



**FACULTAD DE INGENIERIA ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
Evaluación del modelo hdm-4 en las fallas superficiales
de pavimentos flexibles

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL

Autor(es)

Aldana Parra, Jenifer Lorena

<https://orcid.org/0000-0001-9251-1657>

Ugaldez Estela, Bryan Jesús

<https://orcid.org/0000-0002-9329-3767>

Asesora

Ph.D. Heredia Llatas Flor Delicia

<https://orcid.org/0000-0001-6260-9960>

Línea de Investigación

Tecnología e Innovación en el Desarrollo de la Construcción y
la Industria en un Contexto de Sostenibilidad

Sublínea de Investigación

Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e
Infraestructura

Pimentel – Perú

2024



DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscriben la DECLARACIÓN JURADA, somos Jenifer Lorena Aldana Parra y Bryan Jesús Ugaldez Estela del Programa de Estudios de **Ingeniería Civil** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somos autores del trabajo titulado:

“Evaluación del modelo hdm-4 en las fallas superficiales de pavimentos flexibles ”

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firma:

Aldana Parra, Jenifer Lorena	DNI: 71448653	
Ugaldez Estela, Bryan Jesús	DNI: 75274150	

Pimentel, 26 de agosto del 2024.

PAPER NAME

Documento sin título

AUTHOR

-

WORD COUNT

5010 Words

CHARACTER COUNT

25945 Characters

PAGE COUNT

31 Pages

FILE SIZE

31.3KB

SUBMISSION DATE

Aug 26, 2024 9:55 AM GMT-5

REPORT DATE

Aug 26, 2024 9:55 AM GMT-5

● **5% Overall Similarity**

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 3% Internet database
- 3% Submitted Works database
- 0% Publications database

Índice

Dedicatoria	1
Agradecimiento.....	1
Índice de tabla	2
Índice de figura	2
RESUMEN.....	3
I. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Realidad problemática.....	5
1.2 Formulación del problema	13
1.3 Hipótesis	13
1.4 Objetivos	13
1.5 Teorías relacionadas al tema	14
II MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	15
III RESULTADOS	16
IV DISCUSION Y CONCLUSIONES.....	20
4.1 DISCUSIÓN	20
4.2 CONCLUSIONES.....	23
V REFERENCIAS.....	24

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo de investigación en primer lugar a Dios por la fuerza y sabiduría que nos brindó a lo largo de todo este proceso. A nuestros padres que, con su amor y sacrificio constante, así como también todo su aliento, comprensión y apoyo durante cada año que hemos pasado a lo largo de este camino. Todo ello han sido el pilar fundamental para nuestra vida y formación académica. Este logro es para todos ustedes.

*Aldana Parra Jenifer Lorena y
Ugaldez Estela Bryan Jesús*

Agradecimiento

Agradecemos en primer lugar a Dios por su guía a lo largo de nuestra vida. A nuestros padres por su apoyo y sacrificio constante que han sido pieza fundamental para nuestra formación académica y en la vida. Han sido nuestra inspiración para poder lograr cada meta que tenemos, son nuestra inspiración. Nuestro más sincero agradecimiento para todos ustedes.

*Aldana Parra Jenifer Lorena y
Ugaldez Estela Bryan Jesús*

Índice de tabla

Tabla 1	13
Tabla 2	14

Índice de figura

Figura 1.....	9
Figura 2.....	9
Figura 3.....	15
Figura 4.....	15
Figura 5.....	15
Figura 6.....	16
Figura 7.....	16
Figura 8.....	17

RESUMEN

El desarrollo de la investigación comprende una variedad de situaciones problemáticas observadas, tales como el deterioro de los pavimentos flexibles, cuyo propósito es realizar estudio y monitoreo de fallas de los pavimentos flexibles mediante la aplicación del modelo HDM-4, que permite determinar los deterioros y un mantenimiento anticipado mantener los niveles. Las inversiones tienen que ser las necesarias para tener una muy buena optimización. Donde para que se pueda conservar se deben establecer las medidas adecuadas para el caso, ya sea de protección y reparación. Teniendo siempre en cuenta el nivel medioambiental, económico y social. El objetivo del presente documento es usar el modelo HDM-4 para las fallas superficiales de los pavimentos flexibles con la finalidad de que estos problemas puedan solucionarse y prevenirlo. Finalmente los resultados evidencian que existen agrietamientos, descamación, baches, grietas, baches (superficies de la carretera), marcas y desniveles, estas con el pasar de los años provocan daños a nivel físico y químico. Por lo tanto, se constituye que el modelo HDM-4 tiene en cuenta los aspectos de calidad de construcción y costes de ejecución, teniendo como punto fundamental que la red vial de un país es uno de sus activos más importantes y por lo tanto, debe evitarse su deterioro, porque al devaluarse trae problemas a medio plazo.

Palabras clave: HDM-4, pavimento flexible, fallas superficiales.

Abstract

The development of the research includes a variety of observed problematic situations, such as the deterioration of flexible pavements, whose purpose is to carry out a study and monitoring of failures of flexible pavements by applying the HDM-4 model, which allows determining the deterioration and early maintenance to maintain the levels. The investments have to be those necessary to have a very good optimization. Where in order to be able to preserve it, the appropriate measures must be established for the case, whether protection and repair. Always taking into account the environmental, economic and social level. The objective of this document is to use the HDM-4 model for surface failures of flexible pavements in order to solve these problems and prevent them. Finally, the results show that there are cracks, peeling, potholes, cracks, potholes (roadsurfaces), marks and unevenness, these over the years cause physical and chemical damage. Therefore, it is established that the HDM-4 model takes into account the aspects of construction quality and execution costs, having as a fundamental point that the road network of a country is one of its most important assets and therefore, its deterioration must be avoided, because devaluation brings problems in the medium term.

