

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA
PARA UN MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA
AV. FELIPE SANTIAGO SALA VERRY
EVALUADO CON EL SOFTWARE HDM-4,
DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO,
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

AUTOR

SUSAN ROSMERI ROJAS TAFUR

ASESOR

JOAQUIN HERNAN ROJAS OBLITAS

<https://orcid.org/0000-0002-6521-0215>

Chiclayo, 2021

**ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA
PARA UN MANTENIMIENTO PERIÓDICO DE LA
AV. FELIPE SANTIAGO SALA VERRY
EVALUADO CON EL SOFTWARE HDM-4,
DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO,
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE**

PRESENTADA POR
SUSAN ROSMERI ROJAS TAFUR

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Wilson Martin Garcia Vera

PRESIDENTE

Manuel Borja Suarez
SECRETARIO

Joaquin Hernan Rojas Oblitas
VOCAL

Dedicatoria

A Dios por ser mi fortaleza, y a mi mamá Liliana por ser mi mejor amiga y brindarme siempre su apoyo incondicional en todo momento.

Gracias madre bella por enseñarme a ganar y perder, pero nunca darme por vencida, siempre me guías para seguir adelante, Dios siempre tiene algo mejor preparado para nosotras.

Gracias por motivarme y guiarme en todo este recorrido, no sabes la dicha que me da de ser tu hija y este es el fruto de todos nuestros esfuerzos, todo por ti mamita hermosa.

Agradecimientos

A Dios por estar siempre a mi lado para poder llegar a donde me encuentro ahora, agradezco mucho la ayuda de mis compañeros, docentes y a la universidad en general por todos los momentos y conocimientos que me han otorgado.

INDICE

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
I. INTRODUCCIÓN	10
1.2. Planteamiento del Problema	10
Formulación del problema	10
Situación Problemática	10
1.3. Justificación.....	11
1.4. Objetivos	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos	12
II. MARCO TEÓRICO.....	13
1.5. Antecedentes del problema.....	13
A nivel Nacional	13
A Nivel Internacional.	14
1.6. Bases Teórico Científicas	15
Pavimento	15
Estructura del Pavimento	15
Tipos de Pavimentos	16
La Necesidad de Conservación de los pavimentos	17
Tipos de Conservación vial.....	17
Análisis del Costo de Ciclo de Vida.....	20
Análisis de la Serviciabilidad	22
Nivel de servicio PSI.....	23
Software hdm-4.....	23
III. METODOLOGIA.....	40
3.1. Tipo y nivel de investigación	40
3.2. Diseño de investigación	40
3.3. Población, muestra y muestreo.....	41
3.4. Criterios de selección.....	42
3.5. Operacionalización de variables.....	43
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
Técnicas.....	43
Instrumentos	46
3.7. Plan de procesamiento y análisis de datos	48

3.8. Matriz de consistencia	50
3.9. Consideraciones éticas	52
IV. RESULTADOS.....	53
4.1. Diagnostico Actual de la Carretera	53
4.2. Resultados de los Ensayos de Suelos.....	54
Condiciones Climáticas	62
4.3. Ensayos de Diamantina.....	62
4.4. Estudio de Rugosidad	65
4.5. Estudio de Trafico	66
4.6. Identificación de las estaciones de conteo.....	66
4.7. Transito actual.....	67
4.8. Estudio de Topografía.....	72
Resultados de las pendientes por calzadas	73
Análisis de Zonas inundables	75
4.9. Factores alternativos para el uso de HDM-4.....	75
4.10. Especificaciones Técnicas de la Carretera	75
4.11. Resultados HDM-4.....	78
V. DISCUSION.....	82
VI. CONCLUSIONES.....	84
VII. RECOMENDACIONES.....	88
VIII. LISTA DE REFERENCIAS.	89
IX. ANEXOS.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sección típica de un pavimento asfáltico convencional	16
Figura 2. Conformación del Pavimento Rígido.....	17
Figura 3. Esquema del deterioro de un pavimento en el tiempo.....	17
Figura 4. Deterioro del pavimento según el IRI.....	21
Figura 5. Índice de Serviciabilidad Final (pt)	22
Figura 6. Valores de PSI y calificación de la serviciabilidad	23
Figura 7. Para un terreno ondulado, efectos del estado de la carretera sobre los costos de operación vehicular	26
Figura 8. Modelos del deterioro del pavimento	32
Figura 9. Tipos de segmentación.	42
Figura 10. Muestras de diamantinas - Av. Felipe Santiago Salaverry	64
Figura 11. Evolución del IRI por alternativa - BN-OQ-CD.....	78
Figura 12. Evolución del IRI por alternativa - BN-OQ-CI.....	78
Figura 13. Evolución del IRI por alternativa - OQ-OV-CD.....	79
Figura 14. Evolución del IRI por alternativa - OQ-OV-CI.....	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Mantenimiento Periódico, conservaciones y actividades.....	19
Tabla 2. Base de datos para el HDM-4.....	30
Tabla 3. Factores de Calibración propuestos para HDM-4.	39
Tabla 4. Resultados del diagnóstico de la situación actual de la avenida Salaverry	53
Tabla 5. Características de los espesores de la Av. Salaverry.	62
Tabla 6. Resultado de testigos de pavimento asfaltico.....	63
Tabla 7. Resultados de Contenido asfaltico y husos granulométricos	63
Tabla 8. Resultados de Testigos de Pavimento Rígido	64
Tabla 9. Resultados del IRI y PSI de la Av. Salaverry	65
Tabla 10. IMDA de cada Estación de conteo vehicular	67
Tabla 11. Resultados del conteo vehicular: ESTACION 01	67
Tabla 12. Resultados del conteo vehicular: ESTACION 02	67
Tabla 13. Resultados del conteo vehicular: ESTACION 03	67
Tabla 14. Índice diario media anual Estación 01.....	68
Tabla 15. Índice diario media anual Estación 02.....	68
Tabla 16. Índice diario media anual Estación 03.....	68
Tabla 17. Trafico actual porcentual por tipo de vehículo - Estación 01	69
Tabla 18. Trafico actual porcentual por tipo de vehículo - Estación 02.....	69
Tabla 19. Trafico actual porcentual por tipo de vehículo - Estación 03.....	69
Tabla 20. Proyección del Trafico 01	71
Tabla 21. Proyección del Trafico 02	71
Tabla 22. Proyección del Trafico 03	71
Tabla 23. Punto de Control Geodésico -BM.....	72
Tabla 24. Pendientes - Calzada Izquierda.....	73
Tabla 25. Pendientes - Calzada Derecha.....	74
Tabla 26. Resultado de Análisis de Zonas inundables.....	75
Tabla 27. Características Técnicas de Situación Actual 2019 – Sub Tramo 1.....	76
Tabla 28. Características Técnicas de Situación Actual 2019 - Sub Tramo 2	77
Tabla 29. Resumen de indicadores económicos por tramos.....	81

RESUMEN

La elección del tipo de pavimento en la ciudad de Chiclayo depende principalmente de la inversión inicial, olvidando otros componentes que también interviene en la vida útil de un pavimento; como los costos de usuarios y los costos de mantenimiento, lo que trae como resultado el gasto de mayores recursos a largo plazo. Se realizará un análisis del Ciclo de Vida del pavimento, para un volumen de tránsito alto de la Av. Felipe Santiago Salaverry, con el fin de alcanzar un estándar de mantenimiento periódico que asegure la vida útil de la capa de rodadura; la cual se representa por el IRI (Índice de Regularidad Internacional). Se usará el software HDM-4 que se fundamenta en el criterio del análisis del ciclo de vida de una vía y predice la evolución del IRI en el tiempo, permitiendo aplicar trabajos dependiendo de las circunstancias especificadas según los tipos de conservación.

PALABRAS CLAVE:

Pavimento, asfáltico, rígido, costo, mantenimiento, periódico, IRI, PSI, HDM-4.

ABSTRACT

The choice of the type of pavement in the city of Chiclayo depends mainly on the initial investment, forgetting other components that also intervenes in the useful life of this; as is the cost of the users and the cost of maintenance, which results in the expense of greater long-term resources. An economic analysis of the Cost of Life Cycle (ACCV) of the pavement will be carried out, for a high traffic volume of Av. Felipe Santiago Salaverry, in search of achieving a standard of periodic maintenance that guarantees the useful life of the tread layer ; which is represented by the IRI (International Regularity Index). The HDM-4 software will be used, which is based on the criterion of the analysis of the one-way life cycle and predicts the evolution of the IRI over time, allowing applications to be applied depending on the specified circumstances according to the types of conservation.

KEYWORDS

Pavement, asphalt, rigid, cost, maintenance, newspaper, IRI, PSI, HDM-4.

I. INTRODUCCIÓN

1.2. Planteamiento del Problema

Formulación del problema

¿De qué modo el análisis del ciclo de vida de la AV. Felipe Santiago Salaverry mejorara su vida útil usando software HDM-4?

Situación Problemática

En la actualidad, tanto en asfalto y concreto, las tecnologías y políticas de mantenimiento han sufrido valiosos avances. Las diferentes alternativas de mantenimiento de vías, tienen ventajas y desventajas dependiendo del proyecto que se evalúe, por ello son analizadas a nivel de tipo y costos.

Para comprender mejor la situación problemática actual de Chiclayo en cuanto a pavimentos se tiene que realizar un análisis del aspecto vial. La ciudad se ha desarrollado aproximadamente ocho veces en los últimos 30 años, en cambio, las obras viales, a cargo del Municipio, no se ha adecuado al requerimiento vehicular y no se ha realizado un plan de desarrollo que proporcione eficientes y orden en los mantenimientos de sus pavimentos. Otros de los inconvenientes es la falta de sistemas de drenaje que en épocas de lluvia el problema se agrava.

Es lamentable que calles principales de la ciudad de Chiclayo, en más de cinco oportunidades en menos de tres años de concluir el proyecto, han sido parchadas y reparchadas. Lo más lamentable es que se han realizado construcciones viales defectuosas e innecesarias.

El desarrollo económico y social está vinculado al mejoramiento y conservación de las vías de transporte porque la ciudad crece en proporción que exista la facultad de comunicarse y trasportarse. Lo complicado de los mantenimientos adecuados en las calles de la ciudad de Chiclayo es de interés para todos los ciudadanos.

Conservar nuestro patrimonio vial urbano mediante mantenimientos adecuados tanto técnica y económicamente debe ser fundamental, en la Av. Salaverry no existe un plan de mantenimiento vial acorde al tránsito por ello se requiere estudiar la mejor alternativa Técnico - Económica para desarrollar políticas de mantenimiento adecuadas.

1.3. Justificación

Preservar la vía urbana para ofrecer un excelente servicio a los usuarios y mantenerla transitable a lo largo del tiempo.

Justificación técnica

La optimización de la carretera para justificar su mantenimiento periódico permite tener información adecuada para originar un estudio del ciclo de vida de los pavimentos, favorecer información importante al analista y ocasionar que la agencia tome decisiones objetivas; es necesario contar con herramientas de análisis como el HDM-4 para inversiones en infraestructura vial.

Justificación social

Un buen mantenimiento vial urbano ocasiona una calle transitable y una perfecta serviciabilidad para los usuarios que cuentan con su movilidad propia o para los de servicio de transporte público con el fin de impedir que se deterioren y disminuyendo su mantenimiento, acorta la hora de viaje, mejora la posibilidad para el comercio.

La información obtenida en la investigación será muy conveniente para el Municipio y entidades capacitadas para autorizar la intervención y dar solución a la dificultad que se viene surgiendo en los últimos 20 años.

Justificación ambiental

Mediante mitigaciones ambientales apropiadas se generará menos impacto ambiental, seleccionar la mejor alternativa de mantenimiento facilitará el ahorro en maquinarias y por ende se reducirá la difusión de dióxido de carbono y se reducirá la producción de residuos sólidos.

Justificación económica

Determinar los costos de la mejor alternativa de mantenimiento de la vía evitara gastos innecesarios en el futuro. Por ello un mantenimiento frente a una rehabilitación resulta una alternativa económica rentable.

1.4. Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un análisis de ciclo de vida de la AV. Felipe Santiago Salaverry aplicando un mantenimiento periódico y usando el software HDM-4 justificando el beneficio de tomar decisiones a largo plazo.

Objetivos Específicos

- Estudio, evaluación y diagnóstico del estado actual de la Av. Felipe Santiago Salaverry que comprende desde el Banco de la Nación hasta el Ovalo Vianney.
- Analizar la serviciabilidad del pavimento de la Av. Felipe Santiago Salaverry mediante el análisis del IRI.
- Adaptación y modelación de la información en el software HDM-4.

II. MARCO TEÓRICO.

1.5. Antecedentes del problema

A nivel Nacional

Evaluacion Superficial del Pavimento Rigido de la Av. Salaverry Comprendido entre las Calles Pascual Saco Y Cajamarca, de la Ciudad de Chiclayo.

La Municipalidad Provincial de Chiclayo, en el presente no tiene la documentación técnica de la construcción del pavimento rígido de la Av. Felipe Santiago Salaverry, para lograr revisar indicadores de diseño de la vía. Se realizó entrevistas a ingenieros de la época de construcción, nos cuentan que la obra data de los años 70 aprox. In situ se puede verificar que el espesor es de 15 cm, y que el mencionado pavimento no cuenta con un drenaje pluvial, solo con un ligero bombeo. [1]

Comparacion de Modelos de Gestion para la Evaluacion de Inversiones de Proyectos Viales.

La presente tesis tiene como objetivo mostrar las diferencias en la estimación de costos (de operación vehicular y de tiempo de viaje) y su repercusión en evaluación para la toma de decisión de inversiones en proyectos de vialidad interurbana que surgen por la aplicación indistinta de estas herramientas. [2]

En su versión vigente denominada Highway Development and Management Model (HDM 4), es un conjunto de herramientas que facilitan la toma de decisiones a partir del análisis y optimización de inversiones destinadas al mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de carreteras, que puede ser utilizada para evaluar, en términos técnicos y económicos, proyectos, programas y políticas de conservación. El Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM 3) es una herramienta de gestión de proyectos de vialidad desarrollado por el Banco Mundial, para determinar la viabilidad económica de los proyectos y/o de las acciones de conservación de los caminos.

Según Jorge Montoya en su tesis: Implementación del Sistema de Gestión de Pavimentos con Herramienta HDM-4 para la red Vial Nro. 5 Tramo Ancon - Huacho - Pativilca, Universidad Ricardo Palma.

Los ingenieros viales se desafían con el juicio de determinar que tramos de la vía deben ser restaurados al preparar el mantenimiento y la rehabilitación en un programa plurianual.

La gran cantidad de secciones homogéneas a lo largo de la vía y los diversos mantenimientos de restauración posible hacen un gran problema debido al extenso medio de combinaciones entre las probables alternativas. [4]

Análisis y Evaluación del mantenimiento para la Conservación Vial de la Capa de Rodadura de la Vía Interdistrital Ascope - Casa Grande, Aplicando el Modelo HDM-4.

La realización de un Análisis y evaluación del mantenimiento para la conservación vial de la capa de rodadura de la vía interdistrital Ascope - Casa Grande, aplicando el modelo HDM-4. El estudio es aplicativo y descriptivo, la cual todos los registros de campo se han registrado en los formularios del sistema Paver, y se ha logrado obtener en base de las fallas existentes en la vía, la evaluación del estado de la misma, tomando en cuenta criterios como el índice de rugosidad (IRI), lo cual permitió obtener un inventario del estado actual de la vía y también se utilizó el conteo de tráfico promedio diario anual de vehículos, con toda esta información se realizó el análisis mediante la utilización del Programa HDM-4 para la calificación funcional y estructural de los pavimentos. El resultado es que se ha logrado elaborar un modelo de mantenimiento vial aplicando el programa HDM-4, que permita ser aplicado al resto de vías de la Provincia de Ascope para conservar la capa de rodadura. [6]

A Nivel Internacional.

