



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
CENTRO DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

METODOLOGÍA PARA LA CONSERVACIÓN DE VÍAS PRINCIPALES DE PRIMER ORDEN CON PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE CRITERIOS DE ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO Y ANÁLISIS DE VARIABLE TÉRMICO, EN CIUDADES DE HASTA 300.000 HABITANTES.

AUTORA: PAMELA DEL CISNE DEL ROSARIO VILLAFUERTE

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN INGENIERIA CIVIL, MENCIÓN VIALIDAD

TUTOR: DR. EDUARDO TUSA

MACHALA

2024

PENSAMIENTO

“Desde el año 1995, estudios realizados por la Comunidad Económica para América Latina (CEPAL), revelan que el abandono del mantenimiento vial es común en América Latina y el Caribe, derivado del hecho de haberse permitido hasta ahora la reconstrucción de las vías en lugar de procurar implantar y mantener un sistema activo de conservación vial, para minimizar el impacto negativo que el estado de las vías ejerce sobre la economía de los países.”

Orlando José Pinto Oviedo - 2017

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón a mis padres y hermanos porque su presencia y persona han ayudado a construir y forjar la persona que ahora soy, pues sin ellos no lo habría logrado. Su bendición a diario me protege y me lleva por buen camino, con deseos de triunfar y superarme cada día más, pues son mi guía y modelo por seguir siempre.

AGRADECIMIENTOS

- Al Sr. Dr. Eduardo Tusa, tutor de este trabajo de titulación, por su orientación en el desarrollo de esta investigación pues sin su ayuda y conocimiento no hubiese sido posible realizar este proyecto.
- A mis padres, por proporcionarme la mejor educación y lecciones de vida, pues con esfuerzo, trabajo y constancia todo es posible.
- A los compañeros de clase y amigos con los que compartí grandes y gratos momentos.
- A todos mis familiares por su apoyo, que siguen estando cerca de mi y que me regalan a mi vida algo de ellos siempre.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Los contenidos, ideas, criterios, análisis, conclusiones y propuesta emitidos en este informe del trabajo de investigación “METODOLOGÍA PARA LA CONSERVACIÓN DE VÍAS PRINCIPALES DE PRIMER ORDEN CON PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE CRITERIOS DE ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO Y ANÁLISIS DE VARIABLE TÉRMICO, EN CIUDADES DE HASTA 300.000 HABITANTES.”, son de exclusiva responsabilidad del autor.



PAMELA DEL CISNE DEL ROSARIO VILLAFUERTE
C.I. 0706375730

Machala, 2024/05/15

METODOLOGÍA PARA LA CONSERVACIÓN DE VÍAS PRINCIPALES DE PRIMER ORDEN CON PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE CRITERIOS DE ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO Y ANÁLISIS DE VARIABLE TÉRMICO, EN CIUDADES

ORIGINALITY REPORT

7%

SIMILARITY INDEX

7%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

www.slideshare.net

Internet Source

<1%

2

www.scielo.cl

Internet Source

<1%

3

dspace.ucuenca.edu.ec

Internet Source

<1%

4

www.ucprc.ucdavis.edu

Internet Source

<1%

5

es.scribd.com

Internet Source

<1%

6

idoc.pub

Internet Source

<1%

7

Submitted to Universidad Del Magdalena

Student Paper

<1%

8

www.eclac.org

Internet Source

<1%

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del trabajo de titulación “METODOLOGÍA PARA LA CONSERVACIÓN DE VÍAS PRINCIPALES DE PRIMER ORDEN CON PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE CRITERIOS DE ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO Y ANÁLISIS DE VARIABLE TÉRMICO, EN CIUDADES DE HASTA 300.000 HABITANTES.”, elaborado por la Ing. Pamela Del Cisne Del Rosario Villafuerte, considero que ha sido realizado con prolijidad, fundamentación teórica y técnica; y, de acuerdo a los requisitos exigidos por la organización del Programa de Maestría en Ingeniería Civil, mención Vialidad, por lo que autorizo su presentación ante las instancias de aprobación correspondiente.



DR. EDUARDO ALEJANDRO TUSA JUMBO

C.C. 0704323427

Machala, 2024/05/15

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Ing. Pamela Del Cisne Del Rosario Villafuerte, con cédula de ciudadanía No.- 0706375730, manifiesto en forma libre y voluntaria, ceder a la Universidad Técnica de Machala, los derechos de autor, consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículo 4, 5, y 6 en calidad de autora del trabajo de titulación denominado “METODOLOGÍA PARA LA CONSERVACIÓN DE VÍAS PRINCIPALES DE PRIMER ORDEN CON PAVIMENTO RÍGIDO MEDIANTE CRITERIOS DE ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO Y ANÁLISIS DE VARIABLE TÉRMICO, EN CIUDADES DE HASTA 300.000 HABITANTES.”, que ha sido desarrollado para optar por el título de Magister en Ingeniería Civil, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada, en concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en el formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica de Machala.



PAMELA DEL CISNE DEL ROSARIO VILLAFUERTE
C.I. 0706375730

Machala, 2024/05/15

CERTIFICACIÓN DE PUBLICACIÓN

RESUMEN:

El presente trabajo tiene como propósito desarrollar una metodología para conservación de vías de primer orden mediante criterios de condición superficial y variable térmico, en ciudades de hasta 300.000 habitantes, la norma ASTM-D-6433, junto con las investigaciones realizadas en la evaluación de la carretera basada en la medición de roadroid PCI e IRI., desarrolladas por Putra y Suprpto, 2018, la aplicación de un sistema de gestión de pavimentos basado en el empleo de un sistema de información geográfica, desarrollados por Palma et al, 2023, Análisis de esfuerzos en pavimentos de concreto tipo whitetopping : caso de estudio vía Biblián-Zhud de Bojorque-Iñiguez, 2021, son la base para el diseño metodológico.

La metodología propone dar respuesta a una falta de investigación en el sistema de verificación técnica para el mantenimiento de pavimentos rígidos, el problema que se ha observado en las vías principales es un deterioro excesivo de las estructuras viales, debido a que no se implementa un sistema de control, inventario vial, programas de intervención aplicable a la realidad física de la vía, para lo cual se realiza la interrogante: ¿Qué metodología de mantenimiento vial, garantiza la conservación del pavimento rígido en vías principales?.

La información fue recolectada en campo se obtuvo del Km37 al Km 38 de una de las vías principales de ingreso a la ciudad de Machala, para obtener bases en referencia al estado actual de la vía realizando un inventario vial basado en el formulario propuesto por el norma ASTM-D-6433, para poder evaluar y diagnosticar la condición superficial del pavimento (ICP), se obtuvo información del Gobierno Autónomo y el Ministerio de Transporte y Obras Públicas recogiendo información histórica de los estudios ejecutados y las intervenciones realizadas, con la investigación bibliográfica y de campo respecto al temperatura ambiente de la ciudad de Machala tomados del INAMHI, se desarrollaron correlaciones teóricas para determinar el gradiente térmico de las losas de pavimento rígido y el coeficiente de expansión térmica, que ayudaron a evaluar la estructura del pavimento con la ayuda del programa EvereFe.

Con los criterios de ICP y ΔT , se desarrolló una metodología de evaluación de la condición superficial y evaluación de la estructura del pavimento para establecer que lasas deben ser intervenidas para su rehabilitación o reconstrucción y el desarrollo del programa de mantenimiento vial.

Palabras claves:

Mantenimiento Vial, Conservación vial, índice de condición del pavimento, gradiente térmico, pavimento rígido.

ABSTRACT

The purpose of this work is to develop a methodology for the conservation of first-order roads using criteria of surface condition and thermal variable, in cities of up to 300,000 inhabitants, the ASTM-D-6433 standard, together with the research carried out in the evaluation of the road based on the measurement of roadroid PCI and IRI., developed by Putra and Suprpto, 2018, the application of a pavement management system based on the use of a geographic information system, developed by Palma et al, 2023, Analysis of efforts in whitetopping concrete pavements: case study via Biblián-Zhud de Bojorque-Iñiguez, 2021, are the basis for the methodological design.

The methodology proposes to respond to a lack of research in the technical verification system for the maintenance of rigid pavements, the problem that has been observed on the main roads is an excessive deterioration of road structures, due to the fact that a system is not implemented. . control, road inventory, intervention programs applicable to the physical reality of the road, for which the question is asked: What road maintenance methodology guarantees the conservation of rigid pavement on main roads?

The information was collected in the field and was obtained from Km 37 to Km 38 of one of the main entrance roads to the city of Machala, to obtain bases in reference to the current state of the road by carrying out a road inventory based on the form proposed by the standard. . ASTM-D-6433, in order to evaluate and diagnose the surface condition of the pavement (ICP), information was obtained from the Autonomous Government and

the Ministry of Transportation and Public Works, collecting historical information from the studies carried out and the interventions carried out, with bibliographic research. . and field data regarding the ambient temperature of the city of Machala taken from INAMHI, theoretical correlations were developed to determine the thermal gradient of the rigid pavement slabs and the coefficient of thermal expansion, which helped to evaluate the structure of the pavement with the help of the EvereFe program.

With the ICP and ΔT criteria, a methodology was developed to evaluate the surface condition and evaluation of the pavement structure to establish which slabs should be intervened for their rehabilitation or reconstruction and the development of the road maintenance program.

Keywords:

Road Maintenance, Road Conservation, Pavement Condition Index, Thermal Gradient, Rigid Pavement.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	23
1.1. Antecedentes Históricos	23
1.2. Antecedentes Conceptuales	24
1.2.1. Sistema vial urbano	24
1.2.2. Clasificación de vías urbanas	25
1.2.3. Elementos de una vía urbana	27
1.2.4. Estructura de pavimento	28
1.2.5. Tipos de capa de rodadura de una vía urbana	29
1.2.6. Pavimentos flexibles en vías urbanas.....	30
1.2.7. Pavimento rígido en vías urbanas	30
1.2.8. Pavimentos compuestos en vías urbanas	32
1.2.9. Caminos sin pavimentar	33
1.2.10. Conservación de vías urbanas	33
1.2.11. Ciclo de vía del pavimento.	35
1.2.12. Índice de Condición Superficial (I.C.P.).....	36
1.2.13. Fases en la conservación de vías urbanas con ICP.....	37
1.2.14. Patologías de vías urbanas con pavimento rígido.....	38
1.2.15. Variable térmica en pavimentos rígidos.....	39
1.2.16. Evaluación estructural de pavimentos de concreto.	42
1.2.17. Modelos de evaluación para la conservación vial	42
1.2.17.1. Modelo de evaluación para la conservación vial con la aplicación SIG. 43	
1.2.17.2. Modelo de evaluación convencional con la aplicación del Índice de Condición del Pavimento (ICP), y curvas de vida útil del pavimento.	44
1.2.17.3. Modelos de evaluación de la conservación vial integrada.....	45
1.3. Antecedentes Referenciales	46
1.3.1. Conservación vial en el mundo.....	46
1.3.2. La Conservación Vial en Latinoamérica.....	47
1.3.3. La Conservación vial en el Ecuador.	48
1.4. Antecedentes contextuales.....	49
1.4.1. Identificación, tipo y caso de estudio	49

1.4.2.	Ubicación geográfica del área de estudio	50
1.4.3.	Características del área de estudio	51
2.	CAPITULO II. MÉTODOS	52
2.1.	Metodología De La Investigación	52
2.1.1.	Paradigma	52
2.1.2.	Enfoque.....	52
2.2.	Tipo de Investigación realizada	53
2.3.	Población y Muestra	53
2.3.1.	Población	54
2.3.2.	Muestra.....	54
2.4.	Diseño metodológico de la investigación	54
2.5.	Métodos con los Materiales Utilizados	56
2.5.1.	Instrumentos utilizados.....	56
2.5.2.	Técnicas de levantamiento de la información	57
2.5.2.1.	Técnicas de levantamiento de la información ICP	57
2.5.2.2.	Técnicas de levantamiento de la información ΔT	58
2.5.3.	Técnicas del procesamiento de datos	58
3.	CAPITULO III .- RESULTADOS Y PROPUESTA METODOLÓGICA.....	59
3.1.	Resultados de la investigación	59
3.2.	Resultados etapa 1, Evaluación de la condición superficial y estructura del pavimento rígido en el Km 37 a Km38 de la vía principal E-25.....	59
3.2.1.	Índice de Condición del Pavimento (ICP) Km37-Km38.....	60
3.2.2.	Variable térmico ΔT local y Coeficiente de expansión térmica α en Km37 al Km38.	61
3.3.	Resultados etapa 2, Análisis de la condición superficial y estructura del pavimento rígido en el Km 37 a Km38 de la vía principal E-2.....	63
3.3.1.	Análisis de la Condición Superficial del Pavimento del Km37 al Km38.	63
3.3.2.	Análisis de la Condición de la estructura del pavimento rígido el Km37 al Km38.	66
3.3.2.1.	Resultados de la Condición de la estructura del pavimento rígido el Km37 al Km38, acorde al grado ICP de falla (ICP-4).	69