Keywords: HDM-4, flexible pavement, superficial failures

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

El deterioro del pavimento flexible se produce por muchas influencias ya sea de tráfico, condiciones climáticas u otros factores, donde este conocimiento se debe de predecir para su rendimiento hacia un futuro [1]. Highway Development and Management (HDM-4) es reconocido internacionalmente por su análisis de la gestión de pavimentos y desarrollos alternativos. Los modelos de desgaste del pavimento HDM-4 ayudan a predecir el inicio y la progresión de diferentes tipos de desgaste del pavimento bajo diferentes combinaciones de tráfico, condiciones climáticas, estructura y composición del pavimento. Dado que la tasa y el alcance de la propagación de cualquier daño en el pavimento depende en gran medida de las condiciones locales es importante calibrar y verificar los modelos HDM-4 para las condiciones locales antes de su uso [2].

El modelo utilizado se basa en un análisis estadístico utilizando ecuaciones implementadas en los modelos HDM-4. El proceso de calibración del comportamiento del pavimento se realizó mediante una regresión lineal entre los valores predichos y observados. Este trabajo se justifica en que el uso del HDM-4 es mucho más beneficioso para poder darle solución a las patologías que se presentan en los pavimentos, todos esos problemas que se dan a corto y largo plazo y que son muy complicados en el ámbito social y económico, por ello en software soluciona todos esos problemas [3]. Las vías con pavimentos flexibles al ser más transitadas y más usadas, son más susceptibles a los daños ocasionados por el tiempo y el peso, por ello resulta ser la manera más viable de construirlas por los siguientes motivos que presenta, tanto como ventajas y desventajas. Su construcción es más económica y rápida, consiste en una mezcla de agregados, betún y aire. Obteniendo una mezcla asfáltica delgada construida sobre una capa base y una capa subbase, que suele ser un material granular, su durabilidad requiere de más capas y mayor espesor para transferir cargas a la subrasante.

Los pavimentos a menudo se consideran estáticos y pasivos, lo que lleva a la noción común de que solo la construcción, el mantenimiento y la demolición resultan en su carga ambiental general. Sin embargo, el consumo de combustible y las emisiones resultantes del usuario de la carretera, influenciados por factores como la aspereza de la carretera por el uso y el deterioro del pavimento debido al cambio climático, son consideraciones importantes para la sustentabilidad del pavimento [4].

Además, para que la estructura del pavimento pueda distribuir los esfuerzos producidos por la presión de las llantas, debe haber una buena dimensión de la carpeta asfáltica y con una suficiente resistencia en cada una de las capas internas [5].

Un buen método de evitar que el agua se desplace en la estructura interna del pavimento provocando la erosión o pérdida de los materiales que componen al pavimento es el uso del geotextil que sirve como una membrana protectora y de amortiguamiento del esfuerzo que se somete a la vía [6].

Las fallas superficiales aparecen con el transcurso del tiempo por factores naturales y artificiales que influyen directamente en el pavimento dos de ellos que es el clima y el otro es la sobrecarga que ejercen presión en la carpeta asfáltica dando diversos daños a nivel estructural, entre ellos tenemos los diferentes tipos de fisuras o grietas y surcos [7].

En los proyectos de construcción, desarrollo y mantenimientos de las carreteras implica un gran gasto económico por parte del estado y sus agencias que se encargan de regular el control de los pavimentos en las ciudades con sus interconexiones [8].

El modelado del desempeño del pavimento es una actividad crucial que sirve para varios aspectos del sistema, que incluye la financiación y el presupuesto, así como la revisión del diseño del pavimento, la estimación de la falla y el estudio del análisis económico del ciclo de vida. La aplicación de HDM-4 se ha utilizado ampliamente para la gestión de redes viales en muchos países. Como por ejemplo se realizó el HDM-4 para definir el programa de obras viales y las prioridades de inversión

de 13 carreteras Carretera local de Bosnia y Herzegovina [9].

Estas herramientas según fuentes ya mencionadas tienen como objetivo evaluar el resultado del ciclo de vida de pavimentos, principalmente en términos de las emisiones equivalentes de dióxido de carbono (Co₂), los resultados de este análisis fueron impactantes en las autoridades viales, ya que la reducción de las precipitaciones, beneficiará el rendimiento de las carreteras y evitar un mantenimiento innecesario [10].

El pavimento flexible está diseñado para un determinado tiempo de vida del cual con el transcurso del tiempo empiezan a presentar diferentes tipos de fallas a nivel superficial, esto debiéndose a factores que atenta contra su estructura y resistencia, los principales responsables del deterioro según los estudios son el valor de utilidad de la carretera, las condiciones climáticas y el tipo de vía [11].

En un estudio realizado en el departamento de Puno, la falta de un mantenimiento adecuado de las vías resultó en un ciclo de vida de abandono de las vías, deterioro excesivo, colapso por las continuas lluvias y su reconstrucción. La investigación tiene como objetivo implementar un modelo de gestión de operación vial que ahorre mantenimiento y costos vehiculares utilizando HDM-4 en la vía Juliaca - Lampa, que permita incrementar el nivel de servicio, provocando la reactivación social y económica [12].