Análisis Técnico del Tramo Compreendido entre el Km 34+160 - Km 45+100 de la Doble Calzada Bogotá - Villavicencio con Base en el Software HDM-4, Bogotá.

La utilización de modelos de simulación de deterioro en pavimentos es una herramienta importante para la planificación, diseño y construcción de proyectos

de obras viales. Este proyecto presenta la experiencia de la implementación del uso de nuevas metodologías para la planificación de proyectos viales en Colombia. Fue aplicado el software HDM-4 (Highway Design and Maintenance Standars Model), con la finalidad de decidir la mejor alternativa de mantenimiento del pavimento que requiere este tipo de infraestructura. La elaboración del proyecto se dividió en cuatro etapas: la revisión del desarrollo del modelo a cuantificación de parámetros y costos, la simulación del proceso de mantenimiento en el tramo vial de estudio y la importancia del IRI dentro de la evaluación del HDM-4. Se concluye con la determinación de las velocidades de circulación de los diversos modelos de vehículos, la irregularidad en la superficie del pavimento, la densidad vehicular en los tramos de análisis y el daño en la capa superficial de la estructura del pavimento. [10]

1.6. Bases Teórico Científicas

Pavimento

Un pavimento, pista, estacionamiento, veredas, pasajes peatonales y ciclovías son una estructura compuesta por diferentes capas de espesores variables que tienen como base toda la superficie del terreno que se encuentra dispuesto para resistir durante una etapa de diseño y dentro de una categoría de serviciabilidad.

Estructura del Pavimento

- **Superficie de Rodadura del pavimento.**

Esta capa superficial (Rígida o flexible) sirve para sostener directamente el tránsito vehicular.

- **Base.**

Es la zona menor a la capa de rodadura y es de material granular drenante (CBR > 80%), sus funciones son: distribuir, resistir y transmitir las cargas producidas por el tránsito.

- **Sub base.**

Esta zona soporta a la base y a la capa de rodadura, su componente es granular (CBR > 40%) y sus funciones son: es capa de drenaje, controla la capilaridad del agua y en algunos casos se puede obviar.

- **Sub rasante.**

Es un suelo base preparado y compactado que soporta todo el paquete estructural. Puede ser un suelo natural, pero si el terreno es malo que tiene que mejorar con materiales de buena calidad.

Tipos de Pavimentos

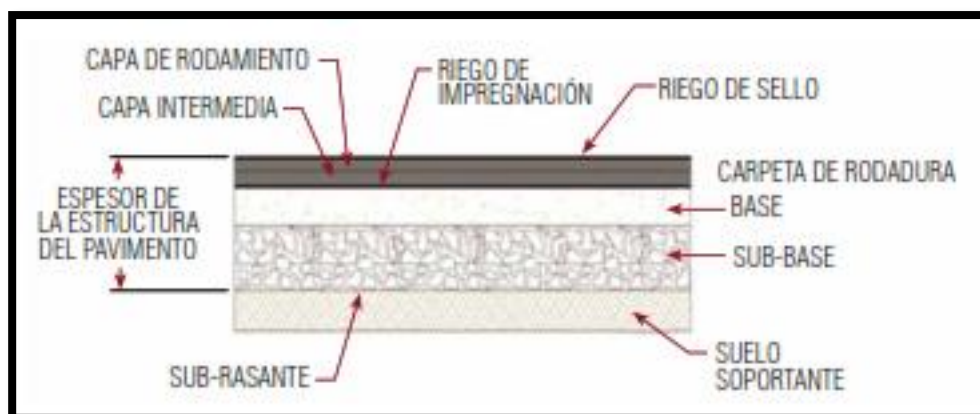
- **Pavimentos Flexibles**

Compuesta por materiales bituminosos sobre capas granulares: base y sub base.

Tiene las siguientes categorías:

2. Mortero Asfáltico
3. Tratamiento superficial bicapa
4. Micropavimento
5. Macadam asfáltico

Figura 1. Sección típica de un pavimento asfáltico convencional



Fuente. Pautas metodológicas para alternativas técnicas de pavimentos en PIP de carreteras.

- **Pavimentos Rígidos.**

Tiene tres categorías de pavimento con:

1. Concreto simple y juntas
2. Concreto reforzado y juntas
3. Concreto con refuerzo continuo.

Figura 2. Conformación del Pavimento Rígido

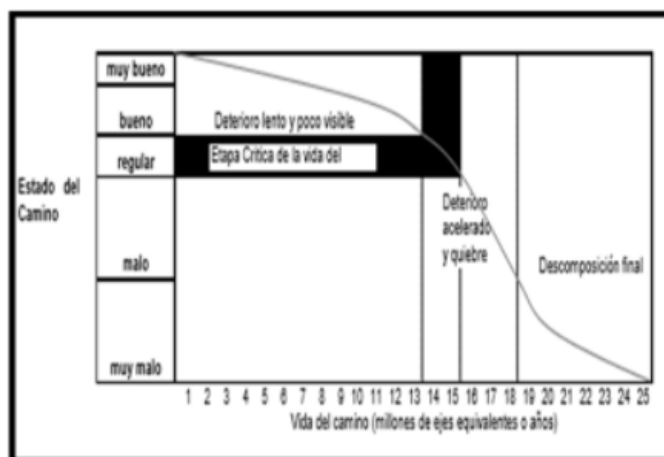


Fuente. Pautas metodológicas para alternativas técnicas de pavimentos en PIP de carreteras.

La Necesidad de Conservación de los pavimentos

La conservación de pavimentos representa la operación de mantener la capacidad de servicio se alargue durante un tiempo solicitado.

Figura 3. Esquema del deterioro de un pavimento en el tiempo



Fuente. Implementación del sistema de Gestión de Pavimentos con Herramienta HDM-4.

Tipos de Conservación vial

Para garantizar pavimentos de alta calidad sin incurrir en costos significativos a largo plazo, la conservación vial a tiempo es muy importante.

Estas conservaciones dependen del estado actual de la vía que se quiere conservar y consiste en un conjunto de actividades técnicas destinadas a conservar el buen estado de la vía con la fin de prevenir el deterioro prematuro de los componentes de la vía garantizando un servicio de calidad al usuario, se tiene los siguientes tipos de conservación:

- Mantenimiento Rutinario
- Mantenimiento Periódico
- Rehabilitación
- Mejoramiento
- Reparaciones de emergencia

Mantenimiento Rutinario

Se fundamenta en las reparaciones localizadas de pequeñas deficiencias de la superficie de rodadura y obras de arte. Este tipo de mantenimiento se destina con regularidad una o más veces al año, de acuerdo a la situación de la vía.

Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están expuestas especialmente a:

- Trabajos de limpieza
- Bacheo
- Perfilado
- Eliminación de derrumbes de pequeña magnitud
- Reparación de señales y/o elementos de seguridad
- Reparación de juntas de dilatación
- Pintura de elementos específicos de puentes
- Drenaje en la superestructura y subestructura de los puentes.

Mantenimiento periódico

Este tipo de mantenimiento se realiza en forma global después de un transcurso de tiempo determinando.

Difiere del mantenimiento rutinario en que los trabajos “periódicos” se ejecutan cada cierto número de años. Estos pueden ser tratamientos y regeneración de la

superficie de la vía. El tratamiento superficial restaura ciertos parámetros de la superficie de rodadura, con el fin de conservar servible y adecuado la estructura de la superficie de rodadura, garantizando la totalidad estructural de la carretera por un tiempo prolongado y así prevenir su destrucción.

Los periodos en que se realiza la conservación periódica en las vías pavimentadas son más de un (01) año; la inspección se centra principalmente sobre las bermas y la calzada.

Si aplicamos una conservación periódica como un micropavimento o un sello, se puede optar por el montaje de un refuerzo que alargue la vida útil de la vía por otros cinco o más años. [11]

Tabla 1. Mantenimiento Periódico, conservaciones y actividades.

Mantenimiento Periódico	
Conservación Vial	Actividades
Conservación de Pavimentos Flexibles en Calzadas y Bermas	<ul style="list-style-type: none"> • Sellos asfálticos • Imprimación reforzada de la base granular en bermas • Recapados asfálticos • Reconformación de base granular en bermas • Fresado de carpeta asfáltica • Microfresado de carpeta asfáltica • Nivelación de bermas con mezcla asfáltica
Conservación de Pavimentos Rígidos en Calzada y Bermas	<ul style="list-style-type: none"> • Resellado de: juntas en calzada y juntas en bermas • Reemplazo de losas en: calzada y bermas • Reparación de losas de: calzada en espesor total y bermas en espesor total • Conformación de base granular en bermas • Microfresado de losas en: calzada y bermas • Reemplazo de losas por pavimento flexible en: calzada y bermas

Fuente. Manual de Carreteras – Conservación Vial

Rehabilitación

La rehabilitación de las vías se halla entre las prioridades más destacadas que enfrentan las autoridades de transporte local, regional y nacional. Y su intención es restaurar la calidad de la superficie de rodadura y la capacidad estructural.

Este procede en el momento que el pavimento tiene fragmentos exorbitantemente deteriorados como para poder aguantar una mayor cantidad de tránsito posteriormente. Y en general se hace cuando no se ha conservado adecuadamente la vía y también por la falta de uniformidad en la ejecución de la obra que es complicado de evitar al instante de su construcción.

Mejoramiento

Es la incorporación de mejoras en las vías, vinculadas con:

- Ancho
- Alineamiento
- Curvatura o la pendiente longitudinal

Reparaciones de emergencia

Se ejecutan cuando la situación de la vía esta intransitable por lo tanto requiere una especial atención que debe solucionarse lo antes posible, este desenlace es por un desastre natural o por el descuido prolongado. No corrige las fallas estructurales, hace factible un flujo vehicular regular por un lapso de tiempo.

Análisis del Costo de Ciclo de Vida

El ACCV es un proceso seguro para mantener, mejorar y operar una red de diferentes vías, también está relacionado con el análisis económico donde usa datos técnicos. La naturaleza de los resultados de un ACCV depende de la calidad de los datos técnicos y de los datos económicos, incorporando la vida de servicio esperada (tanto para las actividades de rehabilitación como para la construcción inicial) de las alternativas consideradas en el estudio.

El modelo HDM-4 es una herramienta que brinda información numérica de la superficie de la vía sobre: el IRI, los ahuellamientos y el fisuramiento.

El análisis del HDM-4 se cimienta en la noción del análisis del ciclo de vida de una carretera, ya que representa la situación de la carretera durante el ciclo de vida y los costos relacionados a tales condiciones (principalmente costos de construcción, Conservación y usuarios) para un periodo (suele ser 20 años) de análisis dentro de un medio de circunstancias especificadas por el usuario del software.

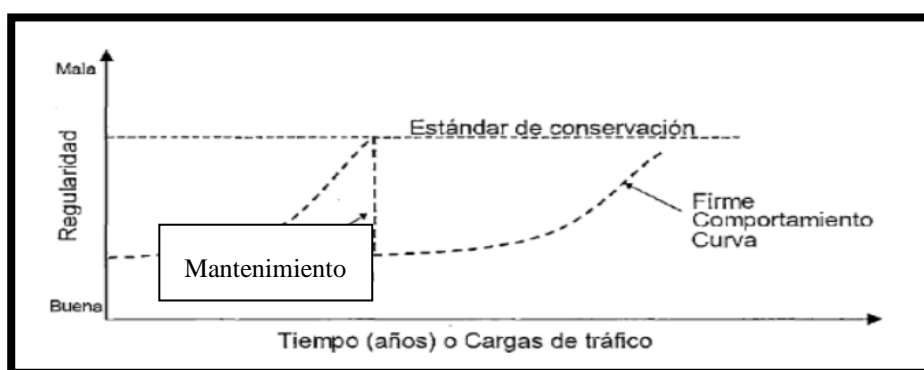
Las carreteras se deterioran como consecuencia de diferentes factores y su tasa de deterioro se relaciona con los patrones de conservación aplicados que permiten que el pavimento soporte el tráfico para el que fue diseñado.

El modelo HDM-4 es experto prediciendo:

- Las cargas de tráfico
- Efectos socioeconómicos y medioambientales
- El deterioro del pavimento
- Los efectos de las obras de mantenimiento
- Los efectos para usuarios de la carretera

Los estándares de conservación aplicados dependerán de la circunstancia de la vía como se ve la figura 3.

Figura 4. Deterioro del pavimento según el IRI



Fuente. Visión General del HDM-4

Análisis de la Serviciabilidad

Índice de serviciabilidad presente (psi)

El PSI depende del IRI que evalúa la rugosidad del pavimento mediante un instrumento que mide la rugosidad del pavimento. Mediante una escala de valores califica la superficie de rodadura, que relaciona las cualidades físicas del pavimento como: fallas, grietas, peladuras, etc., los cuales dañan la capacidad de soporte de la estructura de la vía.

Ecuación:

Donde:
$$PSI = 5 * e^{\left(\frac{-IRI}{5.5}\right)}$$

IRI en m/km

Índice de serviciabilidad inicial (po)

Se constituye como la condición original de la vía inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. AASHTO'93 decreto (si no se tiene información disponible para diseño) los siguientes valores:

- a) Para vías rígidas, un valor inicial deseable po de 4,5.
- b) Para vías flexibles un valor inicial deseable po de 4,2.

Índice de serviciabilidad final (pt)

Condición de la superficie de la vía que no cumple con la perspectiva de bienestar y confianza exigida por el usuario y compete al valor más bajo antes de que sea necesario rehabilitar o reconstruir una vía. Aquí algunos valores para el índice de serviciabilidad final.

Figura 5. Índice de Serviciabilidad Final (pt)

pt	Tipo de Vía
3,00	Expresas
2,50	Arteriales
2,25	Colectoras
2,00	Locales y estacionamientos

Fuente. CE.010 Pavimentos Urbanos

Nivel de servicio PSI

Es un indicador que califica la serviciabilidad de una vía.

Figura 6. Valores de PSI y calificación de la serviciabilidad

PSI	Calificación
0,0	Intransitable
0,1 - 1,0	Muy malo
1,1 - 2,0	Malo
2,1 - 3,0	Regular
3,1 - 4,0	Bueno
4,1 - 4,9	Muy bueno
5,0	Excelente

Fuente. CE.010 Pavimentos Urbanos

Software hdm-4

Importancia

El Banco Mundial ha desarrollado una valiosa herramienta llamada HDM-4 que con su potente sistema de evaluación de alternativas de inversión y gestión de carreteras considera enfoques dinámicos que se logró con el conocimiento técnico de las necesidades y diversos problemas gerenciales de muchos países.