3.4. Resultados etapa 3, Resultados por fases para la conservación vial en el Km37 al Km38.	73
3.5. Resultados etapa 3, Planificación para la Conservación vial en el Km37 al Km38.	74
3.6. Propuesta Metodológica para la conservación de vías principales de primer orden con pavimento rígido mediante criterios de índice de condición del pavimento y análisis de variable térmico, en ciudades de hasta 300.000 habitantes.	76
4. CAPITULO 4 DISCUSION DE RESULTADOS	77
4.1. Discusión de los resultados obtenidos	77
4.2. Plan de monitoreo y evaluación de la propuesta.....	81
4.3. Comparación del modelo con otros estudios.	81
4.4. Limitaciones del modelo.	82
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82

LISTA DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

Figura 1	25
Figura 2	26
Figura 3	28
Figura 4	29
Figura 5	30
Figura 6	32
Figura 7	33
Figura 8	34
Figura 9	35
Figura 10	36
Figura 11	37
Figura 12	40
Figura 13	40
Figura 14	43
Figura 15	43
Figura 16	44
Figura 17	46
Figura 18	47
Figura 19	48
Figura 20	49
Figura 21	50
Figura 22	55
Figura 23	57
Figura 24	58
Figura 25	59
Figura 26	61
Figura 27	63
Figura 28	64
Figura 29	65
Figura 30	67
Figura 31	68
Figura 32	68
Figura 33	69
Figura 34	70
Figura 35	70
Figura 36	71
Figura 37	72
Figura 38	72
Figura 39	73
Figura 40	74
Figura 41	76
Figura 42	77
Figura 43	79
Figura 44	79

Figura 45	80
Tabla 1	39
Tabla 2	41
Tabla 3	50
Tabla 4	51
Tabla 5	60
Tabla 6	62
Tabla 7	65
Tabla 8	75
Tabla 9	77

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

ICP	ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
ΔT	VARIABLE TÉRMICO
ϵt	DEFORMACIÓN TÉRMICA
α	COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA
FHWA	ADMINISTRACIÓN FEDERAL DE CARRETERAS EEUU.
D	DESCASCARAMIENTO
D.J.	DESPOSTILLAMIENTO DE JUNTAS
F.C.	FALLAS CONSTRUCTIVAS
D.S.	DETERIORO DE SELLO
F	FISURACIÓN POR RETRACCIÓN
F.L.A.T.	FISURAS LIGERAS DE APARICIÓN TEMPRANA
G.E	GRIETAS DE ESQUINA
G.E.P	GRIETA EN LOS EXTREMOS DE LOS PASADORES
G.L	GRIETA LONGITUDINAL
G.T	GRIETA TRANSVERSAL
L.V.	LEVANTAMIENTO LOCALIZADO
P.	PULIMIENTO

INTRODUCCIÓN

La construcción de carreteras son parte indispensable en el desarrollo de las sociedades modernas (Wang et al., 2013), con la construcción del pavimento rígido de hormigón hidráulico mejoró las condiciones constructivas de las carreteras al ser este un material abundante en la naturaleza y de alta resistencia simplificando la estructura del pavimento, sin embargo sus características son muy sensible a los vientos y a las diferencias de temperaturas diarias (Cui et al., 2023).

Mantener la infraestructura vial en buenas condiciones de conformidad y accesibles es muy significativo para evitar sobre costos de operación en el transporte de las mercancías, además de mantener funcional y ofrecer seguridad y comodidad a los usuarios (Macea-Mercado et al., 2016), las vías y caminos que tienen un nivel avanzado de deterioro con actividades de mantenimiento que no son los adecuados se traducen en un alto costo para los gobiernos locales (Picado Muñoz, 2017).

Uno de los indicadores más ampliamente conocidos que evalúan la condición superficial para la conservación de carreteras es el índice de condición del pavimento (ICP), este indicador, analiza el grado de deterioro superficial del pavimento flexible o rígido mediante la aplicación de técnicas de auscultación de las patologías del pavimento, este procedimiento ayuda a determinar el nivel de deterioro de la estructura del pavimento y con ello establecer los niveles de conservación necesarios.

En los pavimentos rígidos existe una condición especial en zonas del litoral que se ven afectados por la temperatura, las losas de hormigón rígido que conforman el pavimento reaccionan al calor diurno y al frío nocturno dilatándose entre sí, esta alteración diaria se da por los efectos de la variable térmica (ΔT) en las losas del pavimento rígido, debido a la variación de la temperatura que reacciona en forma de alabeos de las losas de hormigón rígido que trastornan el confort al tránsito de los usuarios con este tipo de pavimentos,

Los efectos del ICP y el ΔT , en los pavimentos rígidos con hormigón hidráulico, afectan al transporte y los usuarios viales, generando malestar al transitar en vías con pésimas

condiciones superficiales y con un exagerado golpeteo provocado por el alabeo de las losas rígidas que de no conservar las condiciones iniciales para las que fueron construidas, terminan con deteriorar rápidamente el pavimento y producto de ello las consecuencias en el transporte son desastrosas.

Problemática.

El poco conocimiento del manejo, uso e implementación de métodos para la conservación vial, originan una falta de gestión de la infraestructura vial, esto se puede evidenciar en vías principales de hormigón, donde los efectos de vehículos pesados que circulan sobre los pavimentos rígidos, poseen cada vez mejores características en base a su capacidad de transporte, incrementado de esa manera un acelerado paso de repeticiones de ejes equivalentes sobre el pavimento y con mayor carga, esto genera un incremento exponencial en el deterioro de las losas de hormigón que, de no tomar las medidas preventivas de conservación conllevarían a un colapso inminente de la estructura.

Poseer una metodología de conservación vial adecuada para vías principales con pavimentos rígidos, es un instrumento esencial para conservar en óptimas condiciones la estructura del pavimento y mejorar la operación de transporte en las redes de carreteras de una ciudad, pues con ello se mejora el confort y los tiempos de viajes, disminuyendo los costos de mantenimiento en los vehículos afectados por los daños y las malas condiciones de la carretera, esa es la principal motivación de esta investigación, el dotar a los administradores viales de una metodología para la conservación de vías principales de primer orden con pavimento rígido mediante criterios de índice de condición del pavimento y análisis de variable térmico, en ciudades de hasta 300.000 habitantes.

Hipótesis.

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación es necesario implementar una hipótesis sobre lo que se trata de estudiar, analizar a profundidad los conceptos e indicar que variables deben ser estudiadas para con ello logra desarrollar una propuesta que tenga el éxito en la investigación.

¿Una **metodología adecuada de conservación vial con criterios de ICP y ΔT** para vías principales de primer orden incrementa **la vida útil del pavimento rígido** en carreteras de una ciudad de hasta 300.000 habitantes?

El objetivo del presente trabajo es proponer una metodología para la conservación vial mediante los criterios de condición superficial para pavimentos de vías urbanas.

Esta investigación contempla el diagnóstico y conservación de la vía ya mencionada para lo cual se debe determinar su flujo vehicular, el tipo de daño que tiene como desprendimientos o roturas, la mezcla asfáltica a utilizar y el proceso de reparación. Los costos de mantenimiento y el índice de accidentes se incrementarán al no realizarse un estudio para la conservación eficiente de pavimentos.

Se debe tener un diagnóstico para poder dar mantenimiento a vías, seleccionando normas y técnicas adecuadas para el tipo de vía, el tipo de daño en base de las fallas existentes y evaluación del estado de la vía.

¿Qué metodología de mantenimiento vial, garantiza la conservación de vías urbanas?

La Metodología de mantenimiento vial propuesta establecerá actividades de conservación, planes y programas con el objeto de encaminar a tener una guía para reunir conceptos y formar una metodología aplicable a la realidad de la Provincia, además de clasificar los tipos de fallas que puedan existir en la vía, teniendo estas un rol importante en la evaluación del estado, todo esto con el objetivo de brindar fluidez y confort a los usuarios.

Las vías son de uso constante ya sea por vehículos livianos, pesado o maquinaria esto provoca el constante deterioro de esta, provocando baches, agrietamiento, fisuras, etc., por ello se ve en la necesidad de mantener un constante monitoreo a la misma, esto se puede evitar si se realiza una base de datos como un mapa donde intervengan toda la información recolectada en campo.

De igual manera, se consultará e investigará bibliográficamente toda la información relacionada con experiencias nacionales de: Gestión vial, concesión de carreteras, nuevas metodologías de control de calidad en construcción y mantenimiento de carreteras; equipos utilizados, tipo de información entregable, inventario y monitoreo utilizados en el Ecuador, programas informáticos relacionados con el mantenimiento vial.

En una estructura de pavimento, uno de los principales mecanismos de deterioro de mezclas asfálticas en servicio es el daño por humedad [1-5]. En mezclas asfálticas este mecanismo de daño se refiere a la disminución de su resistencia mecánica y durabilidad debida principalmente a la pérdida de adherencia y cohesión por presencia de agua. (Rondón Quintana et al., 2016) (Rondón Quintana, Ruge Cárdenas, & Moreno Anselmi, 2016)

Objetivo General

Proponer una metodología para la conservación vial urbana mediante los criterios de índice de condición del pavimento y de análisis de variable térmico para pavimentos de vías urbanas en ciudades de hasta 300.000 habitantes.

Objetivos Específicos

- Determinar los criterios de conservación vial mediante referencias bibliográficas para la evaluación del índice de condición del pavimento (ICP) y los efectos de la variable térmica en pavimentos rígidos de vías urbanas en ciudades de 300.000 mil habitantes.
- Evaluar el índice de condición (ICP) y los efectos de la variable térmica por el cambio de temperatura del pavimento rígido en vías principales de primer orden de ciudades de hasta 300.000 habitantes caso de estudio la ciudad de Machala.
- Formular una metodología para la conservación de vías urbanas principales de primer orden con la aplicación de criterios del índice de condición del pavimento rígido y los efectos de la variable térmica, en ciudades de hasta 300.000 habitantes.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Históricos

En Estados Unidos y Europa, por la década de los sesenta, empezaron a desarrollarse las carreteras urbanas con la introducción mayoritaria del automóvil tanto en su arquitectura como en sus propuestas urbanísticas dando la aparición de los primeros ingenieros de tráfico, ya para los años setenta, los ingenieros introdujeron en la práctica el programa REDIA, con el plan de redes arteriales para ciudades de más de cincuenta mil habitantes, en estos planes se definieron los accesos de distintas carreteras a las ciudades acondicionando varis existentes para transformarlos en vías principales y construyendo nuevas vías amplias, apareciendo así las primeras carreteras urbanas (María et al., 2008).

La vida remanente de las carreteras urbanas sobre todo del pavimento en servicio, depende de muy buena parte de la condición estructural que exhiben durante su operación (Beltrán Calvo & Romo Organista, 2014, p.391), las vías sufren un proceso de deterioro a través del tiempo, provocados por diferentes factores que actúan sobre ellos como el agua, el tráfico, y la demanda de carga que pasa sobre ellos, afectando los pavimentos en mayor o menor medida pero con una acción permanente que termina deteriorando las vías a tal punto de que pueden convertirlas en intransitables (Menéndez, 2003).

En el Segundo Seminario Provincial de las Américas, celebrado en Perú entre el 18 y 21 de octubre de 1999, con la participación de más de 200 delegados proveniente de 15 países de la región, analizaron varios temas relacionados con las vías públicas y fue precisamente la conservación vial el tema al que se dedicó más tiempo, varios representantes de diversos países expusieron las acciones que están adoptando en materia de conservación para mejorar su cobertura y efectividad (Bull, 2014).

Una de las prácticas que determina la condición superficial del pavimento fue desarrollada por el cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos en los laboratorios de ingeniería de construcción por el año 1997, para luego desarrollar la norma ASTM-D6433 en una versión del año 2007 y posteriormente actualizada en el año 2011, esta práctica

cubre la determinación de la condición superficial del pavimento flexible o rígido a través de encuestas visuales para establecer el nivel de deterioro del pavimento con la valor del índice de condición del pavimento (ASTM- D 6433-11, 2011).

El ICP, es uno de los métodos más usados para la conservación vial junto con el desarrollo de curvas de deterioro para el pavimento ya que, el desconocimiento del estado actual y la condición previa del pavimento (historial de intervenciones), genera que se destine los recursos de manera inapropiada para la conservación vial que en ocasiones no son las más adecuadas para el tipo de deterioro que presenta la carretera (Picado Muñoz, 2017, p. 38.).

