00, para una proyección a 20 años más se encontró que se tiene en la progresiva 0+080.00 m el valor de deflexión característica máxima de 1.10 mm (110 x 1/100 mm.) siendo este punto, uno de curvatura del pavimento en la cual se produce una acumulación de esfuerzos de tracción en la capa inferior de la cara del pavimento flexible, teniéndose también que la deformación característica mínima de 0.70 mm (70 x 1/100 mm.). En todo caso ambos valores de deflexión se encuentran en los rangos Admisibles según CONREVIAl y el MTC que recomienda un valor menor de 2.00 mm para pavimentos flexibles, demostrándose que en el tramo C1A no se va a presentar problemas funcionales ni estructurales.

En el gráfico Tramo 2: 0+100.00 – 0+200.00, para una proyección a 20 años más se encontró que se tiene en la progresiva 0+080 m el valor de deflexión característica máxima de 0.85 mm (85 x 1/100 mm.) siendo este punto, uno de curvatura del pavimento en la cual se produce una acumulación de esfuerzos de tracción en la capa inferior de la cara del pavimento flexible, teniéndose también que la deformación característica mínima de 0.65 mm (65 x 1/100 mm.). En todo caso ambos valores de deflexión se encuentran en los rangos Admisibles según CONREVIAl y el MTC que recomienda un valor menor de 2.00 mm para pavimentos flexibles, demostrándose que en el tramo C2A no se va a presentar problemas funcionales ni estructurales.

4.2. Índice de rugosidad internacional

En el gráfico Tramo 1: 0+000.00 – 0+100.00 se tiene el tramo más sobre esforzado al tenerse en este una mayor cantidad de curvas, significando así que se tiene una menor



velocidad de tráfico lo cual se traduce en un mayor desgaste en la capa de rodadura de tramo C1A, de forma que se empieza con un valor de IRI de 2.26 m/Km para un horizonte de evaluación de 10 años y de 3.38 m/km para un horizonte de evaluación de 20 años. De esta forma se tiene que en los primeros 40 metros del tramo y los 10 metros finales no se requiere ningún tipo de mantenimiento preventivo o correctivo, el tramo 0+040.00 a 0+090.00 se encuentra sobre esforzado para un tiempo de vida útil de 20 años requiriendo de esta forma un mantenimiento Correctivo en dicho tramo localizado, mientras que para el mismo tramo y en un tiempo de vida útil aún cuenta con valores adecuados de IRI, permitiéndole así cumplir con los parámetros de estimación para una adecuada circulación del área usuaria.

En el gráfico Tramo 2: 0+100.00 – 0+200.00 en la cual se ha tomado un tramo de prueba menos descargado, teniendo así una mayor velocidad de circulación de tráfico entre pesado y ligero, que son lo habitual en este tramo colindante con la carretera Panamericana, con los valores obtenidos 3.02 m/Km para un horizonte de evaluación de 10 años y de 4.14 m/km para un horizonte de evaluación de los últimos 10 años de vida útil, de esta forma mostrando que en un periodo de 10 años el pavimento no va a requerir de ningún tipo de mantenimiento preventivo o correctivo; mientras para que para los 20 años de vida útil el tramo 0+0130.00 a 0+170.00 requerirá solamente un mantenimiento preventivo para subsanar posibles daños funcionales a la vía.

4.3. Costo económico en horizonte de evaluación

Se muestra en las tablas el Costo Económico en las etapas: Actual, a 10 años de Vida útil y a 20 años de vida útil. Encontrándose que en el tramo C1A y C2B se tiene una inversión inicial en promedio de S/. 85,000.00 para mantener ambos tramos en condiciones óptimas para el usuario, mientras que va variando para una vida útil de 10 años a S/. 97,000.00 en promedio y finalmente a los 20 años de horizonte de evaluación S/. 112,000.00. De esta forma



se corroboró que económicamente es una solución factible y sostenible en el tiempo ya que presenta un aumento de gasto para su rehabilitación y mantenimiento relativamente bajo, teniendo incrementos de 1.4 % anual en sus primeros 10 años de vida útil, siendo equivalencia a S/. 12,000.00 extras requerido en conservación; así como teniendo un incremento de 1.5% anual en los últimos 10 años de vida útil, teniendo como equivalencia un incremento de S/. 12,000.00. Significando esto que al tenerse valores de incrementos de costos provenientes de cambios en el precio de materiales y/o mano de obra no afectaría en gran medida a las acciones a tomar para la rehabilitación de los tramos C1A y C2A.