Desarrollo histórico

HDM (Highway Development and Management)	
1968	<p>El Instituto de Tecnología de Massachussets (MIT), desarrollo una encuesta y construyo un modelo (Modelo de costos de carreteras), en el cual se relacionó costos de: carreteras, conservación, operación vehicular y se indicó los campos en los que era necesario investigar para relacionar los ambientes de cada país.</p> <p>El Laboratorio de Investigación de Transporte y Caminos (TRRL), realizo un estudio de campo muy grande en Kenya para indagar en el deterioro de carreteras con y sin pavimento, como resultado se obtuvo un modelo de ordenador (RTIM), para evaluar costos de un proyecto de inversión vial en una nación en desarrollo.</p>

1976	El Banco Mundial desarrollo investigaciones más profundas generando una concesión de contrato de investigación a MIT lo que dio origen al Modelo de estándares de diseño y conservación de vías. Del cual resulto un análisis económico dividiendo la vía en segmentos homogéneos y desarrollando análisis automáticos de: crecimiento y tasas de descuento.
Caribe	Por TRRL se realizó un estudio de los costos de operación vehicular de una carretera que dependía de la geometría.[4]
India	El Instituto central de investigación de carreteras analizo los problemas de la estrechez de calzadas y el gran volumen de transporte de animales.[4]
Brasil	Se investigo sobre la validez de modelos realizados por UNDP. [4]
Modelos paralelos	TRLL y la tecnología de la Universidad de Birmingham desarrollaron la versión de RTIM2 para microordenadores.
1993	Desarrollado por el TRLL, RTIM3
1994	El Banco Mundial desarrollo: HDM-Q Diseñado para integrar los efectos de la congestión del tráfico dentro del programa HDM [4] HDM Gestor Diseñado para dotar una versión a través de menús de HDM-III [4]
Bases	El análisis de proyectos de vías se apoya en la interacción entre los costos de operación de los vehículos y el costo de las obras y, según los distintos estudios internacionales desarrollados se adaptaron al modelo distintas características de vías y vehículos.
200	Incorporaron características técnicas como: ❖ Estado de los pavimentos Uso de las carreteras: nuevos modelos de vehículos, actualización de las características de los mismos, se han integrado los efectos de la congestión; los accidentes e impacto medioambiental.

Reseña

Simplifican la toma de decisiones a partir de la optimización y análisis de inversiones destinadas al mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de vías, que puede ser usadas para evaluar, en términos técnicos y económicos, proyectos, programas y políticas de conservación. [3]

Esta herramienta se fundamenta en el cálculo de las relaciones físicas y económicas originado de un amplio estudio sobre:

- El deterioro de las carreteras.
- El efecto de la conservación de las mismas.
- Los costes de operación de los vehículos.

El HDM-4 para calcular una serie de opciones de conservación y mejora se basa en los siguientes modelos:

- **Deterioro de la carretera.**

Admite pronosticar para un periodo de análisis específico por el usuario:

- la evolución del estado físico de las vías en función de las solicitaciones impuestas por el tránsito, condiciones climatológicas y del pavimento.
- Estima los efectos de las obras de conservación y mejoramiento más usuales.

- **Los efectos de conservación.**

Representa los efectos de las obras en el estado del firme y define los costes correspondientes. [3]

- **Efectos para los usuarios.**

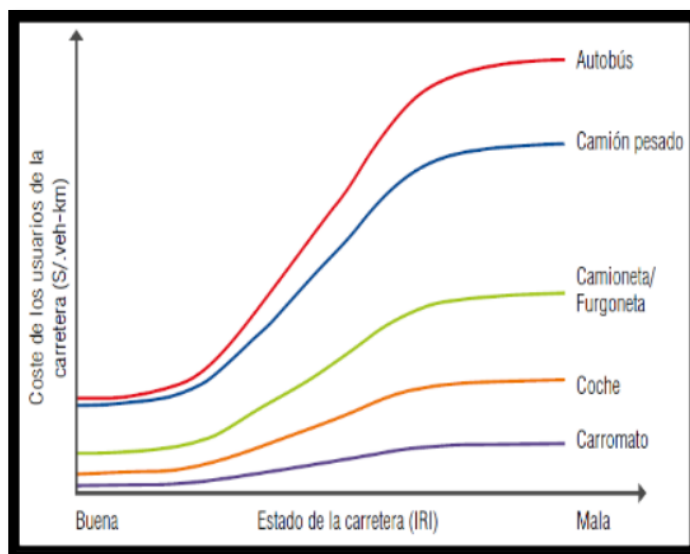
Este modelo calcula:

- Los efectos del estado físico.
- Las condiciones de operación de las vías.

- **Efectos sociales y medio ambientales.**

Precisa los efectos de las emisiones de los vehículos y el consumo de energía.

Figura 7. Para un terreno ondulado, efectos del estado de la carretera sobre los costos de operación vehicular



Fuente. Visión General del HDM-4

Para especificar cuáles son las medidas de conservación más favorables para la red estudiada, el ingeniero tiene que evaluar lo siguiente:

- Costos de operación de los vehículos en competencia del estado de cada vía.
- Determinar los costos anuales de la administración de vías para cada una de las alternativas de conservación específicas.
- Evaluar las opciones de conservación, obteniendo la comparación económica de las mismas.

Configuración General del HDM-4

El HDM-4 permite evaluar políticas de desarrollo y gestión de una red vial.

La Pantalla de bienvenida proporciona acceso a los principales servicios y está proyectada para enseñar con los conceptos y características de software:

- Base de Datos
- Niveles de Análisis
- Módulo de Configuración

Base de datos:**a) Módulo de Redes de Carreteras**

Está estructurado mediante “ficheros” asequibles desde la pantalla, que adoptan inscribir en forma sistematizada la información dentro de cada ficha el grupo de datos que forman el inventario de secciones de la red. Estos son:

- Denominación, longitud y clasificación funcional de la sección.
- Clima.
- Datos de tránsito: TMDA de vehículos motorizados y no motorizados.
- Datos de diseño geométrico.
- Datos de estructura de pavimentos.

b) Módulo de Flotas

Autoriza ingresar las primordiales propiedades de los vehículos que constituyen las flotas que circularán sobre las diversas secciones y luego se puede modificar de acuerdo a la objetividad propia de cada país o región. Se configura de la siguiente manera:

- Denominación del vehículo
- Clase
- Vehículo tipificado básico con sus propios parámetros por defecto.

En la ventana de ingreso de propiedades básicas del vehículo se especifica lo siguiente:

- Equivalencia en vehículos livianos (para análisis de capacidad).
- Número de ejes y de neumáticos.
 - Utilización anual.
 - Vida útil estimada.
 - Número de pasajeros.
 - Equivalencia de cargas (ESAL/vehículo).

Oprimiendo el botón “Calibración”, se accede a una ventana adicional que permite ingresar datos específicos sobre:

- Potencia
- Factores correctores de velocidad

- Consumos de combustible y lubricantes
- Desgaste de neumáticos
- Repuestos y taller
- Emisiones contaminantes

c) Módulo de Estándares de Conservación y Mejora

Están formados por un grupo de actividades que se ejecutan de manera programada, en un tiempo definido. Determinando estándares para mejorar la funcionalidad y condición de la vía.

Clasificación de los estándares:

1) Estándares de Conservación

Se usan en actividades que mejora únicamente la condición de la vía.

Para las vías flexibles se tiene:

- El sellado de grietas.
- Lechadas asfálticas.
- Lechadas asfálticas.
- Tratamientos superficiales.
- Relleno de huella.
- Refuerzos con mezcla en caliente.
- Riegos de neblina.
- Refuerzos con mezcla en caliente.
- Microrrefuerzos.
- Mezcla abierta en frío, con asfaltos polimerizados, etc.

Para vías de concreto rígido, se tiene las siguientes actividades:

- Sellado de juntas.
- Reemplazo de losas.
- Reparación de espesor total o parcial.
- Cepillado con discos de diamante.
- Refuerzos adheridos de hormigón, etc.

Tanto para pavimento flexible como de concreto rígido se debe especificar las siguientes características:

- Diseño de la actividad.
- Momento y condiciones de aplicación.
- Los costos y los efectos sobre el estado del pavimento (funcional como estructural).

2) Estándares de Mejora

Estos estándares mejoran la condición y la funcionalidad global de la vía. Se pueden realizar tanto en pavimentos asfálticos como en rígidos.

d) Módulo de Configuración

En este módulo se puntualiza propiedades generales relativas como:

- Patrones de tránsito.
- Relación de velocidad/capacidad.

Tabla 2. Base de datos para el HDM-4

PREPARACION DE DATOS	
Recopilación y procesamiento de información.	
RED DE CARRETERAS	<ul style="list-style-type: none"> • Agrupación en familias de tramos. • Parámetros de diseño geométrico. • Tipo y estado del pavimento. • Volumen y composición del tránsito. • Datos medioambientales.
FLOTA VEHICULAR	<ul style="list-style-type: none"> • Colección de vehículos representativos que circulan por la red de carreteras. • Especificar una serie de características físicas y costos unitarios de cada vehículo. • El HDM-4 usa esta información para calcular los costos de operación vehicular, costos para el usuario de la carretera e indicadores de rentabilidad para alternativas de inversión.
ESTANDAR DE IRI	<ul style="list-style-type: none"> • Conjunto de niveles de servicio expresados en términos del IRI. • Califica el desempeño de los tramos de carretera mediante una escala del tipo bueno-regular-malo. • Es referencia para desencadenar la ejecución de obras de conservación periódica o reconstrucción.
ESTANDAR DE CONSERVACION	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento rutinario. • Conservación periódica.

DATOS DE CONFIGURACION	<ul style="list-style-type: none"> • Datos complementarios necesarios para llevar a cabo el análisis con el HDM-4. • Información sobre la distribución horaria del tránsito. • Capacidad de la carretera. • Tasas de accidentalidad. • Zonas climáticas. • Muchos de los datos anteriores son irrelevantes para el tipo de análisis considerados en la metodología por lo que se usan valores por defecto del HDM-4 en la mayoría de casos.
-------------------------------	---

Fuente. Instituto Mexicano del Transporte

Niveles de Análisis

Módulo de Análisis de Proyectos

Este módulo determina la estrategia más conveniente a aplicar en un proyecto y permite definir parámetros generales de la evaluación, como:

- El período de análisis.
- Las monedas de entrada y de salida.
- Seleccionar cuál sección y flota se analizarán.
- Establecer la distribución porcentual de los diferentes tipos de vehículos integrantes de la flota.

Los indicadores económicos entregados por el programa (VAN, TIR, etc.), admiten relacionar entre las alternativas y definir aquella que sea más rentable, o lo que es equivalente, de mínimo costo actualizado. Según el presupuesto disponible, el analista podrá decidir qué opción seleccionar para cumplir con las necesidades de la red en estudio. [3]

Módulo de Análisis de Programas

Este módulo admite evaluar una red de múltiples secciones simultáneamente que solicitan diferentes actividades de conservación o rehabilitación.

Módulo de Análisis de Estrategias

Tiene propiedades semejantes al módulo de análisis de programas y puede generar estrategias optimizadas de rentabilidad.

Modelos de Deterioro

Deterioro del Pavimento

Las vías se averían a través del tiempo efectos combinados del:

- Tránsito.
- Factores climáticos.

La rugosidad de los pavimentos es la consecuencia de un encadenamiento y combinación interactiva de los siguientes mecanismos de deterioro:

- Primero se inicia por el agrietamiento que se extiende en la superficie generando fisuras hasta el punto que aparece el desprendimiento del árido y luego los baches.
- Luego las grietas abiertas en la superficie y el deficiente mantenimiento de los sistemas de drenaje hacen posible que el agua penetre en la estructura del pavimento.
- Se modelan de manera secuencial (rugosidad) e individual (textura y fricción).

Se modelan en el orden siguiente:

Figura 8. Modelos del deterioro del pavimento



Fuente. Propia

Estos deterioros se clasifican en tres categorías:

Deterioro de la Carpeta

Fase de Inicio (comienzo del deterioro de la carpeta) y Fase de Progreso (el área inicia a sufrir un deterioro severo). La rotura del borde incluye una progresión continua.

- Fisuración
- Rotura del borde
- Bacheo
- Desprendimiento del árido

Deformación

Son parte del deterioro del perfilado, se calculan desde el deterioro del perfilado en el año analizado.

- Rodera
- Regularidad

Textura de la capa de Rodadura

Estos modelos son continuos y se modelizan únicamente a través de su progreso.

- Profundidad de la textura
- Coeficiente de rozamiento

Parámetros principales de la Modelización

Se utilizan en la evaluación de un año a otro.

Características Estructurales del Pavimento

Medidas de la resistencia del:

- Pavimento
- Tipos de materiales
- Calidad de la construcción
- Espesor de la capa
- Rigidez de la explanada.

Condición de la Carretera

Al iniciar el año evaluado se requieren datos del drenaje lateral y de la condición de la carretera.

Historial del Pavimento

Se hace mención a la edad de la vía y se definen así:

- **EDAD1.**
Es la edad del tratamiento preventivo.
- **EDAD2.**
Es la edad del perfilado.
- **EDAD3.**
Es la edad de la rehabilitación.

- **EDAD4.**

Es la edad de la construcción básica.

Geometría de la Carretera y Medioambiente

- Anchura de la calzada.
- Anchura de las bermas.
- Precipitación media mensual.
- Alineamiento vertical.

Tráfico

- Las características del tráfico.
- Los vehículos definidos por el usuario.
- El promedio anual de velocidades del tráfico.

Procedimiento del cálculo

- Inicio de registro de datos y condiciones al comienzo del año
- Cálculo de los indicadores de resistencia de la vía
- Cálculo de la suma de cambios de cada modelo de deterioro durante el año analizado, en el siguiente orden:
 - Fisuración
 - Desprendimiento del árido
 - Áreas con baches
 - Rotura del borde
- Fiscalización de que el total de la calzada, con o sin deterioro, sea igual al 100% a partir de los límites definidos para cada forma de deterioro y determinación de la cantidad de cada uno al final del año y del valor promedio de cada año.
- Cálculo del cambio en cada forma de deterioro durante el año y determinación de la cantidad de cada uno al final del año y del valor promedio de cada año.
- Cálculo del cambio en cada forma de deterioro de textura superficial durante el año y determinación de la cantidad de cada uno al final del año y del valor promedio de cada año.

- Reserva de los resultados para su uso en subsecuentes módulos (RUE, WE, SEE,) y en el siguiente año analizado, así como para propósitos de obtener informes.

Descripción del Desarrollo de los Deterioros

Para configurar los modelos de deterioro mencionados antes, se necesita transformar en sus equivalentes áreas de la capa.

- La fisuración inicial se da en el área sin desperfectos y luego es saturada, en el área desprendida, si existe.
- El desprendimiento se forma en el área sin desperfectos.
- Los baches se dan en áreas fisuradas, con desprendimiento o sin desperfectos.
- Se aplica un margen máximo del 10% al área de baches. La capa del pavimento se definiría como en malas condiciones y la función de regularidad sería invalidada.
- La rotura del borde se desarrolla en áreas fisuradas, con desprendimiento y sin desperfectos y aunque sean reparadas, un área con rotura del borde no se puede volver un área con baches, con fisuración, con desprendimiento o sin desperfectos.
- Un margen superior del 18% se impone al área de rotura del borde. Este valor se basa en la premisa de que la rotura del borde no se dispersará más allá de 0,5 metros a partir del borde de un pavimento de 5,5 metros de ancho.

Fisuramiento

Importante deterioro de los pavimentos bituminosos.

La aceleración del resquebrajamiento se da por la propagación de la fisuración como producto del paso del tiempo, la adicción de agua y esto debilita las capas del pavimento.

El Fisuramiento se considera bajo dos formas:

Fisuras Estructurales

El inicio de la fisura estructural empieza en el instante que el 0.5% del área de la carpeta de rodadura está fisurada. El está en función:

- Calidad de la construcción (CDS).
- Tipo de pavimento.
- El agrietamiento previo en caso de los refuerzos.
- Espesores de capas constituyentes, viejas y nuevas.
- Número Estructural.
- Los ESAL.
- El retardo de la fisuración por mantenimiento.