En la actualidad, el con el avance de la ciencia y la tecnología, en la conservación vial se están implementando nuevas formas de recolección y evaluación que faciliten el acceso en procesos futuros con información de datos espacial mediante sistema SIG (Silva-Balaguera et al., 2018),

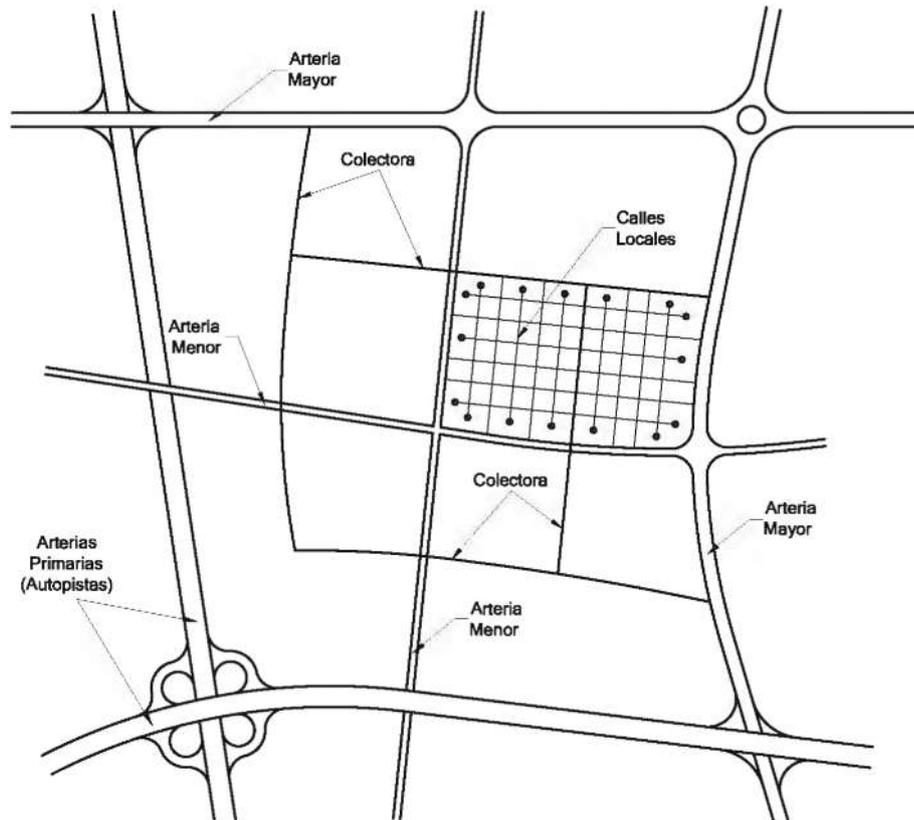
1.2. Antecedentes Conceptuales

1.2.1. Sistema vial urbano

Se podría entender que el sistema vial urbano de un país, es el patrimonio más importante que puede poseer, ya que, de este depende su desarrollo económico, entre los aspectos generales de un sistema vial, según criterios y experiencias internacionales, se entendía por camino aquella faja de terreno acondicionada para el tránsito de vehículos, así el camino a nivel rural son las denominadas carreteras, mientras que a nivel urbano se denominan calles, que en términos de movilidad y accesibilidad, comprenden a todas aquellas estructuras necesarias para facilitar la movilidad de los usuarios del sistema, en términos generales, las calles urbanas pueden clasificarse en tres grandes grupos las calles principales (arterias), secundarias (colectoras), y locales (Cal y Mayor & Cárdenas, 2019).

Figura 1

Jerarquización del sistema vial urbano



Nota. Esquema del sistema vial urbano tomado del libro de Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones (Cal y Mayor & Cárdenas, 2019).

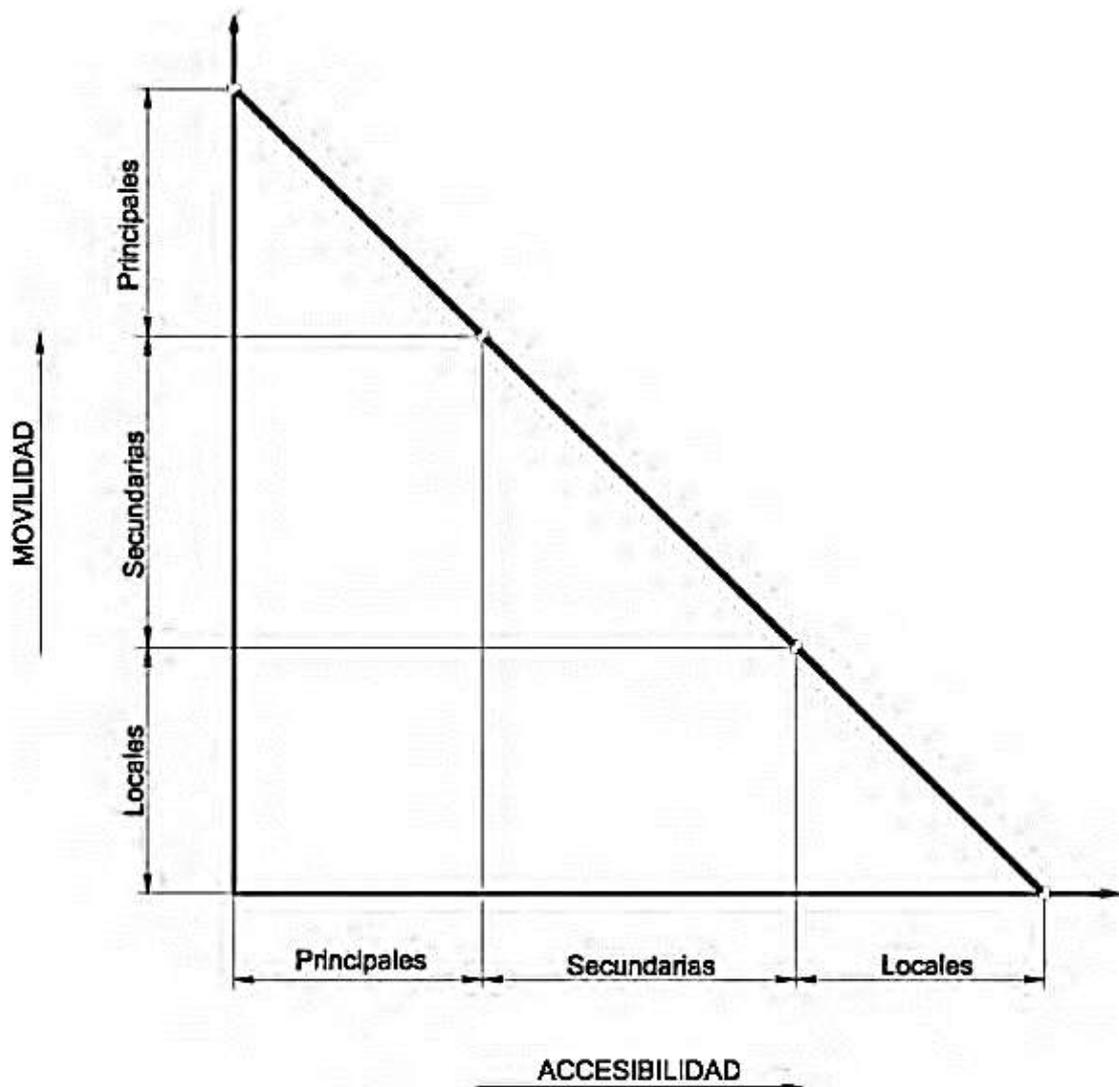
1.2.2. Clasificación de vías urbanas

Existen diversos criterios de clasificación urbana para una red vial, por lo general cada país adopta su propio sistema, sin embargo, dentro del criterio de planificación, se debe clasificar de tal manera que se puedan fijar funciones específicas para atender las necesidades de movilidad de personas de manera rápida, confortable y segura y a las necesidades de accesibilidad a las distintas propiedades o uso del área colindante así tenemos a las Autopistas o vías rápidas, vías o calles principales o arteriales, secundarias o colectoras y locales (Cal y Mayor & Cárdenas, 2019).

Las calles principales son de acceso controlado, destinada a proveer de alta movilidad y grandes volúmenes de tránsito de paso y poco o nulo acceso a la propiedad lateral, mientras que las calles locales son de accesos no controlados y de fácil acceso a propiedades, las calles secundarias o colectoras sirven para conectar las vías principales con las locales y dar flujo y acceso medio a los usuarios del sistema (Cal y Mayor & Cárdenas, 2019).

Figura 2

Clasificación del sistema vial urbano



Nota. Esquema funcional del sistema vial urbano tomado del libro de Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones (Cal y Mayor & Cárdenas, 2019).

- Autopistas y vías rápidas. – son aquellas calles adecuadas a facilitar el movimiento de grandes volúmenes de tránsito entre áreas, son divididas con control total de accesos y sin comunicación directa a propiedades colindantes, las Autopistas, tiene la separación total de los flujos conflictivos, mientras que las vías rápidas pueden tener algunas intersecciones a desnivel, las vías rápidas pueden ser la etapa anterior a una autopista estas dos tipos de vías son parte esencial de la red primaria de un área urbana puede conectar el norte con el sur, el este con el oeste o simplemente abordar el perímetro del área urbana (Cal y Mayor & Cárdenas, 2019)
- Calles principales. – son las que permiten el movimiento del tránsito entre varias partes de un área urbana, dan acceso a los generadores principales del tránsito como las autopistas y vías rápidas, (Cal y Mayor & Cárdenas, 2019).
- Calles colectoras son las que ligan las calles principales con las calles locales, proporcionando a su vez acceso a propiedades colindantes(Cal y Mayor & Cárdenas, 2019).
- Calles locales. – Proporcionan acceso directo a las propiedades residenciales, industriales, comerciales o de algún otro uso, además facilita el tránsito local hacia residencias, se conectan directamente a calles colectoras o principales (Cal y Mayor & Cárdenas, 2019).

1.2.3. Elementos de una vía urbana

Aunque los elementos de la vialidad urbana son demasiados debido a la complejidad con la cual se maneja las variables, se puede decir que los principales elementos de una vía urbana dependerán a la interacción de la vía, el vehículo, el usuario, de los dispositivos de seguridad, del transporte, de la operación y de la ingeniería de tránsito, y según su clasificación vial tendrá sus elementos, pero los más frecuentes son en las calles urbana vemos las aceras o veredas, bermas, calzada, cuentas y bordillos, hay que considerar también las rejillas, tapas de alcantarillado y sistemas eléctrico, de voy y de datos (Chavez, 2005).

Una de las características típicas de las vías urbanas es el acceso necesario a las localidades aledañas, en América Latina como en Perú, son muy frecuentes encontrar vías principales conectadas a vías locales con acceso a zonas residenciales esto para facilitar el acceso (Chavez, 2005).

Figura 3

Sección típica de una vía principal en América Latina.



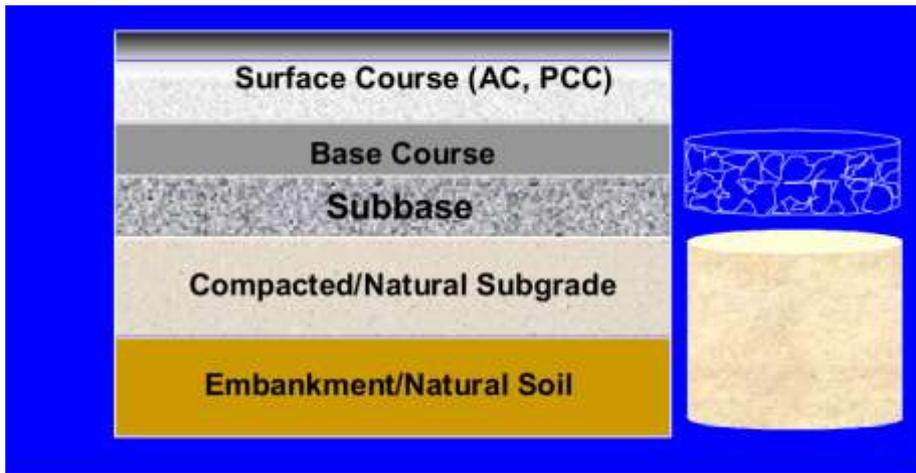
Nota. Sección típica de una Arteria principal con 3 carriles en cada sentido con vía local a cada lado, obtenido del Manual de Diseño Geométrico de vías Urbanas-2005.

1.2.4. Estructura de pavimento

De conformidad con la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos de Norteamérica, los aspectos geotécnicos de un pavimento, están constituidos básicamente por el terraplén de suelo natural, una sub rasante natural compactada sub base, base y la superficie o capa de rodadura (FHWA, 2006).

Figura 4

Componentes básicos de un sistema típico de pavimentos



Nota. Sección típica de un pavimento extraído del Manual de Aspectos Geotécnicos del Pavimento de la Federal Highway Administrations (2006).