En la investigación de Tahiliani, pudo señalar que el sistema vial y de gestión de HDM-4 se implementa de tal manera que los resultados técnicos y financieros de posibles decisiones de inversión futuras pueden predecirse con la ayuda del mantenimiento de la red vial. Utilizando el método de análisis de estrategia del HDM-4, se podrá desarrollar un programa de obras priorizado y optimizado para mantener la red vial dentro del presupuesto disponible El HDM-4 es un método que se usa para ver el desempeño del pavimento flexible, lo cual en diferentes estudios realizados se incluye el área de estudio para carreteras de dos o más carriles en una ciudad donde se utiliza el HDM-4 [13].

En este estudio que nos muestra el autor Guo, He, & yang, Los pavimentos están diseñados para soportar completamente las fuerzas transmitidas a la superficie de rodadura, también deben soportar cambios climáticos variables y condiciones de drenaje. Por lo tanto, este artículo de revisión se justifica dado a que tiene una importancia la evaluación de daños en los pavimentos flexibles, debido a que nivel mundial muy frecuentemente se presentan fallas en dichos pavimentos, en el cual se han evidenciado el inadecuado desempeño de muchas infraestructuras viales que existen [14]

Vamsi también en su documento donde da clase de cómo se utiliza el HDM-4 para bieno mal de la humanidad resalta que Con el pasar del tiempo se ha visto que las pistas hechas o mejoradas con pavimento flexibles se empiezan a deteriorar, lo que conllevaa perder las capas asfálticas generando así daños superficiales y la pérdida del pavimento, siendo este un problema para la comunidad en especial para los conductores que con el tiempo los automóviles empiezan a tener averías comprometiendo la seguridad de los transportistas ya que las condiciones en la que se encuentran las pistas pueden llevar a generar accidentes de tránsito, en los proyectos de construcción, desarrollo y mantenimientos de las carreteras implica un gran gasto económico por parte del estado y sus agencias que se encargan de regular el control de los pavimentos en las ciudades con sus interconexiones, concluyó que el software fue de mucha ayuda para poder prevenir todos estos casos y patologías que se presentan en los pavimentos, carreteras y redes viales, por lo tanto debería de usarse de manera correcta ya que ayuda a prevenir todos estos casos [15].

El pavimento flexible está diseñado para un determinado tiempo de vida del cual con eltranscurso del tiempo empiezan a presentar diferentes tipos de fallas a nivel superficial,esto debiéndose a factores que atenta contra su estructura y resistencia, los principalesresponsables del deterioro según los estudios son el valor de utilidad de la carretera, las condiciones climáticas y el tipo de vía [16].

En esta investigación que se realizó a Las vías urbanas, especialmente en las ciudades metropolitanas, tienen un gran volumen de tráfico que afecta negativamente a las condiciones de una vía, por ello uno de los modelos como el HDM-4, permite determinarlos deterioros y un mantenimiento anticipado, la aplicación de este modelo se usó para realizar un seguimiento de un pavimento con un periodo de diseño de 15 años, en donde se encontró diversas fallas como surcos y agrietamientos uno de los deterioros más críticos que se puede presentar, el análisis arrojó que al final de los 15 años los baches generados por los surcos pueden alcanzar los 13 m/km [17].

En el trabajo que realiza Chambi para la ciudad de Puno es el de buscar implementar el HDM-4 para la mejora de las vías porque por el factor climático que va avanzando cada día hace que se deteriore los pavimentos, eso causa mucha dificultad para el tránsito de vehículos y peatonal. En el departamento de Puno, la inadecuada gestión vial ha causado que las carreteras tengan un ciclo de vida fatal, debido al abandono, el deterioro excesivo, colapso por las constantes lluvias y su reconstrucción. La investigación pretende implementar un modelo de gestión de conservación vial haciendo uso del HDM-4 para escatimar los costos por mantenimiento y operación vehicular en la carretera Juliaca – Lampa, haciendo posible una mejora en los niveles de servicio, provocando la reactivación social y económica [18].

La siguiente investigación realizada se centra más en el tema climático y en como este genera un efecto para muchas ocasiones que por las lluvias o el calor hacen que los pavimentos fallen y generen problemas a temprana o lejana edad, Según algunos estudios el HDM-4 es usado para cuantificar los impactos del cambio climático en el desempeño del pavimento, como un variable y clave específica, una metodología implementada por estudios para regiones climáticas [19].

Estas herramientas según fuentes ya mencionadas tienen como objetivo de hacer una evaluación de resultados del ciclo de vida de pavimentos, principalmente en términos de las emisiones equivalentes de dióxido de carbono (Co₂), los resultados de este análisis fueron impactantes en las autoridades viales, ya que la reducción

de las precipitaciones, beneficiará el rendimiento de las carreteras y evitar un mantenimiento innecesario [20].