Fisuración Termal transversal térmico

Se produce por condiciones climáticas extremas: cálido y árido, y frío con congelamiento.

Desprendimiento del Árido

Se habla de desprendimiento en un tramo determinado de la vía cuando el 0.5% del área de carpeta de rodadura se clasifica como desprendida.

Baches

Evoluciona en una capa de rodadura que anteriormente:

- Sufrió desprendimiento del árido.
- Se fisuro.
- Ambos.

Rotura del Borde

Es la pérdida de la capa de rodadura y de los materiales de la base al borde del pavimento, provocado por golpes y desgaste.

Su unidad de medida es en metros cuadrados por kilómetro.

Ahuellamiento

Es la deformación constante, irrecuperable o arruinada por el tráfico en las capas del pavimento canalizadas en huellas, y se acumulan con el tiempo transformándose en roderas.

Este modelo se desarrolla después del análisis de todos los deterioros de la capa como:

- Fisuración.
- Rotura del borde.

- Desprendimiento.
- Áreas de baches.

Y al final del año que esté siendo evaluado. Se basa en cuatro factores:

Densificación Inicial

Se aplica a las reconstrucciones o construcciones nuevas capas de la base.

Depende del:

- Número Estructural.
- Tránsito pesado (ESAL).
- Compactación relativa de capas de base, sub base y capas subyacentes.

Deformación Estructural

Depende de las variables anteriores y cuando se presentan grietas incluyen las precipitaciones.

Deformación Plástica

Se da únicamente en la capa superficial y depende:

- Espesor.
- Cargas.
- Velocidad de vehículos pesados.

Desgaste de la capa

El modelo se acomoda a ambientes donde los vehículos utilizan neumáticos con clavos durante los periodos helados.

Rugosidad

Esta en función de elementos que sumados dan la rugosidad proporcional total (IRI):

- Componente Estructural
- Componente de Condición Superficial
- Componente de Medio ambiente

Profundidad de la textura

Está relacionada con la macrotextura de la vía y los cambios que le ocurren es causado por el desgaste y la compactación de la acción del tráfico.

Coefficiente de Rozamiento Transversal

Esta bajo la influencia de la Microtextura.

Para modelizar el coeficiente de rozamiento transversal el usuario deberá fijar un valor de SFC50, este factor es obtenido a través del equipo SCRIM. En el Perú, los datos de fricción son elevados con el péndulo inglés, que son datos a 60 km/h.

Factores de Calibración de los Deterioros

La calibración se basa en definir factores k que posibiliten un excelente ajuste entre las predicciones del modelo y los datos sacados de campo.

Los modelos de deterioro incluyen factores que posibilitan la calibración local.

Tabla.3

Tabla 3. Factores de Calibración propuestos para HDM-4.

Categoría	Tipo de Estructura	Clima Zona	Nivel de Tránsito	Nivel de Deflexión	Agrietamiento				P. Aridos		Baches		Ahuellamiento regla 1.2 m			Ahuellamiento regla 2 m			Rugosidad		
					Kcia	Kcpa	Kciw	Kcpw	Kvi	Kvp	Kpi	Kpp	Krid	Krst	Krpd	Krid	Krst	Krpd	Kgm	IRlo	Kgp
1A	DOBLE TRATAMIENTO ASFALTICO	NORTE	BAJO	MEDIA	1.86	0.61	1.25	0.75	1.00	0.37	0.00	s/d	0.50	0.50	n/d	0.50	1.00	n/d	0.43	2.70	1.90
2A		SUR	BAJO	MEDIA	s/d	s/d	s/d	s/d	0.67	0.67	0.00	s/d	1.00	1.00	n/d	1.10	2.00	n/d	1.74	2.00	0.10
3A		CENTRO	BAJO	ALTA	0.71	0.45	1.44	0.27	0.50	0.65	0.33	0.45	0.76	0.50	n/d	1.00	1.00	n/d	1.30	2.50	0.10
4A		SUR	BAJO	ALTA	1.43	1.44	0.83	0.20	0.50	0.58	0.38	0.16	0.76	0.50	n/d	1.00	1.00	n/d	1.74	2.00	0.10
5A		CENTRO	MEDIO	ALTA	1.17	0.71	0.80	0.40	0.50	0.36	0.29	0.70	0.50	1.00	n/d	0.74	1.00	n/d	1.30	2.00	1.65
6A		SUR	MEDIO	ALTA	0.83	0.87	0.75	0.42	0.83	0.75	0.00	0.41	0.50	1.00	n/d	1.00	1.00	n/d	1.74	2.00	0.10
9B		CENTRO	BAJO	MEDIA	s/d	s/d	s/d	s/d	0.33	1.00	s/d	s/d	0.50	0.50	n/d	0.77	0.50	n/d	1.30	2.30	0.30
11B		CENTRO	MEDIO	MEDIA	s/d	s/d	s/d	s/d	0.50	0.37	s/d	s/d	0.50	1.00	n/d	0.58	1.00	n/d	1.30	2.70	0.90
12B		SUR	MEDIO	MEDIA	1.29	1.16	0.82	0.58	0.67	0.50	0.00	0.20	0.92	0.50	n/d	1.20	1.00	n/d	1.74	2.00	0.10
FACTOR MEDIO GLOBAL DTA					1.22	0.87	0.98	0.44	0.61	0.58	0.14	0.38	0.66	0.72	n/d	0.88	1.06	n/d	1.40	2.24	0.58
10B	MEZCLA ASFÁLTICA (ORIGINAL Y RECAPADO)	NORTE	MEDIO	BAJA	1.40	1.88	0.88	0.76	n/a	n/a	s/d	s/d	0.50	0.10	0.4	0.50	1.00	0.10	0.43	1.60	0.01
7A		SUR	ALTO	BAJA	1.00	0.33	0.80	0.22	n/a	n/a	0.70	1.95	n/d	0.10	0.1	n/d	0.10	0.10	1.74	0.80	0.10
8A		NORTE	ALTO	MEDIA	0.60	0.30	1.00	0.55	n/a	n/a	s/d	s/d	n/d	1.00	0.1	n/d	1.00	0.10	0.43	1.20	4.20
13B		NORTE	ALTO	BAJA	0.60	0.30	1.00	0.54	n/a	n/a	s/d	s/d	n/d	0.10	0.1	n/d	0.10	0.10	0.43	1.80	0.10
14B		SUR	ALTO	MEDIA	s/d	s/d	s/d	s/d	n/a	n/a	s/d	s/d	n/d	0.10	0.1	n/d	0.10	0.10	1.74	0.80	0.10
FACTOR MEDIO GLOBAL MEZCLA ASFÁLTICA					0.90	0.70	0.92	0.52	n/a	n/a	0.70	1.95	0.50	0.28	0.16	0.50	0.46	0.10	0.95	1.24	0.90

s/d: sin datos para la calibración

n/a: el modelo no considera este deterioro en este tipo de pavimento

n/d: no hay dato disponible para este nivel del factorial, dado que no existe o no hay información suficiente para deducirlo

Fuente: Calibración de Modelos de Comportamiento HDM de Pavimentos Asfálticos a las Condiciones de Chile

III. METODOLOGIA.

3.1. Tipo y nivel de investigación

Tipo de Investigación

La investigación realizada es aplicada, pues está orientada hacia la satisfacción de un dilema objetivo el cual ha sido analizado con el propósito de resolver adecuadamente el problema mediante una planificación estratégica.

Nivel de Investigación

Por la esencia de la investigación agrupa características descriptivas, debido al estudio profundo del estado real in situ y a la recolección detallada y evaluada mediante estudios normados para luego relacionarlos con los patrones establecidos en los manuales, normas y leyes vigentes para su precedente utilización.

3.2. Diseño de investigación

Formulación de la Hipótesis.

La planificación del mantenimiento de la Av. Felipe Santiago Salaverry basada en una información determinante, una evaluación del pavimento, conocimiento de estrategias y el uso del software HDM-4 en su evaluación mejorara la vida útil de la avenida.

Diseño de contrastación de Hipótesis.

Estudio del IRI (International Roughness Index)

Es una unidad de medición de las cualidades superficiales del pavimento que sirve para determinar la serviciabilidad del mismo.

El ACCV (Análisis del costo del ciclo de vida del pavimento)

Es una técnica de análisis económico que determina cuánto durará una alternativa de diseño o de rehabilitación de un pavimento o cómo se desempeñará. La calidad de los resultados de un ACCV necesita de los datos económicos y de la calidad de los datos técnicos, incluyendo la vida de servicio esperada (tanto para la construcción inicial como para las actividades de rehabilitación) de las alternativas consideradas.

Software HDM-4

El HDM-4 realiza tres modelos de evaluación: de estrategias, de programa y de proyecto. Para implementar la metodología propuesta en este proyecto con el fin de maximizar la reducción del IRI al menor costo, el análisis de estrategias resulta el más adecuado.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

El tamaño de la población es de 1659.62 m de longitud de la Av. Felipe Santiago Salaverry para un volumen de tránsito alto que cuenta con dos calzadas, cuatro carriles, el primer tramo es pavimento rígido (Banco de la Nación al Ovalo Quiñones) y el segundo tramo es de pavimento asfáltico (Ovalo Quiñones al Ovalo Vianney).

Muestra

Sub Tramo 01 – Pavimento Rígido: Banco de la Nación – Ovalo Quiñones

- Calzada Derecha (0+000 - 1+100 Km)
- Calzada Izquierda (0+500 – 1+659.62 Km)

Sub Tramo 02 - Pavimento Flexible: Ovalo Quiñones – Ovalo Vianney

- Calzada Derecha (1+100 – 1+620.83 Km)
- Calzada Izquierda (0+000 - 0+500 Km)

Muestreo

Las muestras de estudio son las siguientes:

- Se estudiará 2 sub tramos de pavimento de la Av. Salaverry:
 1. Del Banco de la Nación hasta el Ovalo Quiñones, pavimento rígido.
 2. Del Ovalo Quiñones hasta el Ovalo Vianney, pavimento flexible.
- El estudio del IRI se realizó en cuatro tramos de 400 m desde el ovalo Vianey hasta el Banco de la Nación y viceversa para ambas calzadas.
- Para el estudio de suelos se elaboro cuatro calicatas a lo largo de la vía:
 1. Entre el Jr. Federico Villareal y la Av. Salaverry.
 2. Entre el Jr. Puno y la Av. Salaverry.

3. Entre el Jr. Insurrección y la Av. Salaverry.
 4. Entre Jr. Los Naranjos y la Av. Salaverry.
- El análisis de diamantinas se realizó en cuatro muestras a lo largo de la vía.
 1. Dos diamantinas en el pav. rígido.
 2. Dos diamantinas en el pav. flexible.
 - El levantamiento topográfico se desarrolló en todo el tramo de la avenida Salaverry.

3.4. Criterios de selección

La Av. Felipe Santiago Salaverry se dividirá en tramos, subtramos y segmentos para su respectivo estudio como señala la siguiente imagen.

Tramo:

Es la carretera individual que conforma el conjunto de vías de comunicación proyectadas.

Subtramo:

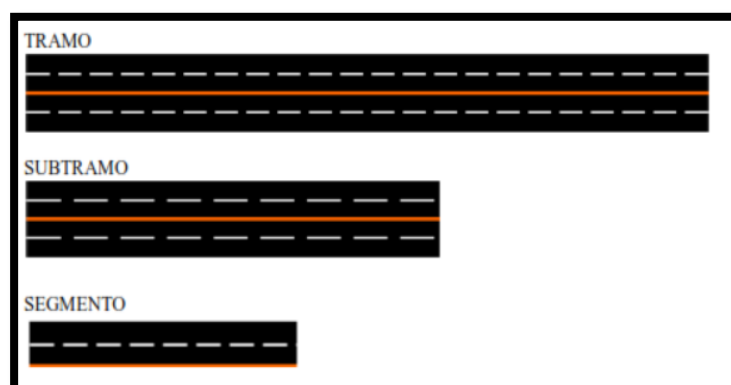
Es la subdivisión de un tramo de carretera cuya longitud va a depender del tipo de pavimento y esencialmente cuenta con dos segmentos.

En general la longitud no debe de exceder de 15 kilómetros ni ser menor de 5 kilómetros. [12]

Segmento:

Son cada uno de los fragmentos en se subdivide un subtramo teniendo en cuenta el sentido de circulación vehicular.

Figura 9. Tipos de segmentación.



Fuente. Cortesía Grupo Triada

3.5. Operacionalización de variables

VARIABLE	INDICADOR	MEDICION
VARIABLE INDEPENDIENTE Mantenimiento Periódico	Análisis mecánico por Tamizado	Corrección de la Plataforma
	Granulometría	
	Clasificación SUCS	
	Límites de Atterberg	
	CBR	Tratamientos Superficiales
	Diamantinas	
VARIABLE DEPENDIENTE Ciclo de Vida Útil del Pavimento	Lavado Asfáltico	Deterioro de la Vía
	Precipitaciones	
	IMDA (Índice Medio Anual)	
	Flota vehicular	Condición del Pavimento
	Nivel de Servicio	
	Características Técnicas de la Avenida	Serviciabilidad del Pavimento
	IRI (Índice de Rugosidad Internacional)	
PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)		

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

Estudio de tráfico

Es un registro del tránsito real en la carretera de una zona de estudio específica para calcular la cantidad de vehículos (IMDA) y se utilizara un formato simple del recuento vehicular del MTC.

Estudio de rugosidad

Para el estudio se utilizó el rugosímetro MERLIN (Machine for Evaluating Roughness using low- cost Instrumentation) como método de evaluación para medir la rugosidad.

Estudio topográfico

Representar gráficamente en un plano una porción de terreno con el objetivo de determinar las pendientes, orografías, perfil longitudinal, características de la ubicación y altitud de la zona de estudio.

Estudio de suelos

Estudia la mecánica de suelos da a conocer la estratigrafía, los componentes físicos y mecánicos del suelo y se determina mediante una serie de ensayos normados.

Contenido de Humedad

Es el volumen de agua de un material definido bajo ciertas condiciones y expresado como porcentaje de la masa del elemento húmedo, es decir, la masa original incluyendo la sustancia seca y cualquier humedad presente. Y debe cumplir:

NTP 339.127 (Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo)

ASTM D 2216 (Estándar Test Method of Laboratory Determination of Water - Moisture- Content of Soil and Rock)

MTC E 10 (Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo).

Granulometría

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

NTP 339.128 (Análisis granulométrico por tamizado)

NTP 400.012 (Método de ensayo de Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global)

ASTM D 422

MTC E 107 (Análisis granulométrico de suelos por tamizado)

MTC E 204 (Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos)

Ensayo CBR

Valor relativo de soporte de un suelo que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo. N.T.P 339.145 / ASTM D-1883

Ensayo de Proctor modificado

Determina la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de un suelo compactado.

NTP 339.141 / ASTM D – 1557 (Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada 2700 kN-m/m³ – 56000 pie-lbf/pie³)

Límites de Atterberg

Los límites de consistencia usados en ingeniería son: limite líquido, limite plástico.

NTP 339.129 / ASTM D – 4318 (Método de ensayo para determinar el limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de suelos)

Limite Liquido (LL)

Es el contenido de humedad expresado en % ya que el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico.

Limite Pastico (LP)

Es el contenido de humedad expresado en % ya que el suelo se halla en el límite entre los estados plástico y semisólido.