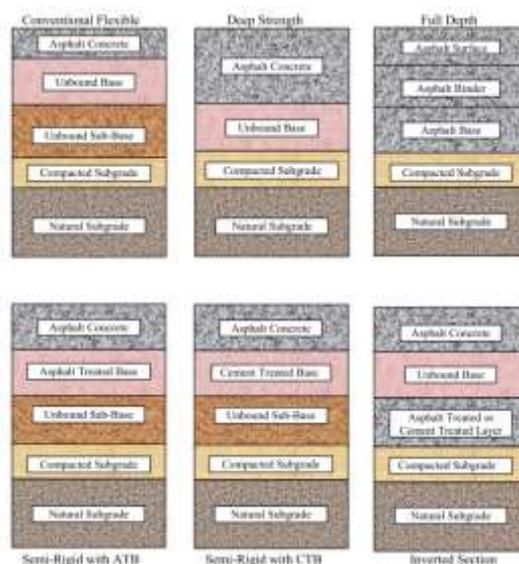
1.2.5. Tipos de capa de rodadura de una vía urbana

Desde la década de 1880, inició la utilización de pavimentos flexibles y rígidos en los Estados Unidos de Norteamérica, el desarrollo histórico del diseño de pavimentos ha sido en gran medida empírico, hasta los años 1998, donde se desarrollaron las metodologías AASHTO en 1986, 1993 y 1998, en la mayoría de los casos esas metodologías han sido modificadas basándose en experiencia regionales, sin embargo en la actualidad estos diseños se ven desafiados en un cambio adicional en el tipo de construcción, que en las últimas décadas ha pasado de la nueva construcción a la rehabilitación, siendo muy importante el estudio de las estructuras de pavimentos, la alternativa de tipos de pavimentos más aplicados son, los pavimentos flexibles, los pavimentos rígido que términos más simples son losas de concertó de cemento portland (PCC), los pavimentos compuestos que combinan elementos rígidos y flexibles y los caminos sin pavimentar (FHWA, 2006).

1.2.6. Pavimentos flexibles en vías urbanas

Figura 5

Secciones tipo de la estructura de un pavimento flexible



Nota. Sección típica de la estructura de un pavimento flexible del Manual de Aspectos Geotécnicos del Pavimento de la Federal Highway Administrations (2006).

Los pavimentos flexibles en general consisten en una capa o capa de superficie ligada con asfalto encima de capas granulares de base y sub base no ligadas sobre el suelo de la sub rasante, en algunos casos las capas de sub base y base pueden estabilizarse utilizando aditivos cementoso o bituminosos, también pueden proporcionarse capas de drenaje para eliminar rápidamente el agua de la estructura (FHWA, 2006).

En la actualidad se han desarrollado varios tipos de pavimentos flexibles con diferentes aplicaciones según las condiciones a las que se adapten necesarias, la figura cinco, muestra algunos tipos de pavimentos flexibles.

1.2.7. Pavimento rígido en vías urbanas

Los pavimentos rígidos en general esta constituidos por losas de cemento portland asentadas sobre una capa base granular acentuada en el suelo de la sub rasante, la capa base sirve para incrementar la rigidez efectiva de la losa de cimentación, debido a las

bajas tensiones inducidas por el tráfico y los efectos ambientales como lo son la expansión y contracción térmica, relacionadas con la resistencia a la tracción del hormigón de cemento portland, la mayoría de losas de pavimento rígido no están reforzadas o solamente están ligeramente reforzadas (FHWA, 2006).

Los sistemas de pavimento rígido se dividen en cuatro grandes grupos, los pavimentos de concreto planos articulados (JPCP), pavimentos de hormigón armado articulado (JRCP), pavimentos de hormigón continuamente armado (CRCP) y pavimentos de hormigón pretensado (PCP), diseño de Losas de hormigón con geometría optimizada (DLHGO)

JPCP.- Este tipo de pavimento corresponde a losas de concreto no reforzadas sin embargo, requieren de un espaciamiento modernamente corto de juntas longitudinales y transversales para mantener las tensiones térmicas dentro de límites aceptables, las juntas longitudinales generalmente se ajusta al ancho del carril de 3.7m y las juntas transversales generalmente oscilan entre 4.5 y 9 m, suele estar complementado con pasadores de acero u otros dispositivos de transferencias de carga proporcionada a través de las juntas (FHWA, 2006).

JRCP.- Las losas de concreto están constituidas por una malla de alambre ligero o barras de refuerzo, estas losas no están diseñadas para aumentar la capacidad de carga del pavimento sino más bien para resistir el agrietamiento bajo esfuerzos térmicos, con esto se puede permitir espacios más largos entre juntas transversales entre losas, oscilan entre 9 y 30m también requieren de pasadores o dispositivos similares para una adecuada transferencia de carga entre juntas (FHWA, 2006).

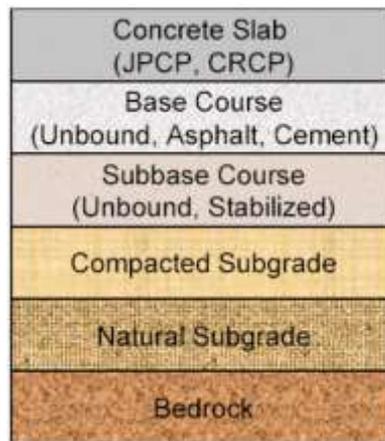
CRCP.- Los pavimentos rígidos de este tipo no requieren de juntas transversales, al estar diseñado el pavimento de manera que desarrollen grietas térmicas transversales con espaciamientos muy cercanos, las barras de refuerzo convencionales están constituidas para mantener firmemente juntas las grietas transversales térmicas y para complementar el entrelazado de agregados entre las grietas y proporcionar una excelente transferencia de carga a través de las grietas, no tienen juntas transversales y generalmente los diseños son más delgados de los otros tipos en un orden de 25 a 50 mm (FHWA, 2006).

PCP.- El diseño del PCP es similar al CRCP, con la diferencia que el refuerzo longitudinal consisten en cordones de acero continuo que se pretensan antes de colocar el concreto o se pos tensan después de colocar el concreto cuando este se haya endurecido, la tensión de tracción inicial en el refuerzo contrarresta las tensiones de tracción inducidas por carga y tensión térmica en el hormigón permitiendo la construcción de losas más delgadas este tipo de pavimentos se utilizan más comúnmente en aeródromos o para la rehabilitación de carreteras con losas pos tensadas (FHWA, 2006).

DLHGO.- es una tecnología de pavimentos de hormigón el cual reduce el espesor de la losas optimizando su tamaño, en relación con la geometría de los ejes de los camiones, el principio fundamental radica en diseñar una losas para que no más de un set de ruedas se encuentre en una determinada losa.

Figura 6

Secciones tipo de la estructura de un pavimento rígido



Nota. Sección típica de la estructura de un pavimento rígido del Manual de Aspectos Geotécnicos del Pavimento de la Federal Highway Administrations (2006).

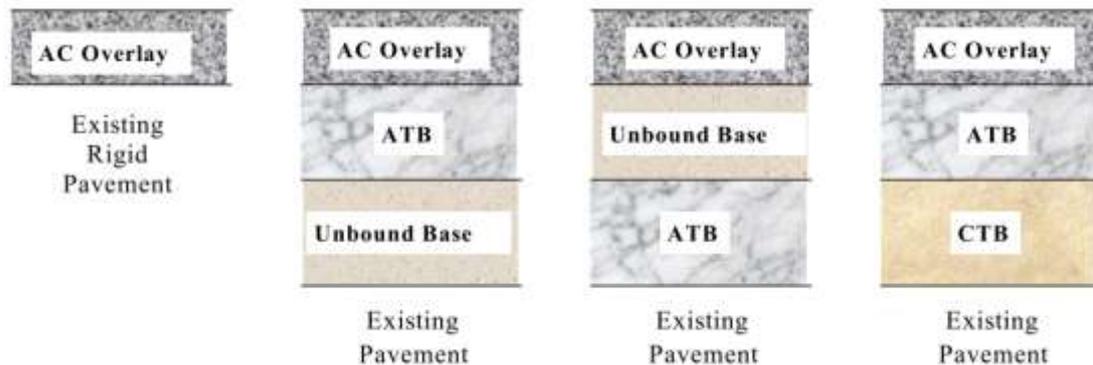
1.2.8. Pavimentos compuestos en vías urbanas

Los pavimentos compuestos consisten en una capa de superficie de concreto asfáltico sobre PCC o bases tratadas, también se utilizan pavimentos compuestos de PCC sobre

asfalto, las bases tratadas pueden ser sobre asfalto (ATB) o bases tratadas con cemento (CTB), las capas base se tratan para mejorar la rigidez y en caso de una base permeable la estabilidad para la construcción (FHWA, 2006).

Figura 7

Secciones tipo de la estructura de un pavimento compuesto



Nota. Sección típica de la estructura de un pavimento compuesto del Manual de Aspectos Geotécnicos del Pavimento de la Federal Highway Administrations (2006).

1.2.9. Caminos sin pavimentar

La mayoría de caminos sin pavimentar se deben al poco tráfico y al bajo volumen de tránsito, que en la mayoría de los casos los caminos sin pavimentar se construyen simplemente con subrasante compactada o modificada y en la mayoría de los casos se utiliza grava revestida como superficie de desgaste, cuya función es soportar la carga y dar un servicio adecuado al tránsito vehicular sin embargo los problemas en este tipo de carreteras incluyen a la rugosidad, desplazamiento lateral de la grava superficial, tracción y polvo (FHWA, 2006).

1.2.10. Conservación de vías urbanas

Mantener o conservar un camino, carretera o calle en óptimas condiciones de operación es importante al permitir que la calle se encuentre permanentemente en buen estado, ahorra los costos de operación de los vehículos, mantienen un acceso permanente a los servicios públicos, ahorra tiempo para los usuarios y se preserva la inversión efectuada en la construcción (Menéndez, 2003).

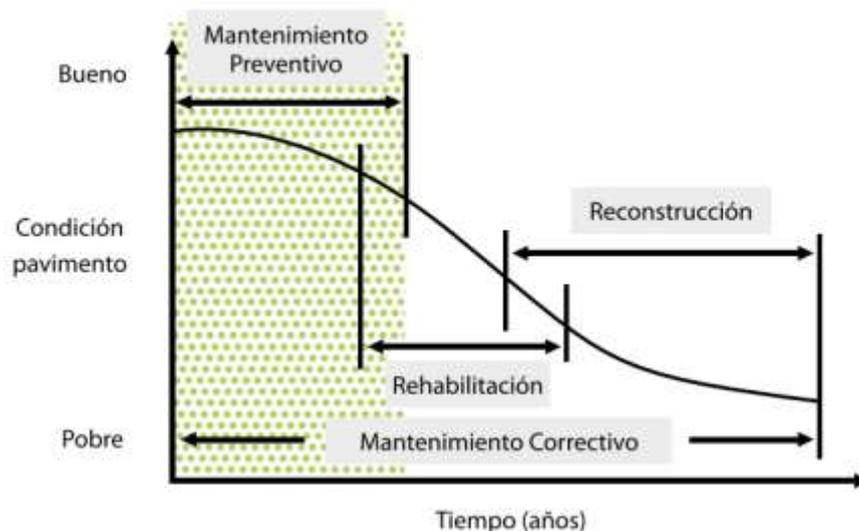
El mantenimiento no es una acción que puede efectuarse en cualquier momento, sino más bien es una acción sostenida en el tiempo que está orientada a prevenir los efectos de los agentes que actúan sobre la calle, extendiendo el mayor tiempo posible la vida útil de la estructura vial y reduciendo las inversiones requeridas a largo plazo (Menéndez, 2003)

Para mantener una conservación y vida remanente de las vías o calles, depende en muy buena parte de la condición estructural que exhiben durante su etapa de operación (Beltrán-Calvo & Romo-Organista, 2014), el desconocimiento de la condición actual del pavimento genera que se utilicen recursos de manera inapropiada aplicando alternativas de solución que no son las más óptimas al deterioro que necesita (Picado Muñoz, 2017).

Para diseñar una planificación adecuada y dar un óptimo manejo de los recursos en la conservación vial, es necesario conocer la vida útil de la estructura del pavimento representadas en las curvas de deterioro del pavimento, ya que estas permiten tener una mejor conceptualización de las condiciones que se están presentando en un momento dado y a su vez predecir la condición futura (Picado Muñoz, 2017).

Figura 8

Relación entre condición de pavimento y tipos de tratamiento



Nota. Curva de la condición del pavimento y su relación con el tipo de tratamiento para la conservación vial para pavimento elaborado por Picado Muñoz, 2017, Revista Infraestructura Vial, volumen 18.

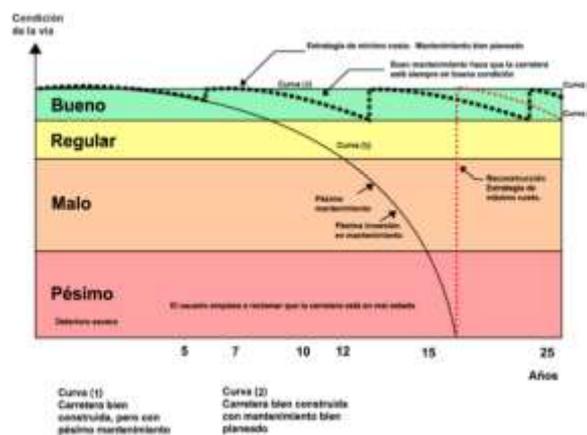
El mantenimiento periódico es crucial para la vida útil del pavimento y para que este se encuentre en buena condición, conservar el pavimento en buen estado aumenta considerablemente su vida útil correspondiendo a esta práctica la alternativa de menor costo para la administración y conservación vial, así una vía bien construida, pero sin mantenimiento se deteriora más rápidamente en el tiempo, que una vía bien construida pero con mantenimiento preventivo que garantiza el buen estado y conservación de la vía (Elizondo Arrieta, 2010).