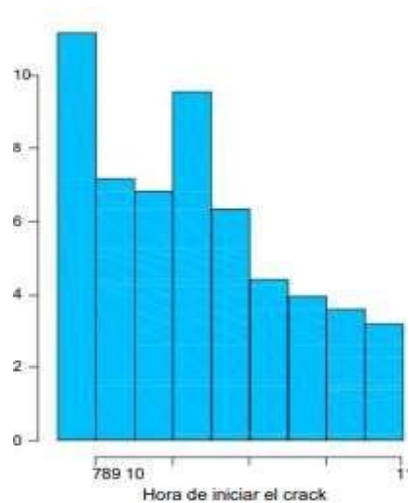


Figura. 1. Distribución de la formación de grietas en la carretera Skopje-Tetovo

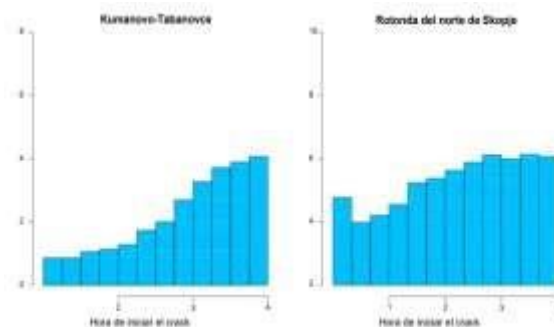


Figura. 2. Distribución de la formación de grietas en la carretera Kumanovo-Tabanovce y la rotonda del norte de Skopje

En esta imagen únicamente se refiere a la aparición de las grietas, de acuerdo a la evaluación que realizaron, donde sí hubo grietas en algunos tramos, con porcentajes inferior a 0.5%.

Este modelo trabaja eficientemente para analizar el ciclo de vida de las carreteras con pavimentos flexibles del cual están sometidas a condiciones de excesivas cargas. El sistema de carretera y control HDM-4 implementa para que se pueda predecir los resultados técnicos y económicos futuros de las posibles decisiones de inversión con la gestión del mantenimiento de las redes viales.

Utilizando el método de análisis de estrategia del HDM-4, se podrá desarrollar un programa de obras priorizado y optimizado para mantener la red vial dentro del presupuesto disponible [21] .

En el estudio que realizan los siguientes autores nos quieren dar a conocer lo que puede hacer el HDM-4 en lo que son los pavimentos flexibles y cuál es el impacto que estos generan, nos dicen que es un método que se usa para ver el desempeño del pavimento flexible, lo cual en diferentes estudios realizados se incluye el área de estudio para carreteras de dos o más carriles en una ciudad donde se utiliza el HDM-4 [22].

Este trabajo de investigación quiere dar a conocer si el software HDM-4 es eficiente o no para realizar los trabajos que se necesitan para poder saber con anticipación las patologías que pueden sufrir los pavimentos y que estos sean corregidos en su debidotiempo. En el transcurso de vida del pavimento, se producen efectos de diversos orígenes que afectan la condición y estructura del mismo como en el caso de la capa superficial de rodamiento, lo cual conlleva a una deficiencia en su misión de proporcionar a los transeúntes la posibilidad de un manejo cómodo y económico, los fallos más repentinos en los pavimentos flexibles: son los baches, fisuras, hundimiento y eldescascaramiento, por eso el uso de geomallas para la rehabilitación de estas patologías sería una buena solución frente a los métodos tradicionales, haciendo así que la vida útil de un pavimento se extienda más de los 15 años [14].

Los daños superficiales en pavimentos plásticos, que según su origen se clasifican en falla funcional o superficial y falla estructural. En el caso de defectos superficiales, defectos presentes o visibles a simple vista en la superficie de la capa asfáltica y operaciones de reparación destinadas a corregir roces o rugosidades [16]

Fallas críticas que se presentan en un pavimento

- Surcos: estas fallas se generan por una distribución defectuosa del agregado, lo cual con el tiempo genera los desprendimientos de los agregados esto relacionado con la erosión que produce por el agua de las zonas cuya pendiente es alta [16].
- Fisuras de borde: estas son causadas por la falta de confinamiento lateral de la estructura debido a la carencia a los anchos de bermas los cuales son generadas por el tránsito que pasa cerca del borde de la vía [21].
- Piel de cocodrilo o también conocido como agrietamiento por fatiga, esta falla se representa por fisuras interconectadas en el pavimento provocada por la acción de la fatiga en la misma superficie del pavimento asfáltico sometido a repeticiones de carga o tráfico constante [18].
- Ahuellamiento o deformación es un tipo de deterioro en los pavimentos provocado por las huellas de los vehículos en circulación, en especial con los de gran tonelaje y los derramamientos de ellos mismo al momento de frenar, estas pequeñas huellas son pequeñas deformaciones verticales que son irrecuperables [12].
- Peladura es la pérdida de pequeñas porciones de material que conforman al pavimento en la superficie de rodadura, estos se visualizan como pequeños hoyos o cavidades en el pavimento [8].
- Desprendimiento: surge como consecuencia de la disgregación y desprendimiento del material fino que conforma el material ligante del pavimento dejando así cada vez más expuesto a los efectos de la abrasión del tráfico y el clima [4].

1.2 Formulación del problema

En la actualidad vemos que las patologías en pavimentos son un problema para la sociedad, es por ello que el uso de HDM-4 es una respuesta para darle solución a esos problemas, por ello es que se busca dar respuesta a la siguiente pregunta.

¿De qué manera se hará la evaluación del modelo HDM-4 para poder resolver las fallas superficiales de pavimentos flexibles?

1.3 Hipótesis

El modelo HDM-4, cuando es correctamente aplicado en la evaluación de pavimentos flexibles, permite identificar y corregir eficientemente las fallas superficiales, mejorando la durabilidad y el rendimiento de las vías en comparación con métodos tradicionales.

1.4 Objetivos

Objetivo general

- Evaluar el modelo HDM-4 para determinar su eficacia en la resolución de fallas superficiales en pavimentos flexibles.

Objetivos específicos

- Analizar las principales fallas superficiales en pavimentos flexibles que afectan la durabilidad y seguridad vial.