Conclusiones

- Se analizó un pavimento Flexible Reforzado con Adición de fibras metálicas 4D con la Metodología de desgaste HDM IV, encontrando que al haberse adicionado este tipo de fibras se cuenta con incremento sustancial de Módulo Elástico y de Poisson del concreto asfáltico.
- Se proporcionó información acerca de los parámetros reológicos de la carpeta de rodadura, así como la incorporación de la metodología HDM-IV para la evaluación de pavimentos modificados con fibras, mostrando que la estructura encontrada en la Urbanización San Isidro, específicamente en los Tramos 0+000.00 – 0+100.00y 0+000.00 – 0+100.00, teniendo la nomenclatura de C1A y C2A, al ser reforzado con fibras metálicas 4D en dosificación de 20 kg/m^3 , tiene un desempeño adecuado frente a las solicitaciones presentadas debido al tráfico y con respecto a la ejecución se tendrá en concluye en que la mejor forma de realizar la división por tramos es la que se hace por medio de una elección multicriterio.
- Se elaboró un formato de recolección de parámetros viales, basados en el Método Vizir de evaluación de Pavimentos flexibles, pues la organización de datos nos da un mejor entendimiento de las condiciones funcionales y estructurales que se cuenta con el pavimento para su interpretación en concordancia con la metodología HDM-IV.
- Se comparó costos de mantenimiento y rehabilitación en un tiempo vida útil de 10 y 20 años horizonte de evaluación, la variación anual del incremento de gasto que genera el mantenimiento preventivo y/o correctivo según se requiera, mostrándose los tramos específicos en la cual se requiere devolverle los niveles de servicio adecuados.



Recomendaciones

- Se recomienda a las entidades y concesionarias que para una mejor evaluación de un pavimento en el aspecto estructural, funcional y económico viene a ser el HDM – IV, siendo promovido por el Banco Mundial, permitiendo así una mejor estimación de los trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo de las vías que se encuentran habilitadas para el área usuaria, este potente software en el área de Transporte innova al mostrar en todo el periodo de vida útil y de forma anual el deterioro o desgaste del pavimento. Así como su uso en el área privada dado que disminuye el gasto anual de mantenimiento de vías, ya que se realizaría de forma localizada.
- A futuros tesis se recomienda que debería investigarse el modelamiento estructural del pavimento flexible adicionado con fibras en el rango inelástico – viscoso, ya que ese es el comportamiento más cercano a la realidad de las carpetas de rodadura, así como la consideración del Módulo de Elasticidad Complejo, la cual se realiza mediante ensayos en laboratorio con la Metodología SUPERPAVE, que es la recomendada a usar según el HDM-IV.



Referencias Bibliográficas.

Alfaro, I. I. (2014). *Influencia Del Incremento De Volumen De Fibra De Polipropileno En La Resistencia a La Flexión, Tracción y Trabajabilidad En Un Concreto Reforzado*. Trujillo.

Botasso, G. (23.07.2012). *Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos En Áreas Urbanizadas*. Obtenido de Mantenimiento y Rehabilitación de Pavimentos En Áreas Urbanizadas. Recuperado de:
http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wpcontent/uploads/2011/12/2002_Manten-yRehabilit-Pavimen-Areas-Urbanizadas_III-Provia-de-las-Americas_noPW.pdf

Cánovas, M. F. (15.06.2017). *Hormigones Reforzados*. Obtenido de Hormigones Reforzados. Recuperado de:
<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/2079/2281>

Chávez, D. O. (15 de Junio de 2017). *Situación Actual y Prospectiva del Transporte en México y el Mundo*. Recuperado de:
<http://www.ai.org.mx/sites/default/files/21.transporte-y-seguridad-vial.pdf>

Escandón, I. M. (25 de Enero de 2013). *La Importancia de Cumplir los niveles de Servicio de La Infraestructura Carretera En México*. Obtenido de La Importancia de Cumplir Los Niveles De Servicio De La Infraestructura Carretera En México. Recuperado de:
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3228/Tesis.pdf?sequence=1>

Goicochea, J. E. (2007). *Implementación del Sistema de Gestión de Pavimentos*. Lima.