1.2.11. Ciclo de vía del pavimento.

Las estructuras de pavimento de calles urbanas sufren deterioros permanentes debido a diferentes agentes externos que actúan sobre ellos como el agua, el tráfico, la temperatura, etc., afectan en mayor o menor medida, pero su efecto es permanente, proceso que tiene diferentes etapas desde el inicio como un proceso lento poco visible hasta pasar a una etapa crítica donde su estado deja de ser bueno, para empezar a deteriorarse de una manera rápida hasta llegar al punto de su descomposición total (Menéndez, 2003).

Figura 9

Curva de vía de un pavimento.



Nota. Curva de vida de un pavimento con mantenimiento preventivo y curva de vida de un pavimento sin mantenimiento preventivo, elaborado por Elizondo Arrieta, 2010, Boletín PITRA, volumen 1, septiembre de 2010.

1.2.12. Índice de Condición Superficial (I.C.P.)

El índice de condición del pavimento (ICP), fue desarrollado por la U.S.Army Corp of Engineers de los Estados Unidos de Norteamérica, y es un indicador que se basa en las condiciones visuales para determinar la condición en que se encuentra el pavimento de una carretera, asignando valores discutibles a áreas o longitudes afectadas por la operación de los vehículos que transitan sobre el o a determinados agentes externos o practicas constructivas (Satish et al., 2013).

Para determinar la condición del pavimento se ha desarrollado la norma ASTM D 6433, que evalúa dicha condición a partir de fallas y deterioros observados en la estructura, esta evaluación es realizada de manera visual y con la ayuda de equipos de medición, asignando niveles de severidad cuan más profundo sean los daños y a partir de las fallas observadas se calculan un porcentaje de condición del pavimento y según el porcentaje la norma ha establecido una tabla de valores para determinar su condición (ASTM- D 6433-11, 2011).

Figura 10

Curva de vía de un pavimento.



Nota. Valores de la condición del pavimento obtenidos de la norma ASTM-D-6433-11, 2011.

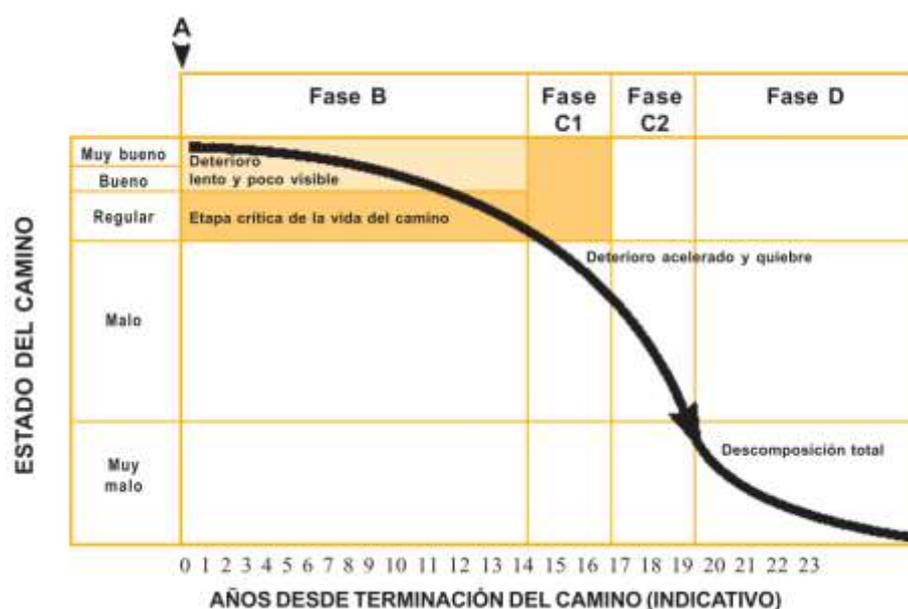
1.2.13. Fases en la conservación de vías urbanas con ICP.

Con el ICP se pueden elaborar unas curvas de tiempo y condición superficial del pavimento ver figura 8, y dependiendo del nivel de severidad e que se encuentre la calle, se planifica el tipo de mantenimiento correctivo a efectuarse, conociendo que los níveles de mantenimiento son preventivo, rehabilitación o reconstrucción (Picado Muñoz, 2017).

Las fases en la conservación de vías urbanas se presentan en cinco etapas:

Figura 11

Curva de la condición de la calle sin mantenimiento y fases de la conservación vial



Nota. Curva de la condición del camino, tomado el libro de Mantenimiento Rutinario de Caminos con Microempresas, elaborado por José Menéndez, 2003, Organización Mundial del Trabajo 2003, Primera Edición.

Fase A Construcción. – Inicia el mismo día de la inauguración o poco antes, sin embargo, entran en servicio apenas se termina la obra en excelentes condiciones para satisfacer las necesidades de los usuarios (Menéndez, 2003).

Fase B Deterioro lento o poco visible. - Durante un cierto número de años, la estructura va experimentando un proceso de desgaste y debilitamiento lento, principalmente en su superficie de rodadura y en las obras de drenaje, si en esta etapa no se efectúa las operaciones rutinarias de mantenimiento, la vida útil de la calle se reduce sustancialmente (Menéndez, 2003).

Fase C Deterioro acelerado. – Después de varios años de uso, la superficie de rodadura y otros elementos de la calle están cada vez más agotados, la estructura entra en un periodo de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito vehicular, al inicio de esta fase la estructura del camino aún está intacta con la percepción de los usuarios que el camino se mantiene bastante sólido, condición que cambia más adelante de la fase C, se observan daños cada vez más visibles, en otras palabras los daños comienzan siendo puntuales y poco a poco se van extendiendo hasta afectar la mayor parte de la calle (Menéndez, 2003).

Fase C Descomposición total. - La descomposición del camino constituye la última etapa de su existencia y puede durar varios años, durante este periodo el paso de los vehículos se dificulta seriamente, la velocidad de circulación baja bruscamente y la capacidad del camino queda reducida a tan solo una fracción de la original, empiezan a experimentar daños en los vehículos de transporte y retrasos en los tiempos de circulación (Menéndez, 2003).

1.2.14. Patologías de vías urbanas con pavimento rígido

La Norma ASTM D 6433-11, (Práctica estándar para encuestas sobre el índice de condiciones del pavimento perdido en carreteras y estacionamientos), establece las diferentes patologías que existen en un pavimento rígido, determinando su nivel de deterioro en bajo, medio o alto, dependiendo de su medida y del nivel de severidad en la estructura del pavimento, la tabla uno describe a los diferentes tipos de patologías (ASTM- D 6433-11, 2011).

Tabla 1*Patologías del pavimento rígido*

	NOMENCALTURAS DE FALLAS EN PAVIMENTO RÍGIDO	CODIGO
1	DESCASCARAMIENTO	D
2	DESPOSTILLAMIENTO DE JUNTAS	D.J.
3	FALLAS CONSTRUCTIVAS	F.C.
4	DETERIORO DE SELLO	D.S.
5	FISURACIÓN POR RETRACCIÓN	F
6	FISURAS LIGERAS DE APARICIÓN TEMPRANA	F.L.A.T.
7	GRIETAS DE ESQUINA	G.E
8	GRIETA EN LOS EXTREMOS DE LOS PASADORES	G.E.P
9	GRIETA LONGITUDINAL	G.L
10	GRIETA TRANSVERSAL	G.T
11	LEVANTAMIENTO LOCALIZADO	L.V.
12	PULIMIENTO	P.

Nota. Tabla de valores de la condición del pavimento obtenidos de la norma ASTM-D-6433-11, 2011.

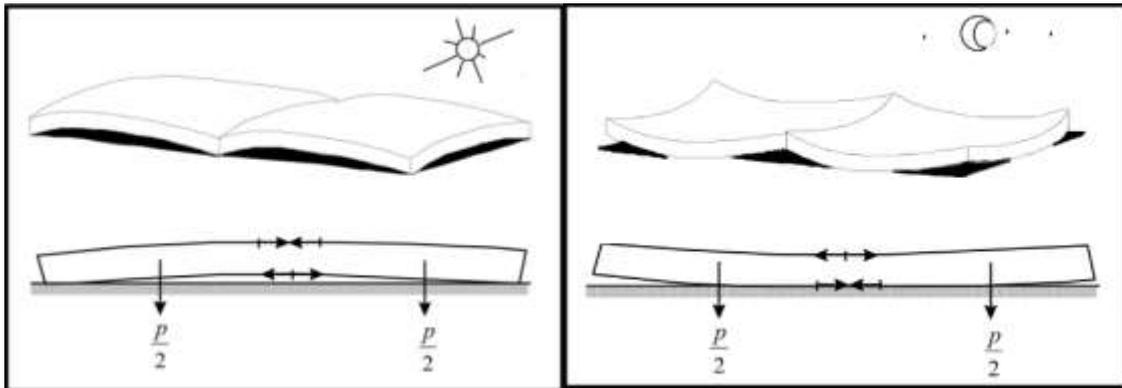
1.2.15. Variable térmica en pavimentos rígidos

La temperatura es factor influyente en las curvaturas de las losas de pavimento rígido generados por los esfuerzo a flexión, la curvatura de temperatura ascendente ocurre mayoritariamente durante la noche cuando la parte superior de la losa se empieza a contraer con respecto a la parte inferior, mientras que la curvatura de temperatura descendente ocurre durante el día, cuando la parte inferior de la losa se contrae respecto de parte superior (Heath & Roesler, 1999), a estos efectos de las losas de un pavimento rígido se las conoce como alabeo por su gran susceptibilidad a los cambios de temperatura (Toirac Corral, 2004).

En las losas de hormigón la diferencia de temperatura a través de la losa tiene un impacto importante en la deflexión y esfuerzos, por lo tanto es una variable importante al momento de evaluar la estructura del pavimento (A. Arancibia, 2016).

Figura 12

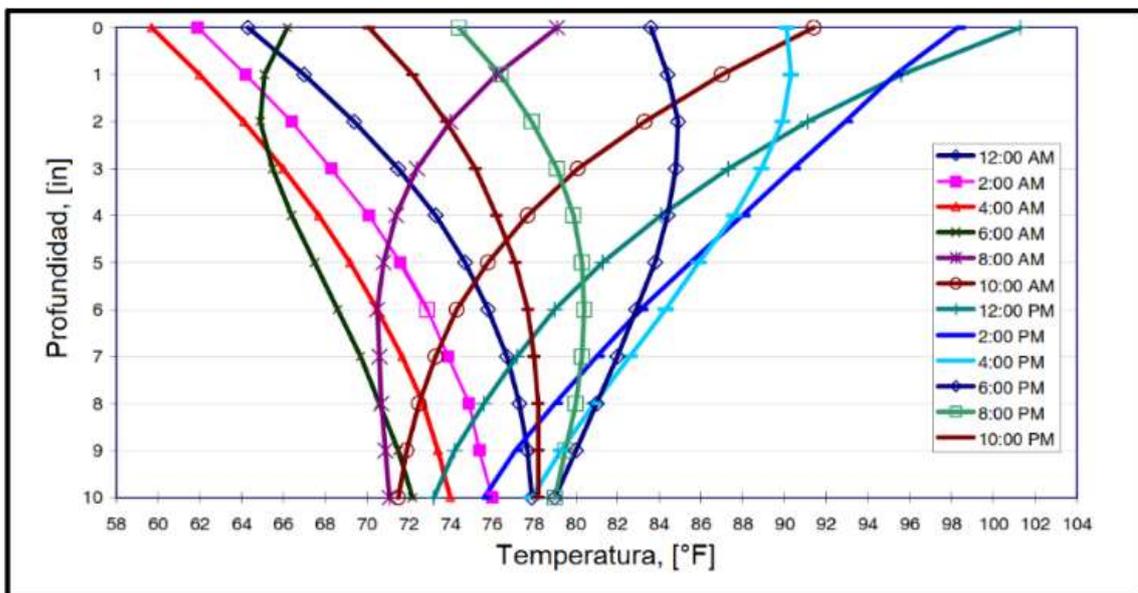
Alabeo por expansión y contracción térmica



Nota. Tomado de la tesis de pregrado de la Universidad Técnica Federico Santa María, elaborado por Arancibia A. (2016).

Figura 13

Variación de la temperatura en una losa de pavimento rígido de 10 pulgadas.



Nota. Tomado de la tesis de pregrado de la Universidad Técnica Federico Santa María, elaborado por Arancibia A. (2016), donde cita a Yu H.T. et al, 2004, Consideration of JPCP Curling and Warping in the 2002 Desing Guide”.