- Aplicar el modelo HDM-4 en casos de estudio específicos para identificar su efectividad en la predicción y gestión de dichas fallas.

- Comparar los resultados obtenidos con el modelo HDM-4 con otros métodos de evaluación de pavimentos para validar su precisión y utilidad.

- Proponer mejoras en la implementación del modelo HDM-4 para optimizar el mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles.

-

1.5. Teorías relacionadas al tema

Teoría de la Simulación de Ciclo de Vida del Pavimento: HDM-4 se basa en la simulación de ciclo de vida del pavimento y así predecir el comportamiento de diferentes tipos de pavimento bajo distintas condiciones de tráfico y climáticas.

Teoría de la Evaluación Multicriterio: HDM-4 utiliza un enfoque multicriterio para evaluar las alternativas de pavimentación. Se basa en la teoría de que las decisiones óptimas no solo deben considerar el costo inicial, sino también el mantenimiento, la durabilidad así como el impacto ambiental del pavimento.

Teoría de Optimización de Recursos: Utilizando datos históricos y modelos predictivos, HDM-4 optimiza el uso de recursos en la planificación y gestión de pavimentos. Esto se basa en la idea de que una gestión eficaz requiere una asignación óptima de recursos para maximizar el rendimiento del pavimento y minimizar el costo total. El pavimento flexible tiene como característica principal la distribución de tráfico sobre una amplia área de la subrasante.

Teoría de la Distribución de Carga: Los pavimentos flexibles están diseñados para redistribuir las cargas del tráfico de manera que se minimicen los daños a la subrasante. Esto se basa en la idea de que una capa flexible puede acomodar las deformaciones sin fallar prematuramente.

Teoría de la capacidad de soporte de la subrasante: La eficacia del pavimento flexible tiene como dependencia la gran medida que detalla subrasante para soportar las cargas. La teoría sostiene que un diseño adecuado del pavimento flexible puede compensar variaciones en la calidad de la subrasante.

Teoría de las Causas y Efectos de Fallas Superficiales: Las fallas superficiales en pavimentos flexibles pueden ser causadas por una combinación de factores como el tráfico, el clima y el diseño del pavimento.

Teoría del Ciclaje de Carga y Fatiga: Las fallas superficiales, como fisuras y deformaciones, se desarrollan debido a la fatiga del material por repetidos ciclos de carga. Según esta teoría, el acumulamiento de daño por estrés repetitivo lleva a la

formación de grietas y otras fallas superficiales. Teoría de la Influencia Climática: Las condiciones climáticas muy críticas pueden afectar la durabilidad del pavimento flexible. Esta teoría sugiere que el ciclo de expansión y contracción térmica contribuye a la aparición de fisuras y desintegración superficial.

Teoría del Desgaste por Abrasión: El desgaste por abrasión causado por el tráfico y las condiciones ambientales puede llevar a la pérdida de materiales en la superficie del pavimento. Esta teoría se enfoca en cómo el tráfico pesado y la exposición a elementos abrasivos aceleran la degradación superficial

II MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo se elaboró utilizando la base de datos Scopus, ScinceDirect y Google académico, se analizaron 50 artículos, 18 de Scopus, 6 de ScincieDirect y 26 de google académico. Los cuales van comprendidos entre el año 2018 y 2022. Para buscar estos artículos e investigaciones se usaron palabras clave como: HMD-4, pavimento flexible, fallas superficiales.

TABLA 1

Distribución de los artículos usados como referencia, según base de datos y periodo de publicación

BASE DE DATOS	AÑO DE PUBLICACIÓN					TOTAL
	2018	2019	2020	2021	2022	
Scopus		6	1	3	8	18
ScienceDirect				1	5	6
Google Académico	12	6	4	1	3	28
Total	12	12	5	5	16	50

III RESULTADOS

Los resultados principales que genera el HDM-4 son:

- a) Indicadores de desempeño económico: Para los tipos de análisis que se pueda realizar en el HDM-4.
- b) Programa de trabajo para varios años: Producido después de seleccionar varios proyectos viales en base a sus retornos económicos.
- c) Planes estratégicos de desarrollo y conservación vial: Creado a partir de datos a largo plazo para el mantenimiento de la red vial.

En sus resultados obtenidos de acuerdo a un análisis y también por haber usado el software HDM-4 llegan a las siguientes conclusiones y las mencionan a través de un cuadro en donde podemos observar cómo es que se da el ciclo de vida pero en este caso usando el HDM-4. Estos efectos sociales y ambientales incluyen, por ejemplo, la reducción del consumo de energía, el ruido del tráfico y otros beneficios sociales para la población. Aunque los impactos sociales y ambientales a menudo son difíciles de cuantificar en términos monetarios, de esta manera al poder saber cuál es el análisis o el mantenimiento periódico del pavimento podemos deducir lo bueno que es el HDM-4 y la gran ayuda que nos generaría al utilizarlo [4]