Ensayos de extracción de briquetas del pavimento asfáltico

Para sacar estas muestras se usa un taladro de corte diamantino teniendo en cuenta:

MTC E 501 (Toma de muestras de mezclas asfálticas para pavimentos)

MTC E 514 (Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca)

MTC E 508 (Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimentos)

MTC E 508 / MTC E 514 (Porcentaje de vacíos de la muestra)

MTC E 505 (Porcentaje de vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas densas y abiertas)

MTC E 507 (Espesor o altura de especímenes compactados de mezclas de pavimento asfáltico)

MTC E 509 (Determinación del grado de compactación de una mezcla bituminosa)

Ensayos de extracciones de testigos de pavimento rígido

Se regula por las siguientes normas:

MTC E 704 (Resistencia a la compresión testigos cilíndricos)

MTC E 707 (Toma de núcleos y vigas en concretos endurecidos)

MTC E 712 (Medida de la longitud de núcleos de concreto)

Instrumentos

Programas de cómputo:

AutoCAD

Civil 3D

Microsoft Office (Word, Excel)

HDM-4

S10 Presupuestos 2005

Ms Project

Laboratorio de Mecánica de Suelos

Tamices

Horno

Moldes de Proctor

Moldes de CBR

Equipo para límites de Atterberg

Seguridad personal y laboral en campo

Cascos contra golpes

Protectores auditivos pasivos

Guantes de descarné

Calzado de seguridad industrial para trabajo pesado

Conos de seguridad vial

Seguridad personal y laboral en el laboratorio

Taladro de corte diamantino

Ensayo de compresión simple

Gafas de montura universal

Guantes de algodón con puntos PVC

Calzado de seguridad industrial para trabajo pesado

Pruebas de lavado asfáltico

Mascarillas filtrantes contra gases y vapores

3.7. Plan de procesamiento y análisis de datos

FASE I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Recopilación de información bibliográfica y antecedentes del proyecto.

Análisis de información de proyectos similares.

Revisión de la normativa nacional vigente.

Revisión de ensayos disponibles.

Revisión parcial por parte del asesor.

FASE II: ESTUDIOS, OBTENCIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE SUELO

Investigar datos históricos condiciones climáticas.

Sectorizar por tramos el proyecto.

Determinar puntos de investigación para el análisis de tráfico.

Estudio vial mediante el análisis de tráfico.

Determinar el número de puntos de investigación de suelo y pavimento.

Realizar estudios de laboratorio de muestras: suelo y pavimento.

Evaluar el IRI (Índice de Rugosidad Internacional) de la superficie del pavimento.

Analizar el PSI (Índice de Serviciabilidad Presente).

Realizar diamantinas.

Hacer estudios complementarios.

Capacitación del Software HDM-4.

Trabajo de gabinete.

Análisis de resultados

Revisión parcial por parte del asesor.

FASE III: MODELACION EN HDM-4

Modelar el desempeño del pavimento.

Predecir el deterioro del pavimento durante su vida útil.

Calcular los efectos de acciones de conservación y mejoramiento del pavimento.

Estimar costos de operación vehicular y otros propios de los usuarios de la infraestructura vial.

Estimar costos de operación vehicular y otros propios de los usuarios de la infraestructura vial.

Calcular indicadores de rentabilidad como el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR).

Calcular los montos de inversión necesarios para mantener determinado nivel de servicio de la avenida.

Análisis interpretación de resultados del nivel de servicio de infraestructura (IRI).

Elección de la alternativa de mejor valor.

Revisión parcial por parte del asesor.

FASE IV: ANALISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA DEL PAVIMENTO

Elegir un periodo de análisis.

Cuantificar costos iniciales y futuros de las alternativas de mejor valor.

Comparar los costos que representan las alternativas de mejor valor del pavimento.

Elegir la alternativa económica más eficiente.

Revisión parcial por parte del asesor.

FASE V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Análisis e interpretación de resultados.

Elección de la mejor alternativa.

Redacción de conclusiones y recomendaciones.

Definición de fecha y sustentación de tesis.

Revisión parcial por parte del asesor.

**FASE VI: PRESENTACIÓN FINAL PREVIA CORRECCIÓN,
IMPRESIONES Y EXPOSICIÓN**

Presentación del proyecto definitivo a los jurados.

Levantamiento de observaciones.

Impresión del proyecto definitivo.

Definición de fecha de sustentación Final de tesis.

3.8. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>¿De qué modo el mantenimiento de la AV. Felipe Santiago Salaverry mejorara su vida útil usando el software HDM-4?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL. Desarrollar un análisis de ciclo de vida de la AV. Felipe Santiago Salaverry aplicando un mantenimiento periódico y usando el software HDM-4 justificando el beneficio de tomar decisiones a largo plazo.</p> <p>OBJETIVOS ESPECIFICOS.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudio, evaluación y diagnóstico del estado actual de la Av. Felipe Santiago Salaverry que comprende desde el Banco de la Nación hasta el Ovalo Vianney. • Analizar la serviciabilidad del pavimento de la Av. Felipe Santiago mediante el análisis del IRI. • Adaptación y modelación de la información en el software HDM-4. 	<p>La planificación del mantenimiento de la AV. Felipe Santiago Salaverry basada en una información determinante, una evaluación del pavimento, conocimiento de estrategias y el uso del software HDM-4 para su análisis mejora la vida útil de la avenida.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE Mantenimiento Periódico</p> <p>Indicadores de la V.I:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis mecánico por Tamizado • Granulometría • Clasificación SUCS • Límites de Atterberg • CBR • Diamantinas • Lavado Asfáltico <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Indicadores de la V.D:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precipitaciones • IMDA • Flota vehicular • Nivel de Servicio • Características Técnicas de la Avenida. • IRI, PSI. 	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN: Descriptiva.</p> <p>ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN: Infraestructura vial y Sistema de Transporte.</p> <p>POBLACION Y MUESTRA:</p> <p>POBLACION:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1659.62 m m de la Av. Felipe Santiago Salaverry. <p>MUESTRA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 02 tramos de pavimento: rígido y flexible. • 04 calicatas y 04 diamantinas.

3.9.Consideraciones éticas

El investigador se compromete a respetar a brindar resultados legítimos y confiables que se realizó en un laboratorio certificado con muchos años de experiencia en la industria de la construcción

Esta investigación reúne, acepta y se compromete con los valores morales como el respeto y la honestidad esencialmente ya que rigen las acciones realizadas en este proyecto de tesis.

IV. RESULTADOS.

4.1. Diagnostico Actual de la Carretera

Se realizo una investigación en la Municipalidad Provincial de Chiclayo y no se encontró información histórica de la zona de estudio, actualmente no existe el expediente técnico de la construcción del pavimento de la Av. Felipe Santiago Salaverry. Se realizo entrevistas a varios ingenieros sobre la época de construcción y nos relatan que la Avenida data de los años 70 aprox. Ver ANEXO 13.

Tabla 4. Resultados del diagnóstico de la situación actual de la avenida Salaverry

Tramo – 01	Carpeta Rígida: Banco de la Nación – Ovalo Quiñones
Tramo – 02	Carpeta Flexible: Ovalo José Abelardo Quiñones Gonzales – Ovalo Vianney
Clasificación de Vía	Colectora
Perfiles Estratigráficos	4 puntos de investigación ubicados en los cruces de vías (puntos intermedios) que permitieron establecer la estratigrafía a lo largo de la vía.
Profundidad de investigación	1.50 m por debajo de la cota de rasante final de la vía
C-1 (M-1 / M-2)	CALICATA N° 01: Entre el Jr. Federico Villareal y la Av. Salaverry
C-2 (M-1 / M-2)	CALICATA N° 02: Entre el Jr. Puno y la Av. Salaverry
C-3 (M-1 / M-2)	CALICATA N° 03: Entre el Jr. Insurrección y la Av. Salaverry
C-4 (M-1 / M-2)	CALICATA N° 04: Entre Jr. Los Naranjos y la Av. Salaverry

Fuente. Propia.


4.2. Resultados de los Ensayos de Suelos

Los ensayos desarrollados de las muestras de suelo encontradas en la avenida Salaverry (4 calicatas). **VER ANEXO 12.**


ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS		
CALICATA N° 01: Entre el Jr. Federico Villareal y la Av. Salaverry		
PROFUNDIDAD: 0.15 m - 0.43 m – CALZADA: Derecha		
C-1 / M-1: Arcilla limo arenoso de baja plasticidad con grava		
		
ENSAYO	NORMA	RESULTADO
CONTENIDO DE HUMEDAD	NTP 339.127	4.47%
LIMITE LIQUIDO	NTP 339.129	19.7 %
LIMITE PLASTICO	NTP 339.129	14.9 %
INDICE DE PLASTICIDAD	NTP 339.129	4.8 %
CLASIFICACION SUCS	NTP 339.128	CL-ML
CLASIFICACION AASHTO		A-4 (5)
PROCTOR	MAXIMA DENSIDAD SECA	2.169 g/cm ³

NTP 339.141	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	12.1%
CBR	NTP 339.145	3.4%
ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS		
CALICATA N° 02: Entre el Jr. Federico Villareal y la Av. Salaverry Entre el Jr. Puno y la Av. Salaverry PROFUNDIDAD: 0.15m – 0.43m – CALZADA: Izquierda		
C-2 / M-1: Grava limo arcillosa		
		
ENSAYO	NORMA	RESULTADO
CONTENIDO DE HUMEDAD	NTP 339.127	1.21%
LIMITE LIQUIDO	NTP 339.129	18.4%
LIMITE PLASTICO	NTP 339.129	11.6%
INDICE DE PLASTICIDAD	NTP 339.129	6.8%
CLASIFICACION SUCS	NTP 339.128	GC-GM
CLASIFICACION AASHTO		A-4 (2)
PROCTOR	MAXIMA DENSIDAD SECA	2.189 g/cm ³

NTP 339.141	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	6.3%
CBR	NTP 339.145	84.5%
ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS		
CALICATA N° 02: Entre el Jr. Federico Villareal y la Av. Salaverry Entre el Jr. Puno y la Av. Salaverry		
PROFUNDIDAD: 0.43 m-1.50 m – CALZADA: Izquierda		
C-2 / M-2: Arena arcillosa		
		
ENSAYO	NORMA	RESULTADO
CONTENIDO DE HUMEDAD	NTP 339.127	16.34%
LIMITE LIQUIDO	NTP 339.129	36.1%
LIMITE PLASTICO	NTP 339.129	18.1%
INDICE DE PLASTICIDAD	NTP 339.129	18.1%
CLASIFICACION SUCS	NTP 339.128	SC
CLASIFICACION AASHTO		A-6 (3)

PROCTOR NTP 339.141	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.882 g/cm ³
	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	14.8%
CBR	NTP 339.145	10.1%
ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS		
CALICATA N° 03: Entre el Jr. Insurrección y la Av. Salaverry		
PROFUNDIDAD: 0.10 m – 0.60 m – CALZADA: Izquierda		
C-3 / M-1: Grava limosa		
		
ENSAYO	NORMA	RESULTADO
CONTENIDO DE HUMEDAD	NTP 339.127	1.63%
LIMITE LIQUIDO	NTP 339.129	14%
LIMITE PLASTICO	NTP 339.129	12.1%
INDICE DE PLASTICIDAD	NTP 339.129	1.8%
CLASIFICACION SUCS	NTP 339.128	GM

CLASIFICACION AASHTO		A-2-4 (0)
PROCTOR NTP 339.141	MAXIMA DENSIDAD SECA	2.136 g/cm ³
	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	7.6%
CBR	NTP 339.145	81.5%
ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS		
CALICATA N° 03: Entre el Jr. Insurrección y la Av. Salaverry PROFUNDIDAD: 0.60 m - 1.70 m – CALZADA: Izquierda		
C-3 / M-2: Arena arcillosa		
		
ENSAYO	NORMA	RESULTADO
CONTENIDO DE HUMEDAD	NTP 339.127	16.34%
LIMITE LIQUIDO	NTP 339.129	38.3%
LIMITE PLASTICO	NTP 339.129	17.5%
INDICE DE PLASTICIDAD	NTP 339.129	20.8%

CLASIFICACION SUCS	NTP 339.128	SC
CLASIFICACION AASHTO		A-2-6 (0)
PROCTOR NTP 339.141	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.926 g/cm ³
	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	12.9%
CBR	NTP 339.145	9.7%
ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS		
CALICATA N° 04: Entre Jr. Los Naranjos y la Av. Salaverry PROFUNDIDAD: 0.9 m – 0.90 m – CALZADA: Derecha		
C-4 / M-1: Grava limosa		
		
ENSAYO	NORMA	RESULTADO
CONTENIDO DE HUMEDAD	NTP 339.127	4.32%
LIMITE LIQUIDO	NTP 339.129	16.8%
LIMITE PLASTICO	NTP 339.129	13.7%
INDICE DE PLASTICIDAD	NTP 339.129	3.1%

CLASIFICACION SUCS	NTP 339.128	GM
CLASIFICACION AASHTO		A-4 (3)
PROCTOR NTP 339.141	MAXIMA DENSIDAD SECA	2.170g/cm ³
	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	6.9%
CBR	NTP 339.145	61.7%

ENSAYOS DE MECANICA DE SUELOS		
CALICATA N° 04: Entre Jr. Los Naranjos y la Av. Salaverry PROFUNDIDAD: 0.90 m - 1.80 m – CALZADA: Derecha		
C-3 / M-2: Arena arcillosa		
		
ENSAYO	NORMA	RESULTADO
CONTENIDO DE HUMEDAD	NTP 339.127	19.50%
LIMITE LIQUIDO	NTP 339.129	33.5%
LIMITE PLASTICO	NTP 339.129	18.6%
INDICE DE PLASTICIDAD	NTP 339.129	18.6%
CLASIFICACION SUCS	NTP 339.128	SC
CLASIFICACION AASHTO		A-2-6 (2)
PROCTOR NTP 339.141	MAXIMA DENSIDAD SECA	1.922g/cm ³
	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	12.4%
CBR	NTP 339.145	3.2%

Condiciones Climáticas

Datos Climatológicos	
Índice de humedad	3
Duración de estación seca	5 meses
Precipitación mensual	2 mm
Precipitación en febrero	12 mm
Rango promedio de temperaturas	18-19°
Días con temperaturas mayores a 32°	0 días
Altitud de la zona	20 metros

4.3. Ensayos de Diamantina

Ver ANEXO 14.

Tabla 5. Características de los espesores de la Av. Salaverry.