Guevara, M. E. (2015). *Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales*. Lima.

<http://www.imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Concreto%20de%20Alta%20Resistencia/Concreto%20de%20alto%20desempeno,%20HPC%20%20mas%20alla%20de%201a%20resistencia.pdf>

Lázares, W. G. (2016). *Mecánica de Suelos aplicada a las vías de Transporte*. Lima: Macro.

Odicio, W. J. (20 de Enero de 2007). *Utilización de Fibras metálicas para la Construcción de Concreto Reforzado en la Ciudad e Pucallpa*. Recuperado de:
http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/145/1/lao_wj.pdf

Ortiz, J. E. (10 de Febrero de 2006). *Aplicación En Chile de Pavimentos Delgados de Hormigón*. Obtenido de *Aplicación En Chile de Pavimentos Delgados de HORMIGÓN*. Recuperado de:
http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/ruz_j/sources/ruz_j.pdf

Sika. (2015). *Concreto Reforzado con fibras*. Lima.

BIBLIOGRAPHY Provias, M. . (2008). *Términos de uso Frecuente en obras de Infraestructura Vial*. Lima: MTC.



Anexos

ANEXO N° 1

Ítems	TEMA	AUTOR	FUENTE



ANEXO N° 2

MATRIZ DE DATOS

tems	TEMA	AUTOR	FUENTE
1	<i>MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS EN ÁREAS URBANIZADAS.</i>	Botasso, G. (23 de Julio de 2012)	http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2002_Manten-yRehabilit-Pavimen-Areas-Urbanizadas_III-Provia-de-las-Americas_noPW.pdf
2	<i>HORMIGONES REFORZADOS</i>	Cánovas, M. F. (15 de Junio de 2017)	http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/2079/2281
3	<i>SITUACIÓN ACTUAL Y PROSPECTIVA DEL TRANSPORTE EN MÉXICO Y EL MUNDO.</i>	Chávez, D. O. (15 de Junio de 2017).	http://www.ai.org.mx/sites/default/files/21.transporte-y-seguridad-vial.pdf
4	<i>IMPORTANCIA DE CUMPLIR LOS NIVELES DE SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA EN MÉXICO.</i>	Escandón, I. M. (25 de Enero de 2013)	http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3228/Tesis.pdf?sequence=1
5	<i>APLICACIÓN EN CHILE DE PAVIMENTOS DELGADOS DE HORMIGÓN.</i>	Ortiz, J. E. (10 de Febrero de 2006).	http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/ruz_j/sources/ruz_j.pdf



ANEXO N° 3

VALORES ADECUADOS DE (IRI) ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL

PSI	IRI m/km	CONDICION
3,38	Menor a 1,49	Buena
	Mayor a 1,49 y menor a 2,68	Aceptable
2,50	Mayor a 2,68	No Aceptable

Fuente: <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/smoothness/index.cfm>

ANEXO N° 4

FORMATO DE INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PCI

Formato de inspección visual de pavimentos flexibles PCI

INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI-01. CARRETERAS CON SUPERFICIES ASFALTICAS			
ZONA		ABSCISA INICIAL	UNIDAD DE MUESTREO
CODIGO VÍA		ABSCISA FINAL	ÁREA DE MUESTREO (M2)
			FECHA