TABLA 2

Análisis del ciclo de vida utilizando el software HDM-4

ENTRADAS	MODELO	SALIDAS
Modelo de vehículo, masa, tasa de crecimiento, carga útil, parámetros físicos, topografía, precipitación, geometría del camino, características del pavimento y costo unitario.	COMIENZO DEL CICLO DE ANÁLISIS	Agrietamiento, descamación, baches, grietas, baches (superficie de la carretera), Grava de espesor (sin asfaltar) y desnivel.
Tipo de pavimento, dureza, durabilidad, antigüedad, estado y ESAL.	DETERIORO DEL ESTADO DE LA CARRETERA	Combustible, conservación, costos fijos, velocidad, tiempo de viaje, costos de funcionamiento.
Geometría y regularidad, velocidades y tipos de vehículos, costo unitario.	EFFECTOS SOBRE LOS USUARIOS	Relleno, baches, marcas (superficie de la carretera), espesor de grava (sin pavimentar), regular, carga de trabajo y honorarios de agencia.
Normas de trabajo y estrategias.	EFFECTOS DE LOS TRABAJOS	Relleno, baches, marcas (superficie de la carretera), espesor de grava (sin pavimentar), regular, carga de trabajo y honorarios de agencia.
Aspecto y acabado superficial, características del vehículo.	EFFECTOS SOCIALES Y AMBIENTALES	Emissiones, consumo de energía y número de accidentes.
Desarrollos, costos ambientales y otros beneficios externos.	ANÁLISIS FINANCIERO	Costo total por componente, valor actual neto y tasa de reembolso por cuota.
	REGRESO AL COMIENZO DEL CICLO DE ANÁLISIS	

En la investigación para la parte de resultados lo que hicieron es demostrar a través de su proyecto en donde los que lo utilizan en este caso entidades o en su mayoría ingenieros que estén aptos para su uso puedan saber cómo es que son los pasos para llegar a un análisis concreto y que sea de mucho beneficio y así dar a saber que el software HDM- 4 es eficiente y correcto para poder prevenir las patologías en los pavimentos y sea muy beneficioso para aquel que logre usarlo. Con ayuda del programa se elaboró un proyecto sobre defectos superficiales de recubrimientos flexibles.

Para los daños superficiales de pavimentos flexibles se elaboró un proyecto con el programa HDM-4, para lo cual se debe ingresar el título y seleccionar la red vial mencionada. En el cual, al determinar la red vial a evaluar, automáticamente se selecciona la flota.



Figura N°3: Nuevo proyecto



Figura N°4: Al crear un análisis de proyecto, aparece la siguiente pantalla

Por lo tanto, se seleccionan marcando la casilla en la columna. Y las secciones se pueden seleccionar haciendo clic en las casillas de verificación de las secciones. Esto es para crear particiones.

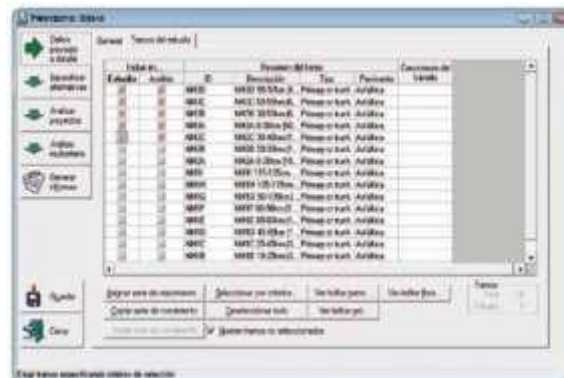


Figura N°5: Creación de tramos: Selección de tramos de la red: en este punto debemos de verificar el tipo de velocidad, tránsito y geometría.

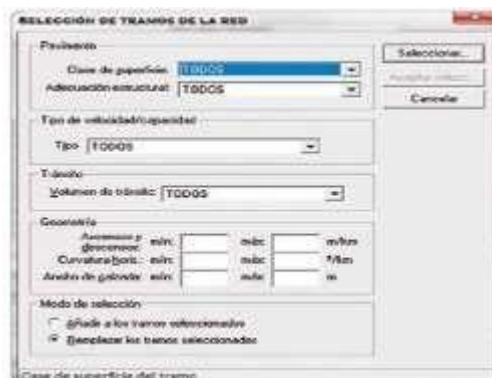


Figura N°6: Selección de tramos de la red

Ya como parte final del análisis se generan los reportes, los cuales se pueden categorizar como datos de entrada. Y se almacenan en los siguientes ficheros (Tráfico, Daños/Efectos a Edificios, Impacto de Usuario, Medioambiente, Flujo de Costes y Valoración Económica, Datos de Entrada, Análisis Multicriterio y Valoración de Inmuebles

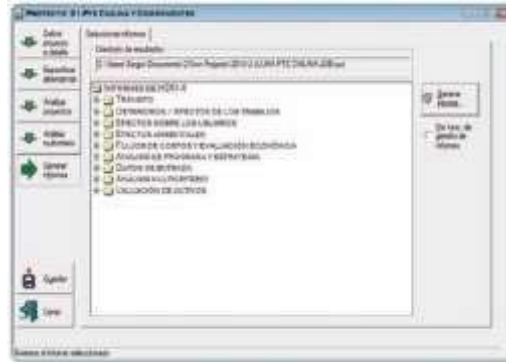


Figura. N°7. Generación de reportes

El autor en su investigación como parte de los resultados que obtuvo demostraron que el software HDM-4 es bastante beneficioso en resolver los problemas por las cuales sufren más las redes viales y se pueden prevenir con su buen uso, lo que más resalta en estos resultados y lo que llamaría la atención de las entidades o ingenieros que lo usen es el aspecto económico ya que la generarse problemas en los pavimentos hace que los gastos se incrementen enormemente en más de un 40% en base a lo gastado pero con el uso del software HDM-4 se ha reducido notablemente porque ayuda a prevenir estas fallas por lo cual solo se gasta hasta en un 15% para resolver las diversas situaciones en las cuales se encuentra el pavimento, el autor Chambi recomienda el uso del software dados los resultados beneficiosos y satisfactorios que genera [16]



Figura N°8: Un análisis por proyectos donde vamos a efectuar el análisis económico.