Tipo de Pavimento	Referencia	Calzada	Capas	Espesor Carpeta (cm)
Pavimento Asfaltado (Carpeta Rígida)	Banco de la Nación – Ovalo Quiñonez	Derecha #01	Recapeo 3cm	15.0
		Izquierda # 02	Recapeo 4cm	15.0
Pavimento Asfaltado (Carpeta flexible)	Ovalo Quiñonez – Ovalo Vianney	Izquierda # 03	1° Capa	3.0
			2° capa	6.8
		Derecha #04	1° Capa	3.2
			2° capa	5.9

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 6. Resultado de testigos de pavimento asfáltico

Nº de Briqueta	Ubicación		Espesor Total (cm)	Numero de capas	Espesores de capas (cm)	Espesor ensayado (cm)	Peso de la briqueta al Aire (gr)	Peso de la briqueta con Superficie Saturada (gr)	Peso de la Briqueta al Agua (gr)	Volumen de la Briqueta (cm ³)	Peso Unitario (gr/cm ³)	Densidad de Marshal de Diseño * (gr/cm ³)	Compactación (%)	Flujo	Estabilidad
01	CALZADA IZQUIERDA (#03)	1ª Capa	3.0	1	3.0	3.0	610.0	613.1	342.8	270.3	2.257	2.300	98.1	12.0	884.0
02		2ª capa	6.8	1	6.8	6.8	1113.0	1117.1	624.1	493.0	2.258	2.300	98.2	13.0	981.3
03	CALZADA DERECHA (#04)	1ª Capa	3.2	1	3.2	3.2	635.0	638.2	356.9	281.3	2.257	2.300	98.1	11.0	849.0
04		2ª capa	5.9	1	5.9	5.9	1008.0	1011.1	567.1	444.0	2.270	2.300	98.7	12.0	923.0

Fuente. Información recabada de campo y laboratorio de Suelos y Pavimentos S.A.C

Tabla 7. Resultados de Contenido asfáltico y husos granulométricos

Nº de Briqueta	Ubicación	Contenido de Asfalto	Especificación (MAC-2)							
			100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8
01	CALZADA IZQUIERDA (#3)	5.31	100	83.4	72.1	63.2	45.3	21.2	10.2	5.3
02	CALZADA DERECHA (#4)	5.34	100	84.7	72.9	63.6	43.7	20.6	10.3	5.0

Fuente. Información recabada de campo y laboratorio de Suelos y Pavimentos S.A.C

Tabla 8. Resultados de Testigos de Pavimento Rígido

TESTIGO	UBICACIÓN ESTRUCTURA		RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN N kg/cm ²	ALTURA (cm)	DIAMETRO	AREA (cm ²)	FECHA	ESBELTEZ	CARGA	RESISTENCIA	RESISTENCIA CORREGIDA POR ESBELTEZ kgf/cm ²	PROMEDIO (%)
N°						ROTURA	ROTURAS kgf		Kgf/cm ²			
1	CALZADA DERECHA 2° R.A. (#01)	Recapeo 4 cm	210	15.0	7.0	38.48	22/05/2019	2.14	9851.2	255.98	255.98	121.89
2	CALZADA IZQUIERDA 1 1/2° R.A. (#02)	Recapeo 3 cm	210	15.0	7.0	38.48	22/05/2019	2.14	9914.4	257.62	257.62	122.68

Fuente. Información recabada de campo y laboratorio de Suelos y Pavimentos S.A.C

Figura 10. Muestras de diamantinas - Av. Felipe Santiago Salaverry



Fuente. Propia

4.4. Estudio de Rugosidad

Para la presente evaluación del IRI se efectuó con el rugosímetro de Merlín en las 4 huellas de la Av. Felipe Santiago Salaverry, no se obtuvo un alto índice de rugosidad en ninguna de las calzadas porque el estado de la estructura del pavimento con carpeta asfáltica tanto para el ovalo Quiñonez hasta el ovalo Vianey como para el pavimento rígido con recapeo asfáltico desde el Banco de la Nación hasta el ovalo Quiñonez no reflejan deformaciones. El estado de transitabilidad de la vía es regular. Ver ANEXO 16

Tabla 9. Resultados del IRI y PSI de la Av. Salaverry

Tramo	Ubicación		Calzada	Huella	Progresiva (km)		IRI	PSI	CALIFICACION
	Desde	Hasta			Inicio	Fin			
S A A V L E A N V I E D R A R Y	Ovalo Vianey	Banco de la Nación	Derecha	Derecha	0+000	0+400	3.66	2.6	Regular
					0+400	0+800	2.93	2.9	Regular
					0+800	1+200	3.26	2.8	Regular
					1+200	1+600	3.61	2.6	Regular
				Izquierda	0+000	0+400	3.56	2.6	Regular
					0+400	0+800	2.92	2.9	Regular
					0+800	1+200	3.43	2.7	Regular
					1+200	1+600	2.73	3.0	Regular
	Banco de la Nación	Ovalo Vianey	Izquierdo	Derecha	1+600	1+200	3.06	2.9	Regular
					1+200	0+800	3.95	2.4	Regular
					0+800	0+400	4.1	2.4	Regular
					0+400	0+000	3.08	2.9	Regular
				Izquierda	1+600	1+200	3.55	2.6	Regular
					1+200	0+800	2.81	3.0	Regular
					0+800	0+400	3.94	2.4	Regular
					0+400	0+000	4.79	2.1	Regular

Fuente. Elaboración propia.

4.5. Estudio de Trafico

Los modelos de vehículos que circulan en la zona de estudio son: automóvil, station wagon, camionetas, micro y bus, esta información se ha usado para analizar un mantenimiento periódico en la Av. Felipe Santiago Salaverry. El EAL no ha sido usado en esta tesis porque no se ha realizado ningún tipo de diseño de carretera.

En la flota vehicular del HDM-4 existe una base para cada tipo de vehiculo motorizado y no motorizado, los datos bases han sido tomados del documento “Parametros requeridos y opcionales para uso de HDM” de la Oficina General de Planeamiento y Presupuesto, Oficina de Inversiones del MTC de mayo del 2011.

Aquí será importante conocer el tráfico que circula en la avenida y la tasa de crecimiento. Por lo general las tasas de crecimiento del tránsito varían entre 2% y 6%. Para este estudio hemos usado un 5% de tasa de crecimiento anual de tránsito. Ver ANEXO 11

4.6. Identificación de las estaciones de conteo.

Pavimento rígido (Banco de la Nación – Ovalo Quiñonez):

Estación 1 de conteo vehicular, Av. Salaverry entre la calle Iturregui – calle Federico Villareal

Estación 2 de conteo vehicular, Av. Salaverry entre la calle Tumbes - calle Loreto

Pavimento flexible (Ovalo Quiñonez – Ovalo Vianney):

Estación 3 de conteo vehicular, Av. Salaverry entre calle Las Violetas - Calle La Quinoa

4.7. Transito actual

Tabla 10. IMDA de cada Estación de conteo vehicular

Estación	Carretera	Ubicación	IMDA (Vehículos)
01	Av. Felipe Santiago Salaverry	Entre la Calle Federico Villareal y la Av. Salaverry (Puente Peatonal)	39202
02		Entre la Calle Tumbes Norte y Calle Loreto	35923
03		Entre la calle Las Violetas y calle Quinua	35591

Fuente. Elaboración Propia

Resumir los conteos de tránsito a nivel del día y tipo de vehículo

Tabla 11. Resultados del conteo vehicular: ESTACION 01

Tipo de Vehículo	Tráfico Vehicular en dos Sentidos por Día		
	Viernes	Sábado	Domingo
Automovil	24758	35875	34892
STATION WAGON	1784	2561	3745
CAMIONETAS	7357	8457	7524
MICRO	92	115	200
BUS	34	50	75
TOTAL	34025	47058	46436

Fuente: Propia.

Tabla 12. Resultados del conteo vehicular: ESTACION 02

Tipo de Vehículo	Tráfico Vehicular en dos Sentidos por Día		
	Viernes	Sábado	Domingo
Automovil	24858	35975	34992
STATION WAGON	1809	2586	3770
CAMIONETAS	7360	8460	7527
MICRO	115	138	223
BUS	44	60	85
TOTAL	34186	47219	46597

Fuente: Propia

Tabla 13. Resultados del conteo vehicular: ESTACION 03

Tipo de Vehículo	Tráfico Vehicular en dos Sentidos por Día		
	Viernes	Sábado	Domingo
Automovil	24658	35775	34792
STATION WAGON	1749	2526	3745
CAMIONETAS	7344	8444	7511
MICRO	73	100	185
BUS	14	20	30
TOTAL	33838	46865	46263

Fuente: Propia.

Determinar los factores de corrección promedio de una estación de peaje cercano al camino

F.C.E. Vehículos ligeros: **1.04081752**

F.C.E. Vehículos

pesados:

1.07666897

Tabla 14. Índice diario media anual Estación 01

Tipo de Vehículo	Tráfico Vehicular en dos Sentidos por Día			TOTAL SEMANA	IMD _s	FC	IMD _a
	Viernes	Sábado	Domingo				
Automovil	24758	35875	34892	194557	27794	1.04081752	28928
STATION WAGON	1784	2561	3745	15226	2175	1.04081752	2264
CAMIONETAS	7357	8457	7524	52766	7538	1.04081752	7846
MICRO	92	115	200	775	111	1.07666897	119
BUS	34	50	75	295	42	1.07666897	45
TOTAL	34025	47058	46436	263619	37660		39202

Fuente. Propia

Tabla 15. Índice diario media anual Estación 02

Tipo de Vehículo	Tráfico Vehicular en dos Sentidos por Día			TOTAL SEMANA	IMD _s	FC	IMD _a
	Viernes	Sábado	Domingo				
Automovil	24858	35975	34992	195257	27894	0.94964707	26489
STATION WAGON	1809	2586	3770	15401	2200	0.94964707	2089
CAMIONETAS	7360	8460	7527	52787	7541	0.94964707	7161
MICRO	115	138	223	936	134	0.98978249	132
BUS	44	60	85	365	52	0.98978249	52
TOTAL	34186	47219	46597	264746	37821		35923

Fuente. Propia

Tabla 16. Índice diario media anual Estación 03

Tipo de Vehículo	Tráfico Vehicular en dos Sentidos por Día			TOTAL SEMANA	IMD _s	FC	IMD _a
	Viernes	Sábado	Domingo				
Automovil	24658	35775	34792	193857	27694	0.94964707	26299
STATION WAGON	1749	2526	3745	15016	2145	0.94964707	2037
CAMIONETAS	7344	8444	7511	52675	7525	0.94964707	7146
MICRO	73	100	185	650	93	0.98978249	92
BUS	14	20	30	120	17	0.98978249	17
TOTAL	33838	46865	46263	262318	37474		35591

Fuente. Propia

Demanda Actual

Tabla 17. Trafico actual porcentual por tipo de vehículo - Estación 01

Tipo de Vehículo	IMD	Distribución (%)
Automovil	28928	73.79
STATION WAGON	2264	5.78
CAMIONETAS	7846	20.01
MICRO	119	0.30
BUS	45	0.11
IMD	39202	100.00

Fuente. Propia

Tabla 18. Trafico actual porcentual por tipo de vehículo - Estación 02

Tipo de Vehículo	IMD	Distribución (%)
Automovil	26489	73.74
STATION WAGON	2089	5.82
CAMIONETAS	7161	19.93
MICRO	132	0.37
BUS	52	0.14
IMD	35923	100.00

Fuente. Propia

Tabla 19. Trafico actual porcentual por tipo de vehículo - Estación 03

Tipo de Vehículo	IMD	Distribución (%)
Automovil	26299	73.89
STATION WAGON	2037	5.72
CAMIONETAS	7146	20.08
MICRO	92	0.26
BUS	17	0.05
IMD	35591	100.00

Fuente. Propia

Demanda Proyectada

Tasa de crecimiento por región en %

$r_{vp} = 0.97\%$ (Tasa de crecimiento anual de vehículos ligeros)

$r_{vc} = 3.45\%$ (Tasa de crecimiento anual de vehículos pesados)

Tabla 20. Proyección del Trafico 01

Tipo de Vehículo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Tráfico Normal	9267	9359	9453	9549	9645	9742	9841	9940	10041	10142	10245	10348	10453	10560	10667	10775	10885	10996	11108	11221	11336
STATION WAGON	1784	1801	1819	1836	1854	1872	1890	1909	1927	1946	1965	1984	2003	2023	2042	2062	2082	2102	2123	2143	2164
CAMIONETAS	7357	7428	7500	7573	7647	7721	7796	7871	7948	8025	8103	8181	8261	8341	8422	8503	8586	8669	8753	8838	8924
MICRO	92	95	98	102	105	109	113	117	121	125	129	134	138	143	148	153	158	164	169	175	181
BUS	34	35	36	38	39	40	42	43	45	46	48	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67

Fuente. Propia

Tabla 21. Proyección del Trafico 02

Tipo de Vehículo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Tráfico Normal	9328	9423	9517	9614	9712	9810	9911	10012	10114	10217	10321	10428	10534	10642	10752	10862	10974	11088	11202	11318	11435
STATION WAGON	1809	1827	1844	1862	1880	1898	1917	1935	1954	1973	1992	2012	2031	2051	2071	2091	2111	2132	2152	2173	2194
CAMIONETAS	7360	7431	7503	7576	7650	7724	7799	7875	7951	8028	8106	8185	8264	8344	8425	8507	8589	8673	8757	8842	8927
MICRO	115	119	123	127	132	136	141	146	151	156	161	167	173	179	185	191	198	205	212	219	227
BUS	44	46	47	49	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	71	73	76	78	81	84	87

Fuente. Propia

Tabla 22. Proyección del Trafico 03

Tipo de Vehículo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
Tráfico Normal	9180	9271	9363	9456	9551	9645	9741	9839	9937	10037	10136	10238	10341	10444	10549	10654	10762	10870	10979	11089	11201
STATION WAGON	1749	1766	1783	1800	1818	1835	1853	1871	1889	1908	1926	1945	1964	1983	2002	2022	2041	2061	2081	2101	2121
CAMIONETAS	7344	7415	7487	7560	7633	7707	7782	7857	7934	8011	8088	8167	8246	8326	8407	8488	8571	8654	8738	8822	8908
MICRO	73	76	78	81	84	86	89	93	96	99	102	106	110	113	117	121	126	130	134	139	144
BUS	14	14	15	15	16	17	17	18	18	19	20	20	21	22	23	23	24	25	26	27	28

Fuente. Propia

4.8. Estudio de Topografía

La vía actual se desarrolla en la zona costera, cuya topografía es plana. Su altitud varía entre 25 a 29 m.s.n.m.

Para el punto de control geodésico BM se consultó a ingenieros especialistas en topografía y me recomendaron tomar como punto de referencia en el Ovalo Quiñones para realizar la topografía del proyecto que consistió en colocar un GPS en el punto con coordenadas conocidas y sacar una ficha geodésica (Tabla 23).

Tabla 23. Punto de Control Geodésico -BM

Punto de Control Geodésico - BM	
Descripción	E-01
Elevación	21.200 m
Latitud	S6° 46' 12.33"
Longitud	W79° 51' 18.89"
Coordenadas UTM	WGS 84
N	9251517.4853 m
E	626508.3622 m

Fuente. Datos de campo

Resultados de las pendientes por calzadas

Para más detalles de la planta y perfil longitudinal de la calzada derecha e izquierda de la Av. Salaverry ver ANEXO 20.

Tabla 24. Pendientes - Calzada Izquierda

Ovalo Quiñones – Banco de la Nación		
Calzada Izquierda		
PROGRESIVA (Km)	ELEVACION (msnm)	PENDIENTE (%)
0+500.00	21.197	
0+771.12	22.010	0.38
0+969.79	20.482	-0.77
1+659.62	20.789	0.04

Ovalo Quiñones – Ovalo Vianney		
Calzada Izquierda		
PROGRESIVA (Km)	ELEVACION (msnm)	PENDIENTE (%)
0+000.00	20.591	
		0.14
0+117.48	21.299	0.95
		-1.52
0+289.90	20.066	-0.29
0+469.20	20.957	0.50
		-0.78
0+560.00	21.197	1.61

Fuente. Datos de campo y gabinete.

Tabla 25. Pendientes - Calzada Derecha

Banco de la Nación - <u>Ovalo</u> Quiñones		
Calzada Derecha		
PROGRESIVA (Km)	ELEVACION (msnm)	PENDIENTE (%)
0+000.00	20.757	
0+695.80	20.567	-0.03
0+838.90	21.606	0.73
1+009.96	21.882	0.16
1+140.00	20.831	-0.81

Ovalo Quiñones – Ovalo Vianney		
Calzada Derecha		
PROGRESIVA (Km)	ELEVACION (msnm)	PENDIENTE (%)
1+140.00	20.831	
1+336.11	20.014	-0.42
1+505.76	20.700	0.40
1+620.83	20.507	-0.17

Fuente. Datos de campo y gabinete.