No	Daño	No	Daño
1	Piel de cocodrilo	11	Parqueo
2	Exudación	12	Pulimiento de agregados
3	Agrietamiento en bloque	13	Hueco
4	Abultamientos y hundimientos	14	Cruce de vía ferrea
5	Corrugación	15	Ahullamiento
6	Depresión	16	Desplazamiento
7	Grieta de borde	17	Grieta parabólica (slippage)
8	Grieta de reflexión o junta	18	Hinchamiento
9	Desnivel/carril berma	19	Desprendimiento de agregados
10	Grietas long y transversal		

Daño	Severidad	Cantidades parciales	Total	Densidad	Valor ddeducido



ANEXO N° 5

FORMATO DE LEVANTAMIENTO DE FALLAS METODOLOGÍA VIZIR

Formato de levantamiento de fallas metodología VIZIR

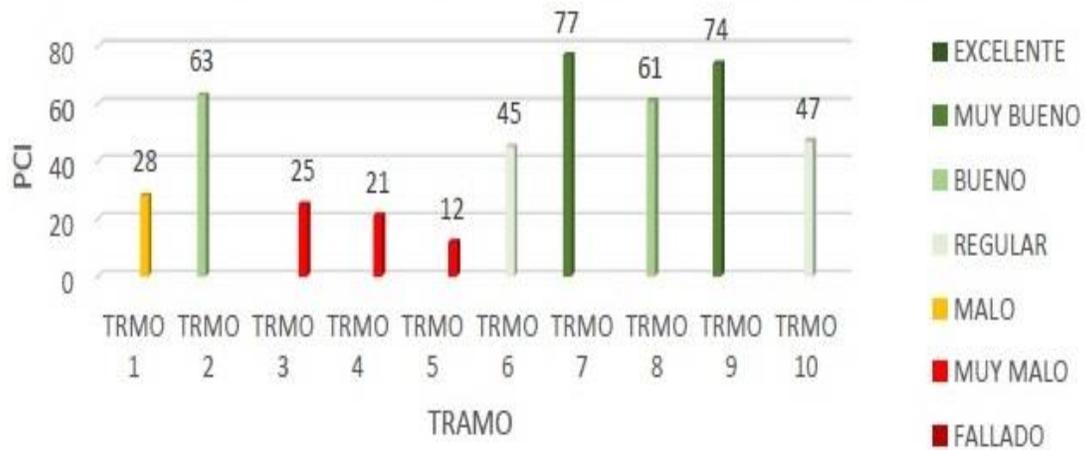
TRAMO	CALCULO DEL INDICE DE FISURACIÓN (If)						CALCULO DEL INDICE DE			Is (parcial)	Corrección y calculo del indice			Is (final)
	Fisuras longitudinales por fatiga			Fisuras piel de cocodrilo			If	Ahullamiento y hundimientos			Bacheos y parcheos			
	Extensión (%)	Gravedad	If(1)	Extensión (%)	Gravedad	If(2)		Extensión (%)	Gravedad		Id	Extensión (%)	Gravedad	
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														

ANEXO N° 6

Índice de deterioro superficial (VIZIR)



INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)





ANEXO N° 7

COMPARACIÓN DE VALORES ENTRE LAS METODOLOGÍAS PCI VS. VIZIR

PCI		
TRAMO	ESTADO	Condición del pavimento
1	MALO	28
2	BUENO	63
3	MUY MALO	25
4	MUY MALO	21
5	MUY MALO	12
6	REGULAR	45
7	MUY BUENO	77
8	BUENO	61
9	MUY BUENO	69
10	REGULAR	47

VIZIR		
TRAMO	ESTADO	Condición del pavimento
1	REGULAR	4
2	BUENA	1
3	REGULAR	3
4	REGULAR	4
5	DEFICIENTE	5
6	BUENA	2
7	BUENA	1
8	BUENA	2
9	BUENA	2
10	REGULAR	3

ESTADO	Condición superficial del pavimento (PCI)
EXCELENTE	85-100
MUY BUENO	70-85
BUENO	55-70
REGULAR	40-55
MALO	25-40

ESTADO	Índice superficial de deterioro (Is)
BUENA	1-2
REGULAR	3-4
MUY MALO	10-25
FALLADO	0-10

ANEXO N° 8



DEFLECTOMETRIA



INDICE DE RUGOSIDAD