IV DISCUSION Y CONCLUSIONES

4.1 DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de acuerdo al análisis que se hizo con respecto al software HDM-4 trato de resolver las dudas de como es el ciclo de vida con el cual se realiza, los efectos sociales y medioambientales que generan como por el ejemplo la reducción del consumo de energía, ruido de tráfico y otros beneficios más que se le da a la población, en donde concluye que es muy beneficioso para la sociedad y que debería ser de utilizado con mucha más frecuencia.

En efecto estos resultados tienen una gran similitud con lo que nos dice Ferreira en su investigación la cual que después de haber usado el software HDM-4 para su proyecto concluyó que es eficiente en gestión de pavimentos y carreteras por lo que ayuda al ingeniero a tomar las decisiones correctas y más rentables en la gestión de mantenimiento de pavimentos. Así mismo tiene en parte una gran similitud en los resultados obtenidos por Thailini, el software HDM-4 se implementa para que se pueda predecir los resultados técnicos y económicos a futuras posibles decisiones de inversión en gestión de mantenimiento de las redes viales, utilizando el método de análisis se podrá desarrollar un programa de obras priorizando y optimizado para el presupuesto disponible. Por consiguiente al haber analizado los resultados obtenidos en estas dos investigaciones y al haberse encontrado muchas coincidencias en los resultados que obtuvieron se puede afirmar que el software HDM-4 trae muchos beneficios a nivel social y económicos que se pueden usar

generar menos pérdidas a corto y largo plazo, así como también a la sociedad en cuanto a tener mejores calles y veredas para la comunidad [17].

Los resultados obtenidos en el estudio de un proyecto fueron para que cada persona que quiera utilizar el software HDM-4 tenga el conocimiento de los pasos a seguir y lo beneficioso que es este en cuanto al uso que se le logre dar. Es un análisis concreto en donde se podrá apreciar todos los beneficios que el software trae y por qué se debería usar en la actualidad y los futuros años. Con características comunes se encontró la investigación del autor Vamsi, en el cual menciona que con el pasar del tiempo se ha visto que las pistas se han visto deterioradas lo que hace que las capas asfálticas se pierdan generando así muchos daños, sobre todo para los conductores que al verse con las calles o carreteras deterioradas estas pueden causar accidentes comprometiendo su vida y también la del transeúnte, por eso recomienda que debe usarse el software HDM-4 ya que ha sido de mucha ayuda para poder prevenir todos estos casos mencionados y poder subsanar las patologías que presentan los pavimentos [18].

Así mismo guarda gran similitud con la investigación que realiza el autor Harinder en su investigación en vías urbanas para ser más específicos en ciudades metropolitanas ya que estas tienen bastante tráfico y puede verse de mejor manera las patologías que presentan, llegó a la conclusión de que el modelo HDM-4 permite determinar los deterioros y un mantenimiento anticipado, hicieron la prueba en un pavimento con un periodo de diseño de más de 15 años y el software fue de gran ayuda para poder encontrar las fallas que tenía y así poder mejorarlas. En consecuencia, de los resultados que hemos visto podemos deducir que los autores recomiendan el uso del HDM-4 y del análisis que se debe hacer siguiendo cada uno de los pasos dados para poder resolver los problemas más comunes de la red vial, como por ejemplo en calles, carreteras, ciudades metropolitanas, todo con el único propósito de prevenir las patologías que presentan y a la misma vez poder corregirlas para futuros alternos [15].

Los resultados que se han obtenido con respecto a si el software HDM-4 es muy beneficioso y también si es recomendado para que las entidades y los ingenieros lo puedan usar, concluyo que resultó ser bastante positivo ya que reduce en un gran porcentaje con respecto a las pérdidas que se generan cuando hay fallas en los pavimentos y estos no son detectados a tiempo.

En efecto en las investigaciones realizada sobre el software HDM-4 que se viene utilizando hace décadas en varios países en el mundo lo curioso es que lo recomiendan enormemente ya que combina la técnica y economía en proyectos que se realizan los cuales influyen en su gran mayoría al comportamiento del pavimento y a los costos internos y externos que se utilizan. Por consiguiente al haberse analizado estos resultados obtenidos de las investigaciones y al encontrarse muchas similitudes en sus resultados podemos concluir en que el software HDM-4 es muy recomendado por varios autores, entidades e investigaciones que se han realizado las cuales resultaron muy beneficiosas mucho más con el aspecto económico que es tan importante para realizar proyectos de corto o largo plazo [5].

4.2 CONCLUSIONES

Se concluye que el uso del modelo HDM-4 es muy acertado para poder prevenir las fallas en los pavimentos, los más conocidos y que se generan muchas veces son, piel de cocodrilo, agrietamientos y hundimientos. Con este método innovador se puede detectar las fallas mencionadas anteriormente que causan daños en pavimentos, lo que busca es poder prevenirlo al usarse este método, también es muy beneficioso ya que genera que se ahorren gastos excesivos.

El análisis de actividades de mantenimiento para el pavimento flexible los cuales son la creación del proyecto, análisis de tramos, de reportes son importantes ya que es un método que se tiene que realizar a detalle para que las entidades o los ingenieros que los usen puedan tener todo el conocimiento posible del uso del software HDM-4 y así utilizarlo en la prevención de las fallas.