Análisis de Zonas inundables

En base a la información de campo recogida mediante el levantamiento topográfico se hizo un análisis de superficie para identificar las zonas inundables. Y se encontró que la zona con mayor probabilidad de inundación es la de color verde con un área de 11948.427 m² y se ubica entre el sub tramo Ovalo Quiñones – Ovalo Vianney. Para más detalles ver **ANEXO 18**.

Tabla 26. Resultado de Análisis de Zonas inundables

Zonas Inundables en la Av. Salaverry					
#	ELEV. MINIMA	ELEV. MAXIMA	COLOR	AREA	DESCRIPCION
1	19.500	20.500	VERDE	11948.427	Zona con mayor probabilidad de inundación.
2	20.500	21.500	CELESTE	48600.389	
3	21.500	22.500	NEGRO	11955.840	

Fuente. Datos de trabajo de campo y gabinete.

4.9. Factores alternativos para el uso de HDM-4

Esta información ha sido tomada de la oficina general de planeamiento y presupuesto – oficina de inversiones del MTC y corresponde a parámetros de carreteras donde nos indican:

- Los factores de corrección para convertir precios privados a precios sociales.
- Costo modular de operación vehicular a precios económicos.
- Precios unitarios de los insumos de costos de operación vehicular.

Ver **ANEXO 19**.

4.10. Especificaciones Técnicas de la Carretera

Tabla 27. Características Técnicas de Situación Actual 2019 – Sub Tramo 1

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA AV. SALAVERRY BANCO DE LA NACION – OVALO QUIÑONES SITUACION ACTUAL (AÑO 2019)		
DATOS	CALZADA DERECHA	CALZADA IZQUIERDA
Progresiva Inicial	Km. 0 + 000	Km. 1 + 659.62
Progresiva Final	Km. 1 + 100	Km. 0 + 500
Zona Climática	Costa	Costa
Clase Carretera	Autopista de 1° clase	Autopista de 1° clase
Tipo Firme	Pavimento de Concreto Rígido con Recapeo Asfáltico	Pavimento de Concreto Rígido con Recapeo Asfáltico
Longitud (Km)	1+100.00	1+159.62
Ancho de calzada (m)	6.60	6.60
Bombeo de calzada	2%	2%
Numero Carriles	2	2
TRAFICO		
Motorizado (IMD)	39202	
Año	2019	2019
Sentidos	Ambos	
GEOMETRIA		
Pendientes (m/km)	Ver tabla 51.	Ver tabla 50.
Velocidad Limite (km/h)	60	60
Altitud (msnm)	Ver tabla 51.	Ver tabla 50.
FIRME		
Tipo Material	Pavimento de Concreto Rígido con Recapeo Asfáltico	Pavimento de Concreto Rígido con Recapeo Asfáltico
Espesor Reciente (mm)	150	150
ESTADO		
Estado al final del año	2019	2019
Regularidad IRI (m/km)	3.26	3.66

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28. Características Técnicas de Situación Actual 2019 - Sub Tramo 2

CARACTERISTICAS TECNICAS DE LA AV. SALAVERRY OVALO QUIÑONES – OVALO VIANNEY SITUACION ACTUAL (AÑO 2019)		
DATOS	CALZADA DERECHA	CALZADA IZQUIERDA
Progresiva Inicial	Km. 1 + 100.00	Km. 0+000.00
Progresiva Final	Km. 1 + 620.83	Km. 0 + 500.00
Zona Climática	Costa	Costa
Clase Carretera	Autopista de 1º clase	Autopista de 1º clase
Tipo Firme	Pavimento Flexible	Pavimento Flexible
Longitud (Km)	0+579.17	0+500.00
Ancho de calzada (m)	6.60	6.60
Bombeo de calzada	2%	2%
Numero Carriles	2	2
TRAFICO		
Motorizado (IMD)	35591	
Año	2019	2019
Sentidos	Ambos	
GEOMETRIA		
Pendientes (m/km)	Ver tabla 51.	Ver tabla 50.
Velocidad Limite (km/h)	60	60
Altitud (msnm)	Ver tabla 51.	Ver tabla 50.
FIRME		
Tipo Material	Pavimento Flexible	Pavimento Flexible
Espesor Reciente (mm)	91	98
ESTADO		
Estado al final del año	2019	2019
Regularidad IRI (m/km)	3.26	3.66

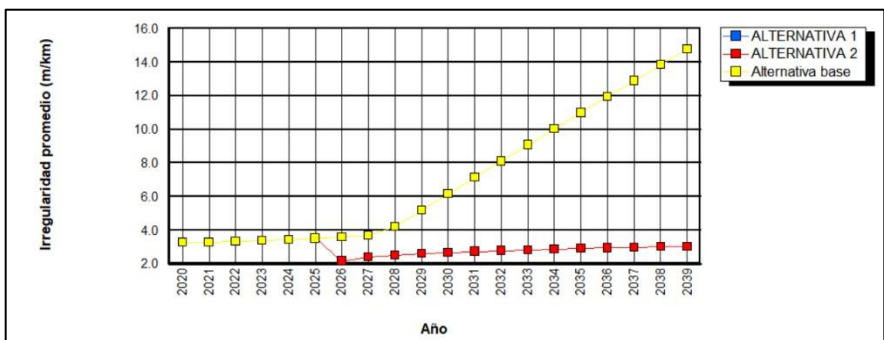
Fuente: Elaboración Propia

4.11. Resultados HDM-4

Irregularidad promedio por tramo:

Banco de la Nación – Ovalo Quiñones
Calzada Derecha

Figura 11. Evolución del IRI por alternativa - BN-OQ-CD

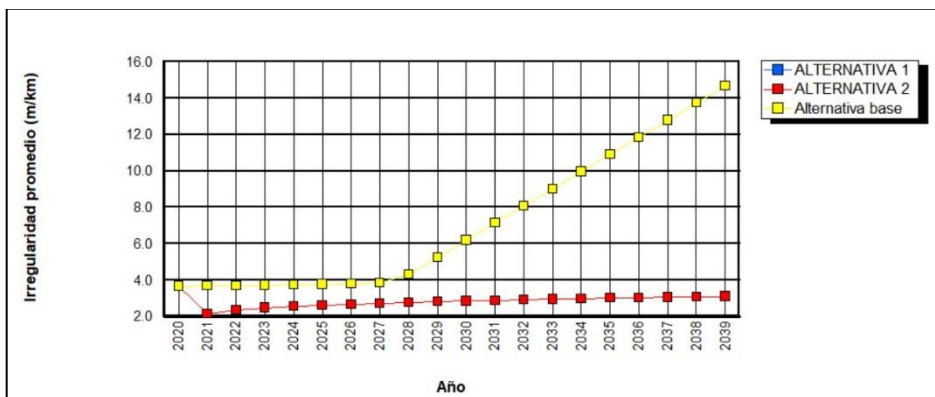


Fuente. Reportes HDM-4

El IRI de la alternativa base es errante hasta el año 2029 que llega con un IRI de 15 m/km, la alternativa 2 aplica un mantenimiento en el año 2025 y conserva un IRI entre 2 y 3 m/km del resto del periodo de análisis, con la alternativa 2 se califica a la superficie de rodadura con una serviciabilidad regular.

Banco de la Nación – Ovalo Quiñones
Calzada Izquierda

Figura 12. Evolución del IRI por alternativa - BN-OQ-CI

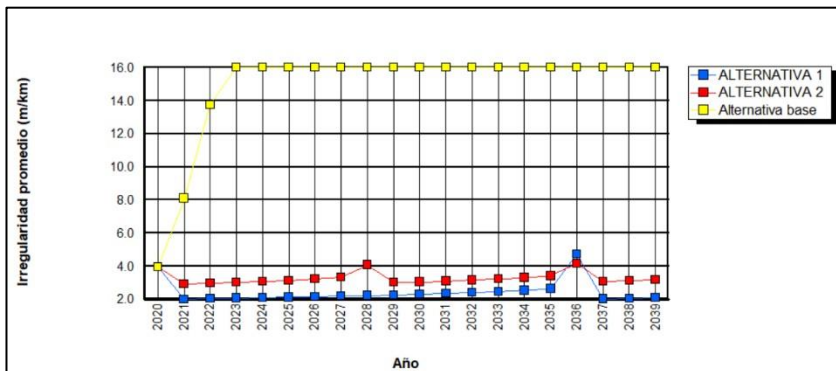


Fuente. Reportes HDM-4

Aplicando la alternativa 2 el IRI para el 2021 es excelente y se conserva el IRI entre 2 y 3 m/km durante el periodo de evaluación. El IRI de la alternativa base aumenta en el transcurso de los años de 4 m/km hasta 15 m/km.

**Ovalo Quiñones – Ovalo Vianney
Calzada Derecha**

Figura 13. Evolución del IRI por alternativa - OQ-OV-CD

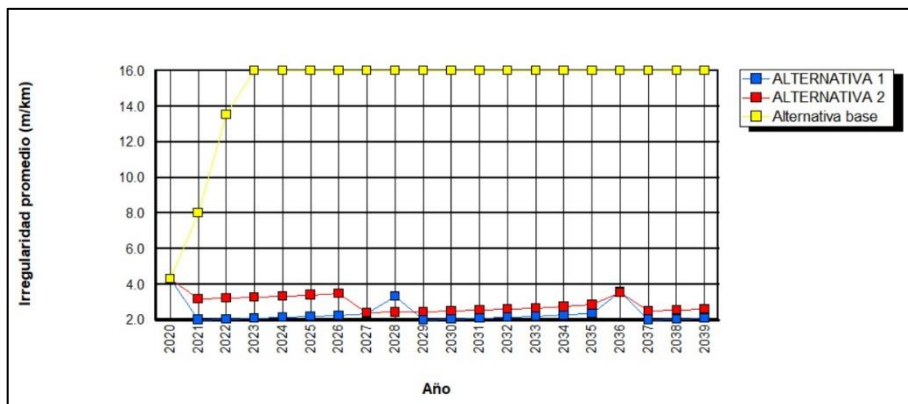


Fuente. Reportes HDM-4

El IRI de la alternativa base se dispara, aplicando una mejora en el año 2020, el IRI de la alternativa 1 se conserva excelente hasta el años 2036 se aplica un mantenimiento y el IRI baja a condiciones excelentes de 2 m/km. Para la alternativa 2 se hace dos mantenimientos para conservar el IRI en condiciones excelentes: 2028 y 2036.

**Ovalo Quiñones – Ovalo Vianney
Calzada Izquierda**

Figura 14. Evolución del IRI por alternativa - OQ-OV-CI



Fuente. Reportes HDM-4

El IRI de la alternativa base es errado llegando a 16 m/km, para la alternativa 1 se aplica mantenimientos en el año 2026 y 2036 para conservar un excelente IRI y en la alternativa 2 se aplica mantenimientos en el año 2028 y 2036 a la vía.

Resumen de indicadores económicos:

Tabla 29. Resumen de indicadores económicos por tramos

Tramo: C D BANCO NACION - OVALO QUIÑONES
Sensibilidad: Base Sensitivity Scenario

Alternativa	Valor presente de los costos totales de la agencia (RAC)	Valor presente de los costos de inv. de la agencia (CAP)	Incremento en costos de la agencia (C)	Decremento en costos de usuario (B)	Beneficios exógenos netos (E)	Valor presente neto (VPN = B + E - I)	Relación VPN/cost (VPN/RAC)	Relación VPN/cost (VPN/CAP)	Tasa interna de retorno (TIR)
Alternativa base	0.064	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ALTERNATIVA 1	0.169	0.142	0.106	4.574	0.000	4.468	26.359	31.397	Sin solución
ALTERNATIVA 2	0.169	0.142	0.106	4.574	0.000	4.468	26.359	31.397	Sin solución

La cifra entre paréntesis es el número de resultados para la TIR en un rango de -90 a +900

Tramo: C D OVALO QUIÑONES - OVALO VIANNEY
Sensibilidad: Base Sensitivity Scenario

Alternativa	Valor presente de los costos totales de la agencia (RAC)	Valor presente de los costos de inv. de la agencia (CAP)	Incremento en costos de la agencia (C)	Decremento en costos de usuario (B)	Beneficios exógenos netos (E)	Valor presente neto (VPN = B + E - I)	Relación VPN/cost (VPN/RAC)	Relación VPN/cost (VPN/CAP)	Tasa interna de retorno (TIR)
Alternativa base	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ALTERNATIVA 1	0.088	0.076	0.087	10.748	0.000	10.662	121.287	139.455	463.4 (1)
ALTERNATIVA 2	0.061	0.049	0.060	10.619	0.000	10.559	172.919	214.782	648.6 (1)

La cifra entre paréntesis es el número de resultados para la TIR en un rango de -90 a +900

Tramo: C I BANCO NACION - OVALO QUIÑONES
Sensibilidad: Base Sensitivity Scenario

Alternativa	Valor presente de los costos totales de la agencia (RAC)	Valor presente de los costos de inv. de la agencia (CAP)	Incremento en costos de la agencia (C)	Decremento en costos de usuario (B)	Beneficios exógenos netos (E)	Valor presente neto (VPN = B + E - I)	Relación VPN/cost (VPN/RAC)	Relación VPN/cost (VPN/CAP)	Tasa interna de retorno (TIR)
Alternativa base	0.061	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ALTERNATIVA 1	0.228	0.202	0.167	4.631	0.000	4.464	19.581	22.128	47.9 (1)
ALTERNATIVA 2	0.228	0.202	0.167	4.631	0.000	4.464	19.581	22.128	47.9 (1)

La cifra entre paréntesis es el número de resultados para la TIR en un rango de -90 a +900

Tramo: C I OVALO QUIÑONES - OVALO VIANNEY
Sensibilidad: Base Sensitivity Scenario

Alternativa	Valor presente de los costos totales de la agencia (RAC)	Valor presente de los costos de inv. de la agencia (CAP)	Incremento en costos de la agencia (C)	Decremento en costos de usuario (B)	Beneficios exógenos netos (E)	Valor presente neto (VPN = B + E - I)	Relación VPN/cost (VPN/RAC)	Relación VPN/cost (VPN/CAP)	Tasa interna de retorno (TIR)
Alternativa base	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ALTERNATIVA 1	0.140	0.126	0.139	12.522	0.000	12.383	88.543	97.895	455.1 (1)
ALTERNATIVA 2	0.074	0.060	0.073	12.425	0.000	12.352	166.872	205.287	815.9 (1)

La cifra entre paréntesis es el número de resultados para la TIR en un rango de -90 a +900

Fuente. Reportes HDM-4

Los indicadores económicos por tramos brindados por el HDM-4 se visualizan la tasa interna de retorno y el valor presente neto: en el tramo Banco de la Nación - Ovalo Quiñones la alternativa 1 es la mejor opción y en el tramo Ovalo Quiñones –Ovalo Vianney la alternativa 1 es la mejor opción. Por lo tanto, la alternativa 1 es la mejor opción para el tramo total de la Av. Felipe Santiago Salaverry porque tienen un VAN positivo y conviene esa alternativa.

V. DISCUSION

Para clasificar un proyecto vial lo correcto es desarrollar estudios previos como el estudio de trafico de acuerdo a las recomendaciones y requisitos del MTC, se obtuvo en el subtramo 1 un IMDA promedio de 37,562.5 veh/día y en el subtramo 2 un IMDA 35591 veh/día. Con esta información se clasifico la carretera como una autopista de primera clase: Clase (AP).