De la experiencia en el diseño y conservación de pavimentos rígidos, se ha observado que más grietas aparecen en losas más largas al tener esfuerzos de alabeo mayores que las

losas cortas (Mendez et al., 2015), esto debido a la deformación del hormigón producido por cambios de temperatura (Heath & Roesler, 1999), y viene dada por la siguiente expresión:

$$\epsilon_t = \alpha \times \Delta T \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde ϵ_t , es la deformación térmica

α , es el coeficiente de expansión térmica

ΔT es el cambio de temperatura

Tabla 2

Coefficiente de expansión térmica en Palmdale y Caltrans

Results of coefficient of thermal expansion testing.					
Mix design	Curing time (days)	Curing condition	Test type	Coefficient of thermal expansion	
				(1/°C)	%Ave
FSHCC (Palmdale)	28	Water	ASTM	6,82E-06	84
			USACE	8,17E-06	100
		Air	ASTM	8,07E-06	99
			USACE	8,89E-06	109
	28	Water	ASTM	7,15E-06	88
			USACE	8,59E-06	106
		Air	ASTM	7,50E-06	92
			USACE	9,05E-06	111
Caltrans	28	Water	ASTM	7,91E-06	97
			USACE	7,99E-06	98
		Air	ASTM	8,25E-06	101
			USACE	8,80E-06	108
	28	Water	ASTM	8,03E-06	98
			USACE	8,71E-06	107
		Air	ASTM	8,50E-06	104
			USACE	7,88E-06	97
Promedio (Palmdale)				8,03E-06	99
Promedio (Caltrans)				8,26E-06	101
Valor promedio				8,14E-06	100

Nota. Adaptado de Shrinkage and Thermal Cracking of Fast Setting Hydraulic Cement Concrete Pavements in Palmdale, A.Heath & J. Roesler, 1999.

El coeficiente de expansión térmica (alfa), en el concreto está influenciado por el tipo de agregado que por cualquier otro factor, siendo el cuarzo el coeficiente de expansión térmica más alto de los minerales comunes, y el concreto a menudo está relacionado con el contenido de cuarzo en los agregado, el coeficiente de expansión térmica se lo ha realizado eventualmente en morteros y se determina dividiendo el cambio de longitud por el cambio de temperatura (Heath & Roesler, 1999).

1.2.16. Evaluación estructural de pavimentos de concreto.

Los esfuerzos a flexión y compresión de las losas de concreto de un pavimento rígido, se calculan mediante ecuaciones analíticas que representan los esfuerzos que se esperan en los pavimentos (Chaparro & Pradena, 2019), programas con elementos finitos proporcionan información adicional muy útil para el análisis del comportamiento del pavimento (Pallares-Muñoz & Pulecio-Díaz, 2017), el programa Ever Fe, proporciona una plataforma simple y fácil de usar para el análisis de pavimentos rígidos de configuraciones variables y en diferentes condiciones de carga, incluidas cargas térmicas inducidas por gradientes de temperatura (Bojorque-Iñiguez, 2021) .

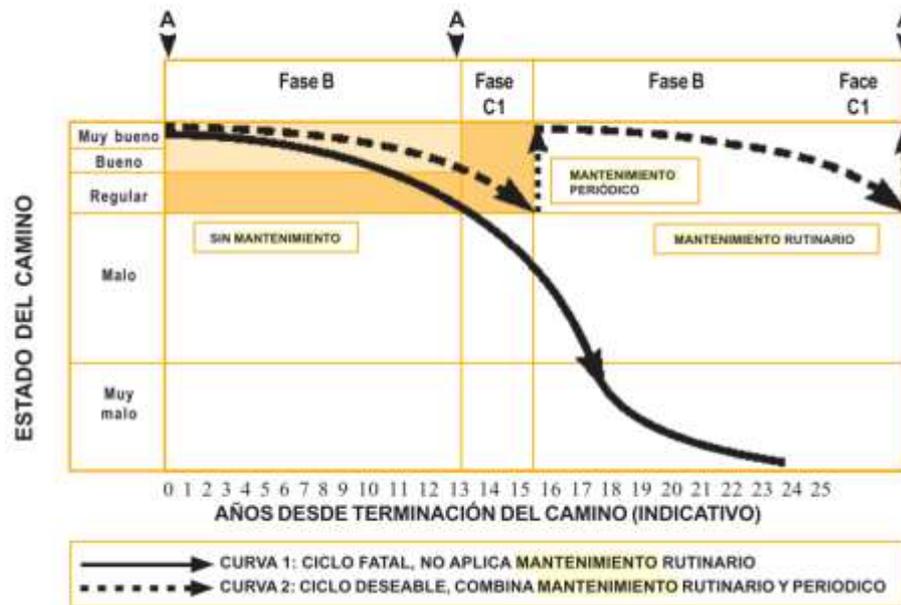
1.2.17. Modelos de evaluación para la conservación vial

La mayoría de los modelos o metodologías de conservación vial, se basan a sus actividades a conservar la vida útil de la calle por lo general hasta llegar a la fase C del ciclo de vida de la carretera, ejecutan las actividades, hasta llegar nuevamente a mantenerse en un nivel confortable en la fase A y empezar nuevamente el ciclo, este es el ciclo de vida deseable de una vía (Menéndez, 2003).

En algunos países se están desarrollando nuevas formas de levantar información para obtener de manera más eficiente y rápida la información para obtener el índice de condición de pavimento utilizando métodos electrónicos adecuados a equipos vehiculares con ayuda de la inteligencia artificial (Macea et al., 2016),

Figura 14

Curva de vida útil deseada del pavimento



Nota. Curva de la condición del camino deseado, tomado el libro de Mantenimiento Rutinario de Caminos con Microempresas, elaborado por José Menéndez, 2003, Organización Mundial del Trabajo 2003, Primera Edición.

1.2.17.1. Modelo de evaluación para la conservación vial con la aplicación SIG.

En la actualidad, los sistemas de información geográfica están revolucionando la forma de levantar información de campo mediante la aplicación de dispositivos digitales como el GPS, y la aplicación de la herramienta SIG en la toma de decisiones para la gestión del pavimento, desde donde se puede determinar mediante el ICP y URCI la condición del pavimento (Palma et al., 2023).

Figura 15

Niveles de servicio de los pavimentos flexibles mediante el método del ICP, aplicando el Sistema de Información Geográfica.



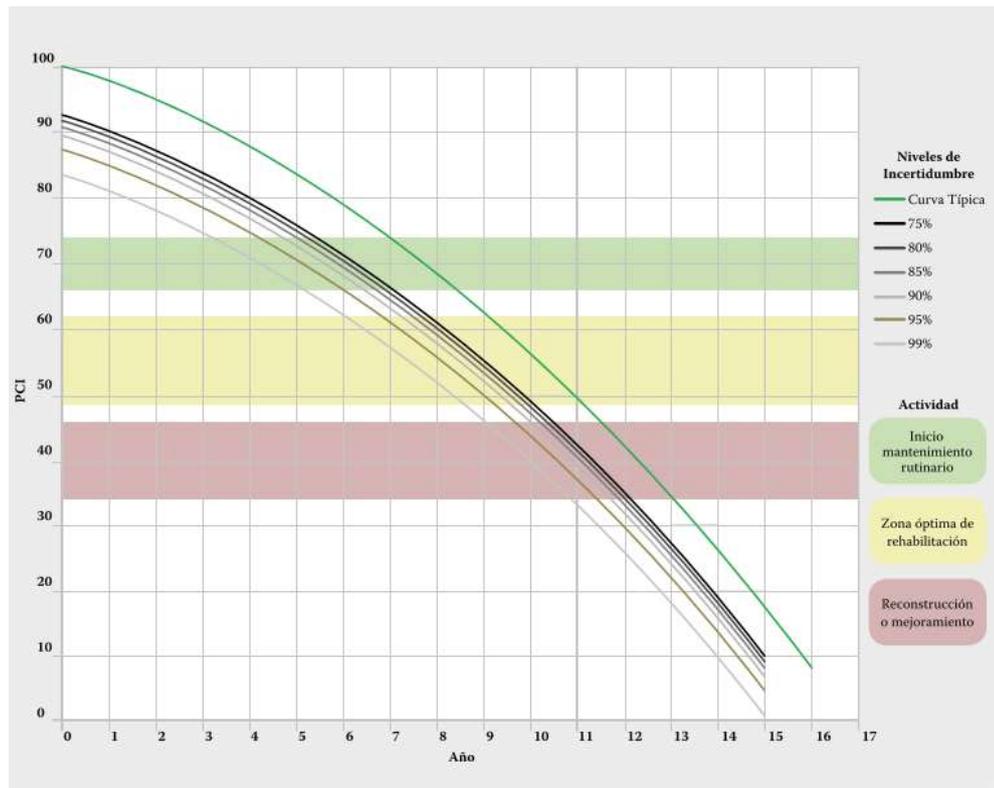
Nota. Mapa de clasificación del índice de condición del pavimento flexible, elaborado por Palma et al, 2023, Sistema de Gestión de Pavimentos basado en el empleo de un Sistema de Información Geográfica, Revista Ciencia y Construcción, volumen 4, 2023.

1.2.17.2. Modelo de evaluación convencional con la aplicación del Índice de Condición del Pavimento (ICP), y curvas de vida útil del pavimento.

Para el desarrollo de modelos de evaluación de carreteras, uno de los indicadores más empleados ha sido la determinación del ICP, que su metodología de aplicación, se encuentra definido en la norma ASTM D-6433, mediante el cual se puede determinar con auscultación el deterioro en campo y el cálculo de las unidades de muestreo con el respectivo índice de condición del pavimento ICP, con esta información y conocida la última intervención en la conservación vial realizada, se puede obtener una dispersión que aplicando un análisis estadístico de Clúster, se puede desarrollar las curvas de deterioro del pavimento para diferentes condiciones (Picado Muñoz, 2017).

Figura 16

Curva de vía de un pavimento.



Nota. Curva de la condición del pavimento con niveles de incertidumbre y la aplicación del mantenimiento correctivo en correlación con el ICP, elaborado por Picado Muñoz, 2017, Revista Infraestructura Vial, volumen 18.

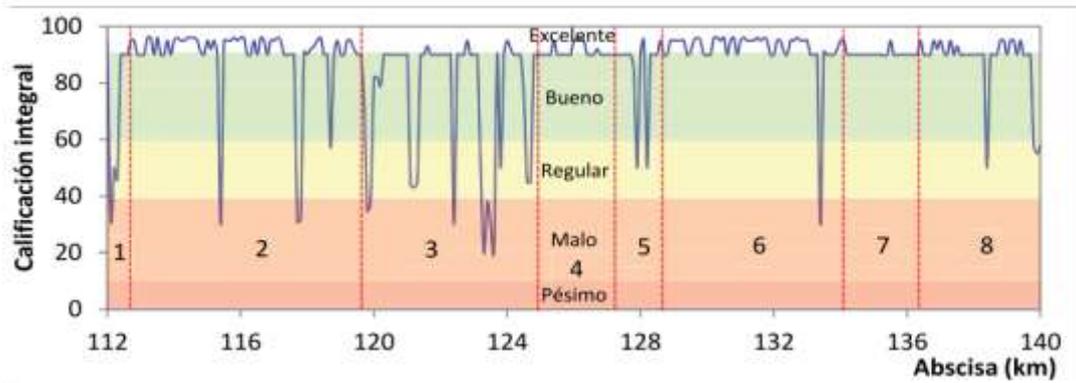
1.2.17.3. Modelos de evaluación de la conservación vial integrada.

Beltran y Romo (2013), desarrollaron una metodología para la evaluación de pavimentos y decisiones de conservación basado en sistemas de interferencia difusos, que permite caracterizar al pavimento de una manera rápida con los niveles de detalle que se desee, para tales fines utilizaron datos de auscultación no destructiva registrado en pavimentos de tres y cuatro capas, datos que revelan la magnitud y severidad de daños estructurales y parámetros e indicadores de rigidez derivados de pruebas de deflexión por impacto, los resultados demostraron la eficacia de la aplicación de estos métodos para evaluar la

condición del pavimento y establece las medidas de conservación vial (Beltrán-calvo & Romo-organista, 2014).

Figura 17

Caracterización de la condición estructural integral de un tramo de vía.



Nota. Tomado de la Investigación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos, por Beltran y Romo, 2014, Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología, volumen 15.