El software HDM-4 es muy recomendable para el tema de gestión y rehabilitación de pavimentos ya que es muy beneficioso en cuanto a su uso porque hace que los gastos se reduzcan gratamente de un 40% a 15% por lo que las entidades e ingenieros que utilizan este software están más que satisfechos con los resultados y recomiendan su uso a nivel mundial.

V REFERENCIAS

- [1] A. Abdalla, . A. Faheem y E. Walters, «Life cycle assessment of eco-friendly asphalt pavement involving multi-recycled materials: A comparative study,» *Journal of Cleaner Production*, vol. 362, p. 132471, 2022.
- [2] S. Anand, A. Gaur, V. Singh y A. Sharma, «Pavement Deterioration Analysis for Rural Roads using HDM-4,» *IOP Publishing*, vol. 796, p. 012023, 2021.
- [3] A. ANDRADE, . G. CASTILLO y . C. CHACATER, « Effects of initial data variability on pavement condition index and prediction of pavement deterioration,» *Digital Novasinerjia*, vol. 4, p. 2654, 2021.
- [4] . A. B. Sheldon, . J. W. Maina, G. A.J. Mturi y A. T. Visser, «Flexible pavement performance and life cycle assessment incorporating climate change impacts,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 104, p. 103203, 2022.
- [5] I. Delbono, E. Fensel y L. Curone, «Evaluation of reflective cracking under dynamic loads interposing geosynthetic materials at different levels of the asphalt reinforcement layer,» *Ingenieria de construccion* , vol. 3, p. 209, 2020.
- [6] K. Fernandes y L. Ciobanu, «Pavement Pathologies Classification Using Graph- Based Features,» *RESEARCHGATE*, vol. 2, p. 797, 2020.
- [7] K. Guo, . C. He, M. Yang y S. Wang , «A pavement distresses identification method optimized for YOLOv5s,» *Scientific Reports*, vol. 12, p. 3542, 2022.
- [8] D. Vamsi y D. Harinder, «Assessment of Performance and Maintenance of Flexible Pavement Using KENLAYER and HDM-4,» *PURPOSE - LED PUBLISHING*, vol.2, p. 982, 2022.
- [9] . G. Luvizão y G. Trichês, «Case Study on Life Cycle Assessment Applied

- to RoadRestoration Methods,» *MDPI*, vol. 15, 2023.
- [10] Mattar, S., Tammam, M, Mekhail, J, Mahran, O, Soliman, N, Badawy, y Zayed, Z, «eogrid Reinforcement in the Treated Base Layer of Flexible Pavements,» *Geogrid for Road Construction*, p. 235, 2021.
- [11] A. Mohajerani, H. Kurmus, D. Conti, L. Cash, A. Semcesen, M. Abdurahman y M. T. Rahman, «Environmental impacts and leachate analysis of waste rubber incorporated in construction and road materials: A review,» *Science of The Total Environment*, vol. 835, 2022.
- [12] Nautiyal, A., « Methods and factors of prioritizing roads for maintenance: a review for sustainable flexible pavement maintenance program.,» *SPRINGER*, vol. 7, p. 190, 2022.
- [13] M. Navarro, S. M. Sol y M. Rubio-Gámez, «Reuse of deconstructed tires as anti- reflective cracking mat systems in asphalt pavements,» *Construction and Building Materials*, vol. 53, pp. 182-189, 2020.
- [14] S. Saride,, R. Baadiga, . U. Balunaini y Madhav R, «Modulus Improvement Factor-Based Design Coefficients for Geogrid- and Geocell-Reinforced Bases,» *ASCE LIBRARY*, vol. 148, 2022.
- [15] Sharma, A y Chopra, T, «Development of Road Maintenance Management Systemfor India’s National Highway Network Using HDM-4 and Genetic Programming. Lecture Notes in Civil Engineering,» *NATIONAL ACADEMIES* , vol. 20, pp. 177 -187, 2020.

- [16] Sheldon, A y Blaauw, J, «Flexible pavement performance and life cycle assessment incorporating climate change impacts, Transportation Research Part,» *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 104, 2022.
- [17] Y. Tahiliani, B. Zala y P. Patel , «Economic Evaluation of a Highway Project Using HDM-4: A Case Study of Widening of Ahmedabad-Bagodara National Highway,» *SPRINGER*, vol. 219, pp. 382-399, 2022.
- [18] D. Vams y D. Harinder, «Assessment of Performance and Maintenance of,» *IOP Publishing*, vol. 982, p. 012055, 2022.
- [19] V. U. Rejani, L. Janani, K. Venkateswaralu, V. Sunitha y S. Mathew, «Strategic Pavement Maintenance and Rehabilitation Analysis of Urban Road Network Using HDM-4,» *SPRINGER*, vol. 16, pp. 927–942,, 2023.
- [20] H. Visser, S. Tetley, . T. Lewis, . K. Naidoo, T. Moolla y . J. Pillay , «A Study into the Benefit and Cost-Effectiveness of Using State-of-the-Art Technology for Road Network Level Condition Assessment,» *SPRINGER*, pp. 19-31, 2022.
- [21] . Y. Xu y . Z. Zhang, «Review of Applications of Artificial Intelligence Algorithms in Pavement Management,» *ASCE LIBRARY*, vol. 148, 2022.
- [22] . K. Zhong, . J. Fan, . G. Xu y . X. Huang, «Evaluation of Cracking Resistance of High Modulus Asphalt Mixture Containing Reclaimed Asphalt Pavement,» *ASCE LIBRARY*, vol. 148, 2022.