Se realizo un levantamiento topográfico con una estación Total LEICA TS02 levantándose en franjas de 5 metros de separación. Obteniéndose así que el terreno es plano con una inclinación transversal menor a 10%; pendientes longitudinales menor a 3% y su altitud varía entre 25 a 29 m.s.n.m.

Con los puntos topográficos de la superficie de rodadura se realizó planta, perfiles longitudinales por calzada y análisis de zonas de inundables. Siguiendo los requisitos de los manuales del MTC, se obtuvo pendientes positivas y negativas. La sección transversal de la calzada tiene doble vía con 6.60 metros de ancho.

De acuerdo a las pautas del Manual de ensayo de materiales del MTC se realizaron los ensayos de humedad, granulometría, limite líquido y plástico, Proctor modificado y CBR a las muestras obtenidas de la vía que fueron dos calicatas en la calzada derecha y dos calicatas en la calzada izquierda con profundidades de 1.50 m a 1.80 m.

Así mismo se realizó estudios en la capa de rodadura mediante la extracción de testigos del pavimento con un con equipo diamantina de 3" de diámetro (concreto rígido 150 mm y del pavimento flexible 91 mm – 98 mm), también se determinó la compactación, estabilidad y resistencia de dichos testigos.

También se realizó estudios de rugosidad - IRI, no se obtuvo un alto índice de rugosidad en ninguna de las calzadas porque el estado de la estructura del pavimento con carpeta asfáltica tanto para el ovalo Quiñonez hasta el ovalo Vianey como para el pavimento rígido con recapeo asfáltico desde el Banco de la Nación hasta el ovalo Quiñonez no reflejan deformaciones. Se pueden usar otros métodos para determinar el IRI como perfiles de alta precisión, obtención del IRI directo por

ecuaciones, estimación del IRI con ecuaciones de correlación, métodos subjetivos y no calibrados y hasta app móviles.

En la ciudad de Chiclayo no hay investigaciones de pavimentos que usen el HDM-4, estamos en el siglo XXI y el uso de la tecnología es fundamental para tomar decisiones, los análisis computacionales son cada vez más usados, en este caso las inversiones públicas se ven beneficiadas y por ende se aporta mejorando los niveles de servicios de las vías, en esta tesis ayudo a elegir la mejor alternativa de mantenimiento periódico para la av. Salaverry cumpliendo con indicadores de calidad y costo, como resultado una excelente gestión de mantenimiento en vías.

VI. CONCLUSIONES.

Luego de haber realizado un diagnóstico actual 2019 y Estudios de: suelos, diamantinas, rugosidad, tráfico y topografía en la carretera de la Av. Salaverry del Proyecto: Análisis del Ciclo de Vida para un Mantenimiento Periódico de la AV. Felipe Santiago Salaverry Evaluado con el Software HDM-4, Distrito de Chiclayo, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque. Se concluye:

- ❖ La Av. Salaverry tienen una longitud de 1659.62 m y se clasifica como una autopista de primera clase: Clase (AP) porque tiene un IMDA mayor a 6000 veh/día. El análisis del tráfico se realizó en 3 estaciones de conteo bien definidas: la primera entre la calle Federico Villareal – Av. Salaverry, la segunda entre la calle Tumbes Norte – calles Loreto y la tercera entre la calle las violetas – calle Quinua obteniendo un IMDA de 39202, 35923 y 35591 respectivamente.
- ❖ Se constató mediante los estudios de suelos y diamantinas realizados en campo, que el sub tramo comprendido del Banco de la Nación al Ovalo Quiñones tiene una carpeta rígida (whitetopping) y el sub tramo entre Ovalo Quiñones y el Ovalo Vianney tiene una carpeta flexible.
- ❖ Según la NTE CE. 010 PAVIMENTOS URBANOS, el número de puntos de investigación según el tipo de vía es mínimo 3. La vía de investigación es de tipo COLECTORA por lo tanto el número mínimo de puntos de investigación de suelos es 1 cada 3000 m². La longitud total de la vía de investigación es 1659.62 m, el ancho de calzada es 6.60 m y el área representativa es 10953.50 m² por lo tanto el número de puntos de investigación es 4. El tramo cuenta con 2 tipos de pavimento y se determinó realizar 2 diamantinas por cada tramo y localizarlos estratégicamente al costado de la vía de manera alternada en la calzada derecha e izquierda. Con la coordinación y consulta respectiva de ingenieros especialistas se realizó 4 diamantinas representativas en relación a los 4 puntos de investigación a lo largo de toda la vía.
- ❖ Las fotografías tomadas tanto en la calzada derecha como izquierda en todo el tramo de estudio nos evidencian que la capa de rodadura presenta en zonas específicas deterioros superficiales como: fisuras transversales, peladura de la superficie y deterioros estructurales como: fisuras longitudinales, baches, ahuellamientos y desprendimiento de la capa de concreto asfáltico.

- ❖ Se realizó calicatas para verificar y corroborar los resultados de la evaluación superficial. El software HDM-4 para calcular la capacidad estructural del pavimento nos brinda tres opciones de métodos para el cálculo: Deflectómetro de Impacto, Viga Benkelman, Coeficientes y espesores de las capas. Para mi estudio tome la tercera opción porque realice calicatas y ensayos de suelos; con los datos de la subbase, base, superficie y el porcentaje de CBR de la subrasante fueron datos suficientes para que el software pueda calcular el valor del número estructural, por ello no fue necesario hacer uso del deflectómetro.
- ❖ Las muestras obtenidas de las calicatas fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo; mediante el estudio de suelos se definió el perfil estratigráfico de toda la ruta. Los suelos que conforman la estructura del pavimento según el perfil estratigráfico realizado del Sub Tramo 1 se encuentran identificados en el sistema SUCS y AASHTO como: CL-ML / A-4 (5), SC / A-2 (1), GC-GM / A-4 (2), SC / A-6 (3), arcilla limo arenoso de baja plasticidad con grava, arena arcillosa, grava limo arcillosa, arena arcillosa y del Sub Tramo 2 se encuentran identificados como: GM / A-2-4(0), SC / A-2-6 (0), GM / A-4 (3), SC / A-2-6(2), grava limosa, arena arcillosa, grava limosa, arena arcillosa. Observándose que predomina los materiales arena arcillosa y grava limosa. Se evidenció la presencia de Napa Freática en la calicata #02 (C-2) a 1.10 m.
- ❖ Se estudió 2 sub tramos de pavimento de la Av. Salaverry y se encontró que los CBR de la C-1, C-2, C-3 cumple con lo mínimo para base granular de vía colectora pero el CBR de la C-4 no cumple con lo mínimo. El CBR de la subrasante de la C-1, C-4 es pobre, el CBR de la subrasante de la C-3 es regular y el CBR de la C-2 es buena.
 1. Del Banco de la Nación hasta el Ovalo Quiñones, pavimento rígido.
 - C-1 (M-1=80.3% / M-2=3.4%)
 - C-2 (M-1=84.5% / M-2=10.1%)
 2. Del Ovalo Quiñones hasta el Ovalo Vianney, pavimento flexible.
 - C-3 (M-1=81.5% / M-2=9.7%)
 - C-4 (M-1=61.7% / M-2=3.2%)

- ❖ Los espesores de la capa de rodadura encontrados mediante el estudio de diamantinas en el subtramo de pavimento rígido son de 150 mm con un recapeo promedio de 3.5 cm y en el subtramo de pavimento asfáltico son de 98mm y 91 mm.
- ❖ Según los resultados de contenido asfáltico y husos granulométricos se llega a la conclusión que el contenido asfáltico está en los límites permisibles y la granulometría se encuentra entre los rangos establecidos por la especificación MAC-2. El contenido de asfalto de la calzada izquierda es 5.31% y de la calzada derecha es 5.34%.
- ❖ Se concluye que la estructura del pavimento de la Av. Salaverry analizado es suficiente para los trabajos de mantenimientos periódicos a realizar en la capa de rodadura.
- ❖ La influencia de la rugosidad en las avenidas es un factor importante y directo en el costo de operación de los vehículos, según la evaluación implementada en el “Análisis del Ciclo de Vida para un Mantenimiento Periódico de la Av. Felipe Santiago Salaverry Evaluado con el Software HDM-4, Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque”, la estructura del pavimento con carpeta asfáltica en caliente no refleja deformaciones, el índice de rugosidad promedio obtenido en campo es 3.46 el cual está entre los límites permisibles para el análisis de pavimentos asfálticos en servicio.
- ❖ La carpeta asfáltica en servicio, cumple con las especificaciones del cálculo de pavimentos asfálticos en servicio, y logra la eficiente operación de los vehículos en la pavimentación, brindando seguridad y comodidad al usuario para el tránsito con la velocidad de operación diseñada. Se califica la superficie de rodadura con una serviciabilidad regular porque se encuentra en el rango de 2.1 a 3.0 PSI.
- ❖ La zona con mayor probabilidad de inundación tiene un área de 11948.427 m² con elevaciones de 19.5 a 20.5 msnm y se ubica entre el sub tramo Ovalo Quiñones – Ovalo Vianney.
- ❖ El estudio estructural y funcional de la Av. Salaverry es crucial, cada dato tiene un papel fundamental en la aplicación de la metodología del HDM-4.
- ❖ El HDM-4 como herramienta para la evaluación de alternativas de inversión a nivel de proyecto es muy importante para determinar las penurias que afectan a las carreteras y vías urbanas, para las empresas que realizan mantenimientos a

carreteras debería de ser un mecanismo fundamental para tomar decisiones a largo plazo.

- ❖ Los conocimientos de ingeniería en pavimentos y economía son fundamentales para adaptar y modelar la información el software HDM-4.
- ❖ El análisis realizado mediante el empleo del modelo HDM-4, nos da resultados de las comparaciones efectuadas entre las alternativas "con proyecto", frente a la alternativa base "sin proyecto".
- ❖ La mejor alternativa económica de conservación periódica para el Tramo I y para el Tramo II es la alternativa 1. Fresado y reemplazo porque tiene un VAN positivo y una rentabilidad por encima de la tasa de descuento del 8%.

VII. RECOMENDACIONES.

- ❖ Se recomienda construir sardineles en algunas zonas de la Avenida Salaverry para delimitar las áreas verdes y la zona vehicular. También para evitar la infiltración del flujo de eventuales precipitaciones que puedan causar el deterioro de la estructura del pavimento.
- ❖ Se recomienda ubicación de paraderos formales de vehículos ligeros (combis) para evitar congestionamiento a la Altura del banco de la Nación y el Ovalo Quiñones.
- ❖ Se recomienda señalización vertical y horizontal adecuada a lo largo de toda la avenida, tanto para vehículos como para peatones.
- ❖ Se sugiere mejorar las bermas en el sub tramo Ovalo Quiñones – Ovalo Vianney, calzada izquierda; recompactando la subrasante, colocando una capa de base y poner una carpeta de asfalto.
- ❖ Se recomienda hacer un mantenimiento periódico a la Av, Salaverry para para mejorar la transitabilidad y comodidad de viaje para los usuarios ya que es una vía importante en la ciudad de Chiclayo

VIII. LISTA DE REFERENCIAS.

- [1] L. E. Balcazar Castro, Evaluacion Superficial del Pavimento Rigido de la Av. Salaverry Comprendido entre las Calles Pascual Saco Y Cajamarca, de la Ciudad de Chiclayo, CHICLAYO, 2018.
- [2] J. L. Canales Suarez, Comparacion de Modelos de Gestion para la Evaluacion de Inversiones de Proyectos Viales, Lima, 2014.
- [3] Y. Alejos Aabino y E. A. Cribillero Ortega, Aplicacion del Software HDM-4 en la Gestion de Estrategias para el Mantenimiento de la Carretera Santa-Tamborreal, Universidad Nacional del Santa, facultad de Ingenieria, 2017.
- [4] J. . E. Montoya Goicochea, Implementacion del Sistema de Gestion de Pavimentos con Herramienta HDM-4 para la red Vial Nro. 5 Tramo Ancon - Huacho - Pativilca, Universidad Ricardo Palma, facultad de ingenieria, 2007.
- [5] J. C. Vargas Leon, Evaluacion Tecnica y Economica entre las Modalidades Ejecutivas de Conservacion Vial Aplicando el Modelo HDM-4 en la Carretera PE-38 Tramo: Tacna-Tarata, Tacna, 2017.
- [6] V. G. Cassana Torres, Analisis y Evaluacion del mantenimiento para la conservacion vial de la Capa de Rodadura de la Via Interdistrital Ascope - Casa Grande, Aplicando el Modelo HDM-4, Trujillo, 2016.
- [7] L. E. Balcazar Castro, Evaluación Superficial del Pavimento Rígido de la Av. Salaverry Comprendido entre las Calles Pascual Saco y Cajamarca, de la ciudad de Chiclayo, Chiclayo, 2018.
- [8] A. M. Calles Quinaluiza, Modelo de Gestión de Conservación Vial para la Red Vial rural del Cantón Pastaza, Quito, 2016.
- [9] M. Martin Palomo, Metodo de Optimizacion de Inversiones para la Gestion de Conservacion de Pavimentos, Madrid, 2018.
- [10] J. F. Cortes Igua, Analisis Tecnico del Tramo Comprendido entre el Km 34+160 - Km 45+100 de la Doble Calzada Bogota - Villavicencio con Base en el Software HDM-4, Bogota, 2015.
- [11] MTC, Manual de Carreteras - Conservacion Vial, Lima, 2013.
- [12] J. M. P. Contrato de Supervicion a Traves del Concepto de Contrato Plurianual de Conservacion de Carreteras (CPCC) y Ejemplo de Aplicacion, Mexico, 2011.
- [13] M. d. T. y. Comunicaciones, Manual de Carreteras - Conservacion Vial, Lima, 2013.

- [14] C. Trebol, Proyecto de Infraestructura Vial de Transporte Nacional, Chiclayo, Estudio Definitivo para la Culminacion de la Construccion de la Autopista Pimentel-Chiclayo.

IX. ANEXOS.

ANEXO 01: Formato de Conteo Vehicular

ANEXO 02: Punto 1: VIERNES 24/05/2019

ANEXO 03: Punto 2: VIERNES 24/05/2019

ANEXO 04: Punto 3: VIERNES 24/05/2019

ANEXO 05: Punto 1: SABADO 25/05/2019

ANEXO 06: Punto 2: SABADO 25/05/2019

ANEXO 07: Punto 3: SABADO 25/05/2019

ANEXO 08: Punto 1: DOMINGO 26/05/2019

ANEXO 09: Punto 2: DOMINGO 26/05/2019

ANEXO 10: Punto 3: DOMINGO 26/05/2019

ANEXO 11: Estudio del Trafico

ANEXO 12: Ensayos de Mecánica de Suelos

ANEXO 13: Diagnostico actual de la avenida (2019)

ANEXO 14: Ensayos de Diamantina

ANEXO 15: Caso de Estudio de fallas

ANEXO 16: Estudio de Rugosidad

ANEXO 17: Expediente Técnico: Recapeo de Pavimento Flexible en Caliente de la Av. Santiago Salaverry – Carril Sur (Tramo entre la Av. Leonardo Ortiz y Calle Arequipa)

ANEXO 18: Estudio de Topográfico

ANEXO 19: Parámetros requeridos y opcionales para el uso de HDM-4.

ANEXO 20: Planos

ANEXO 21: Análisis con el HDM-4