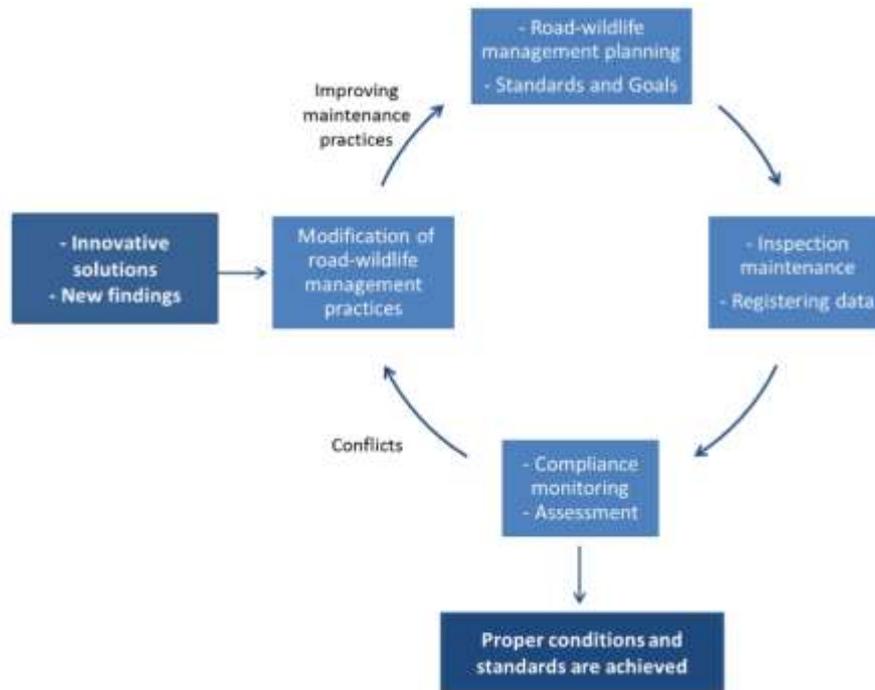
1.3. Antecedentes Referenciales

1.3.1. Conservación vial en el mundo.

La conservación vial a nivel mundial está dirigiendo su esfuerzo a integrar el componente ambiental dentro de sus operaciones, en los países europeos por gran diversidad de ecosistemas y vida silvestre se ven atrapado por situaciones diversa como los accidentes de tránsito por paso e animales en calles pavimentadas, en ese sentido han tomado acciones tanto las autoridades viales, como las empresas que dan servicio de mantenimiento tomando en consideración el adoptar directrices adecuadas para garantizar una estrategia de mantenimiento que incluya a la vida silvestre (Rosell et al., 2014).

Figura 18

Estrategia adaptativa del mantenimiento vial y la vida silvestre.



Nota. Tomado de la Investigación Road maintenance practice to improve wildlife conservation and traffic safety, por Rosell et al, 2014, IENE 2014 Conferencia Internacional.

1.3.2. La Conservación Vial en Latinoamérica.

En los países de Latinoamérica desde hace 35 años se viene consolidando el empleo de microempresas locales para la conservación vial, que emprenden programas de desarrollo de mantenimiento rutinario y mantenimiento vial de mayor alcance todos abordados con una planificación evaluada y aprobada por ente rector de cada país (García Lorenzana, 2020), unas de las técnicas más aplicadas es la referida a la programación de obras en base a inspecciones técnicas realizada en sitio.

Figura 19

Historial de microempresa locales viales que dan mantenimiento rutinario en América Latina.



Nota. Tomado de la tesis de maestría, Conservación Vial para el desarrollo: un caso de estudio en Jujuy, Argentina, por Garcia-Lorenzana, 2020, Universidad Politécnica de Madrid.

1.3.3. La Conservación vial en el Ecuador.

En el Ecuador el ente rector de las políticas de mantenimiento vial en carreteras estatales las tiene el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, con un programa de mantenimiento vial por resultados y mantenimiento por niveles de servicio (MTOPE, 2012), aunque este último radica desde el año 2012, los niveles de servicio están consideradas a la operación de conservación rutinarias de calzada, bermas, seguridad vial, derecho de vía y Saneamiento y drenaje, actividades que son adjudicada a micro empresas de la localidad.

Para las zonas urbanas municipales, las competencias están a cargo de los Gobiernos descentralizados Municipales quienes administran las calles de la ciudad de administran (ANE, 2018).

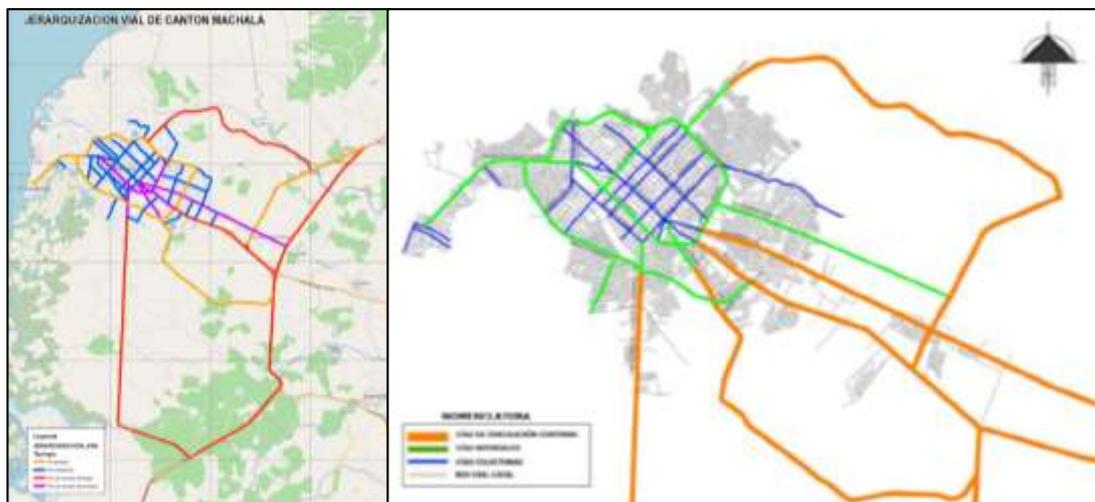
1.4. Antecedentes contextuales

1.4.1. Identificación, tipo y caso de estudio

Como caso de estudio para la aplicación del presente trabajo de investigación, corresponde a una vía de principal de primer orden, en este caso la Carretera E-25, considerada como una arteria principal para la movilidad de vehículos que se dirigen a la ciudad de Machala que cuenta con más de trescientos mil habitantes (GADM MACHALA, 2018).

Figura 20

Jerarquización vial de la ciudad de Machala.



Nota. Tomado de la tesis de maestría, Conservación Vial para el desarrollo: un caso de estudio en Jujuy, Argentina, por Garcia-Lorenzana, 2020, Universidad Politécnica de Madrid.

La carretera E-25, es una vía de primer orden principal de seis carriles de doble sentido separados con una barrera de hormigón las características principales se presentan en la siguiente tabla, como muestra para el proyecto se ha establecido la longitud de 1km, desde el km 37 al Km 38.

1.4.2. Ubicación geográfica del área de estudio

Las coordenadas de ubicación geográfica del km37 al km38 del estudio se detallan en la tabla 3. Se ha seleccionado el kilómetro con mayor afectación de losas por daños severos en la estructura del pavimento.

Tabla 3

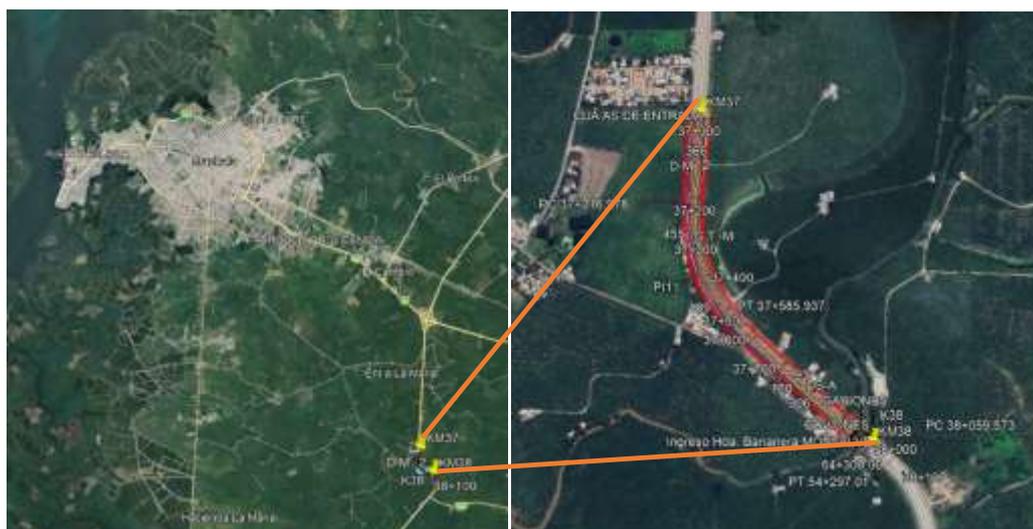
Coordenadas del tramo de estudio en el Km 37 al Km38

COORDENADAS DE UBICACIÓN		
UBICACIÓN	NORTE - SUR	ESTE - OESTE
INICIO KM37	9629924.71 m S	622977.20 m E
FIN KM38	9629098.67 m S	623406.10 m E
Longitud:	1 Km	

Nota. Cuadro con valores de levantamiento efectuados por el Autor, obtenidos desde Google Earth.

Figura 21

Ubicación del área de estudio



Nota. Grafica efectuados por el Autor, obtenidos desde Google Earth.

1.4.3. Características del área de estudio

Tabla 4

Características geométricas de la carretera e-25 tramo ingreso a la ciudad de Machala.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICA DE LA CARRETERA E-25 TRAMO Y DE TILIALES - INGRESO SANTA ROSA		
DESIGNACIÓN		
LONGITUD DE TRAMO DE IGUALES CARACTERISTICAS	23,2	Km
VELOCIDAD DE DISEÑO	*50	Km/h
VELOCIDAD DEL TRONCO EN INTERSECCIONES	*80-100	Km/h
PENDIENTE TRANSVERSAL	2%	%
NRO. DE CARRILES POR SENTIDO	3	u
NRO. DE SENTIDOS	2	Doble
CARRIL DE SEGURIDAD	1	u
ANCHO DE CARRILES	3,65	m
ANCHO DE ESPALDON	2,5	m
ANCHO DE PARTERRE CENTRAL	2,2	m
DIVISION DE PARTERRES	MURO JERSEY	u
CUNETAS	SI	
ESPALDON - BERMA	SI	

Nota. Cuadro con valores de levantamiento efectuados por el Autor.

CAPITULO II. MÉTODOS

2.1. Metodología De La Investigación

La metodología de investigación para el planteamiento de la tesis se determinará de aquella que más se ajuste a las necesidades de la temática planteada, para este tipo de investigación la metodología que más se adapta es la investigación empírica práctica, por cuanto trata de resolver un problema planteado y la comprobación de una hipótesis en la que el estudio se realiza directamente en el medio donde se desenvuelve y desde este punto de vista científico se analiza sus características, comportamiento y circunstancias (Muñoz, 2011).

2.1.1. Paradigma

Ricoy (2006), como se cita en Ramos (2015), indica al paradigma positivista como un análisis cuantitativo, empírico-analítico, racionalista, sistemático gerencial y científico tecnológico que sustenta a la investigación que tenga como objetivo comprobar la hipótesis por medios estadísticos o determinar una variable por medio de una expresión numérica (p.10).

Esta metodología tiene un paradigma positivista, debido a que el objeto del presente trabajo es formular una Metodología de conservación de vías urbanas que establece actividades sistemáticas para la evaluación de la estructura vial por medio de índice de condición del pavimento, basado en la norma ASTM D 6433 y el análisis estructural con variable térmico por elementos finitos con la aplicación de herramienta EverFe, con el objeto de contar con una metodología aplicable a la realidad de ciudades de hasta 300.000 habitantes, para la conservación del pavimento de sus vías principales.

2.1.2. Enfoque

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, al utilizar procesos sistemáticos, empíricos, recopilación de información observable y cuantificable. Esta investigación

contempla el diagnóstico para la conservación vial de vías principales de primer orden tomada como referencia el Km 37 de la carretera E-25, para determinar en base al ICP y al Δt el daño de la estructura del pavimento, los resultados obtenidos del estudio permiten tener un diagnóstico claro del nivel de severidad de las losas de pavimento y su condición estructural para su rehabilitación criterios que ayudan a planificar a la administración las técnicas necesarias para la intervención y rehabilitación de la estructura.

2.2. Tipo de Investigación realizada

La presente investigación corresponde a una metodología de investigación (empírica) práctica, donde se realizan estudios exploratorios al tema investigado que ha sido poco estudiado y de acuerdo a la información bibliográfica consultada se encontraron guías poco investigadas, así como ideas vagamente relacionadas al objetivo del estudio como es generación de una metodología para la conservación de vías urbanas en ciudades de hasta 300.000 habitantes.

Estudio práctico, porque se analizan los datos obtenidos en la investigación para identificar la relación entre variables, en este estudio se ha observado, medido y calificado las características y aplicación de conceptos y métodos para la conservación de vías urbanas en un momento dado, y con ello proponer una metodología que permita una gestión eficiente de los recursos y la conservación eficiente de las estructuras, para quienes administran y operan la vialidad.

2.3. Población y Muestra

En la estadística la palabra población y muestra no siempre se refieren a una persona o una determinada población, sino más bien a las características de un conjunto de individuos u objetos con fines de estudio con similares características que se obtienen a partir de todos los individuos u objetos a las que se tienen el interés de medir, mientras que la muestra es una parte de ese conjunto de individuos u objetos que se desea medir (Lind et al., 2014).

2.3.1. Población

Para nuestro caso de estudio se define a la población como el total de losas de pavimento rígido en la longitud de las vías principales de primer orden en pavimento rígido de la jerarquización vial para la ciudad de Machala siendo esta, vía la E-25, Avda. 25 de junio desde El sector de El Cambio hasta el Bananero y la Avda. Ferroviaria, desde El Cambio hasta la Avda. Edgar Córdova.

2.3.2. Muestra

La se define a la muestra como una porción del universo de la población o un sub grupo de elementos de la población y plantea dos tipos para seccionar la muestra, el método probabilístico y el método no probabilístico, en este último se incluye la muestra tomada por conveniencia, que se toma en función de la actividad que se desea desarrollar demostrar en la investigación (Monje, 2011).

Para nuestro caso de estudio se ha determinado conveniente establecer el método no probabilístico por conveniencia para demostrar la hipótesis planteada en este trabajo, es necesario escoger un tramo de pavimento rígido donde se puedan evidenciar las fallas más severas relacionadas con el índice de condición de pavimento y el gradiente térmico, bajo este criterio luego de realizar un recorrido preliminar a todas las calles se ha logrado identificar 1km que va desde el km 37 al km 38, que representa el mayor tipo de fallas en la estructura de las losas de pavimento en la carretera E-25, además que las cargas vehiculares que transitan sobre ellas son las representativas para una considerara de primer orden.

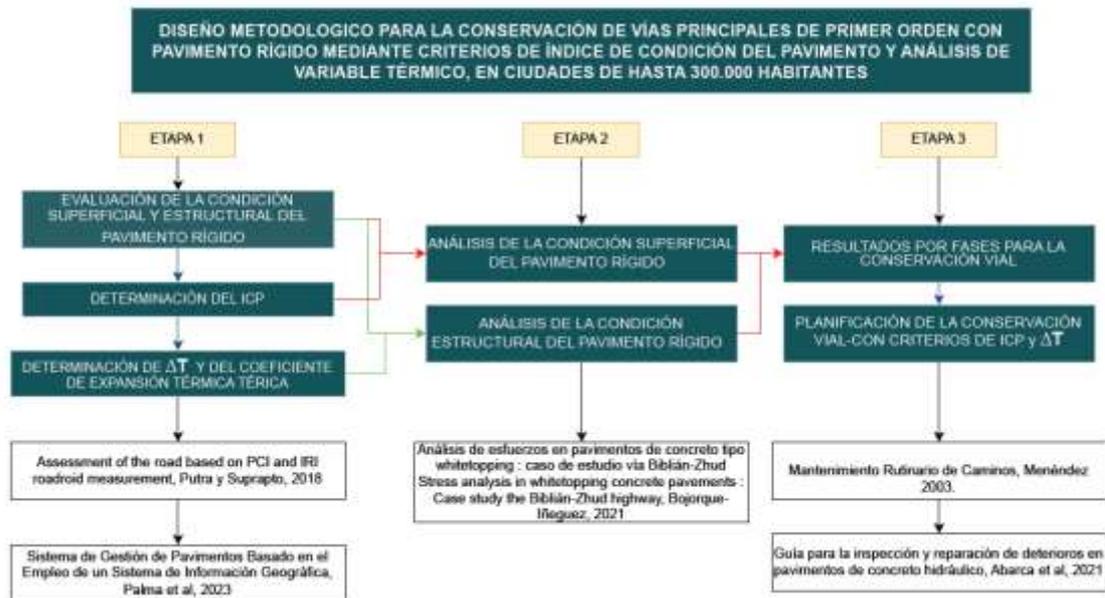
2.4. Diseño metodológico de la investigación

Para lograr dar respuesta al problema de la investigación y comprobar la hipótesis planteada, se debe abordar con el planteamiento de un diseño metodológico a seguir para resolver las dificultades que se presenten a lo largo de la investigación, en este diseño se especifica el tipo y método a emplear, las necesidades de implementar los controles

científicos para mejorar la interpretación de los resultados bajo un diseño básico experimental (Monje, 2011).

Figura 22

Diseño de la metodología de la investigación



Nota. Diseño elaborado por el Autor.

El diseño metodológico consta de tres etapas para su desarrollo y posterior aplicación al caso de estudio que es en el Km 37 de la vía principal E-25.

Etapa 1.- En esta etapa se desarrolla la evaluación de la condición superficial del pavimento aplicando la norma ASTM – D -6433 y la determinación de la variable térmica (ΔT) y el coeficiente de expansión térmica teórico del pavimento (α) obtenido a mediante análisis de deformación y relación de variables comparados de otras investigaciones.

Etapa 2.- En esta etapa se analiza la condición superficial del pavimento rígido y se determina el ICP para cada sección vial, se identifican las losas que tengan un nivel de severidad alto y se realiza un análisis de deformaciones mediante el empleo de elementos finitos con el programa EverFe y se determina la condición del pavimento si este puede ser rehabilitado o es necesaria su reconstrucción.

Etapa 3.- En esta etapa se determina la fase en que se encuentra la vía y se determina si mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción, en esta etapa también se determinas las alternativas de solución.

2.5. Métodos con los Materiales Utilizados

Para el levantamiento de la información necesaria para determinar el PCI del tramo de estudio se aplica dos métodos el visual y el uso de herramientas digitales, una de esas herramientas digitales es el empleo de la aplicación Roadroid, para este ensayo necesitamos un formulario de levantamiento de campo y esferos para anotar la información (Putra & Suprpto, 2018).

2.5.1. Instrumentos utilizados

Para el desarrollo del proceso y de los instrumentos utilizados se divide en dos partes.

Instrumentos utilizados para el ICP.

Para la determinación el ICP, se necesita de un vehículo, una dispositivo digital Samsung con cámara incorporada (celular), una libreta de apuntes, formularios de levantamiento de información de campo.

Instrumentos utilizados para el ΔT .

Para la determinación del variable térmico teórico, necesitamos de una PC, con memoria RAM de 8 Gbit, un procesador CORE I-5.

2.5.2. Técnicas de levantamiento de la información

2.5.2.1. Técnicas de levantamiento de la información ICP

Para el levantamiento de la información que ayude a determinar el ICP, se debe realizar los siguientes pasos:

- 1.- Debe descargarse la aplicación de Roadroid e instalarse en el Smartphone, después de la suscripción correspondiente.
- 2.-Una vez instalado el aplicativo, desde un vehículo se puede instalar el Smartphone en sentido que la visión de la cámara del Smartphone tenga el ángulo suficiente para levantar la información de campo.
- 3.-Se realiza el recorrido vial por cada carril con el vehículo a una velocidad no más de 30Km/h con luces de parqueo, esta velocidad lenta ayuda a observar y verificar las fallas existentes en el pavimento, una vez ubicada el tipo de falla se reporta con las coordenadas de ubicación, la información es llevada para ser tratada por gabinete y se clasifica según su nivel de severidad.
- 4.- Clasificados los tipos de fallas y determinados su ubicación geográfica, de realiza un recorrido en campo para aquellas fallas que tengan un nivel de severidad alto y se verifica su estado y conservación a estos paños se realiza un análisis estructural con elementos finitos para verificar su comportamiento.

Figura 23

Evaluación en campo de las fallas en el pavimento rígido.



Nota. Imagen del Km 37, elaborado por el Autor.

- 5.- Las fallas que son catalogadas como severas establecidas en una fase D, ameritan ser analizadas con el comportamiento estructural son ubicadas y clasificadas para el análisis.

2.5.2.2. Técnicas de levantamiento de la información ΔT

1.- Para la información de la variable térmica y coeficiente térmico de expansión teórica del hormigón, se obtiene los datos de temperatura media del aire que afecta a los pavimentos desde la página del INAMHI, para la ciudad de Machala.

Figura 24

Evaluación en campo de las fallas en el pavimento rígido.



Nota. Temperatura media del aire tomado desde el Instituto Nacional Meteorología e Hidrología del Ecuador INAMHI, 2024.

2.-Desde esta plataforma se puede obtener la variación de la temperatura que incide directamente en los pavimentos rígidos, y mediante correlaciones de las temperaturas en la losa de pavimento rígido medidas por Yu H.T. et al, 2004 (ver figura 13) y las medidas por A.Heath & J. Roesler, 1999, se logra obtener el coeficiente de expansión térmica (alfa) para las losas de pavimento rígido.

2.5.3. Técnicas del procesamiento de datos

El procesamiento de los datos se realiza en hojas electrónicas en una computadora adaptada con los programas mínimos, como son Google Earth, Paquete de Windows Excel, EverFe, Roadroid.

CAPITULO III .- RESULTADOS Y PROPUESTA METODOLÓGICA

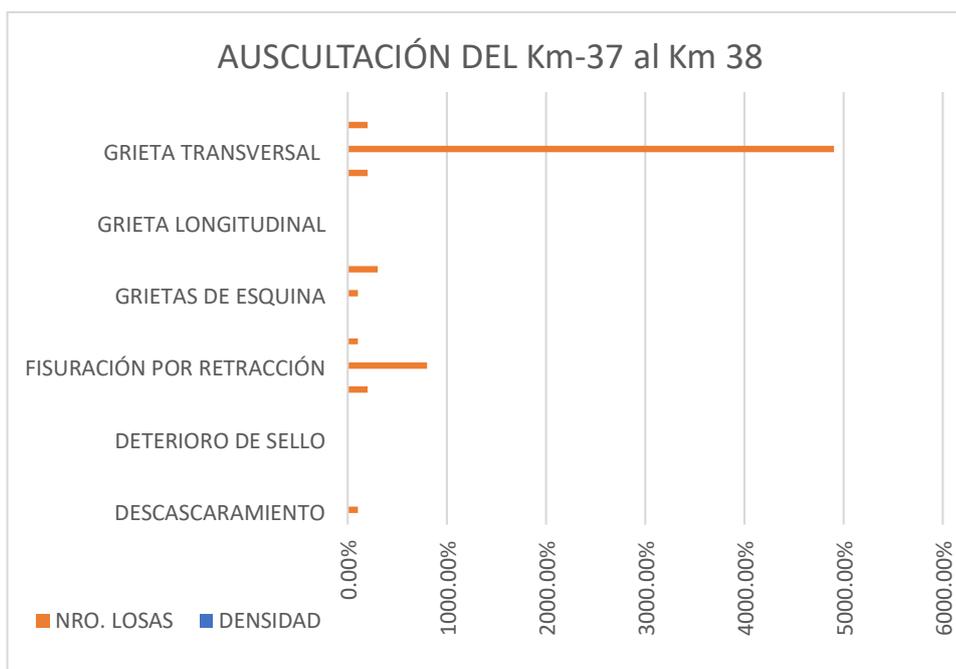
3.1. Resultados de la investigación

Los resultados obtenidos de la investigación se describen en los siguientes ítems, para cada tema estudiado que aborda cada temática propuesta con diseño metodológico de la investigación en cual se analizan dos variables independientes el porcentaje de fallas en la estructura (%f) y la variable térmica ΔT ambas medidas en el pavimento rígido del Km 37 al Km38, que aportan a descubrir las variables dependientes por una parte (%f) aportara a desarrollar el ICP mientras que ΔT aportara a desarrollar para encontrar un (α teórico) y con la ayuda de los elementos finitos las tensiones por deformación (ϵt), así con los valores del ICP y ϵt se logra establecer las fases para el desarrollo del mantenimiento y conservación vial.

3.2. Resultados etapa 1, Evaluación de la condición superficial y estructura del pavimento rígido en el Km 37 a Km38 de la vía principal E-25.

Figura 25

Evaluación en campo de las fallas en el pavimento rígido.



Nota. . Valores tomados en campo y elaborado por el Autor

Se levantaron 69 puntos de fallas, ver tabla cinco y figura 25, de los cuales, las fallas más predominantes fueron las grietas transversales con una densidad global en el kilómetro de carretera construidos de 2.94%, para un nivel de severidad alto que corresponde a 49 losas de hormigón afectadas, seguido de la fisuración por retracción en niveles de severidad alto con una densidad de 0.48% que corresponde a 8 losas de pavimento afectadas.

Tabla 5

Auscultación de fallas observadas en el pavimento rígido el tramo km37 al Km38 de una vía principal E-25 de la ciudad de Machala.

TIPO DE FALLA	CODIGO	SEVERIDAD	DENSIDAD	NRO. LOSAS
DESPOSTILLAMIENTO	D	A	0.06%	1
		M	0.00%	0
		B	0.00%	0
DETERIORO DE SELLO	DS	A	0.00%	0
		M	0.00%	0
		B	0.12%	2
FISURACIÓN POR RETRACCIÓN	F	A	0.48%	8
		M	0.06%	1
		B	0.00%	0
GRIETAS DE ESQUINA	GE	A	0.06%	1
		M	0.18%	3
		B	0.00%	0
GRIETA LONGITUDINAL	GL	A	0.00%	0
		M	0.00%	0
		B	0.12%	2
GRIETA TRANSVERSAL	GT	A	2.94%	49
		M	0.12%	2
		B	0.00%	0
Total				69

Nota. . Valores tomados en campo y elaborado por el Autor

3.2.1. Índice de Condición del Pavimento (ICP) Km37-Km38

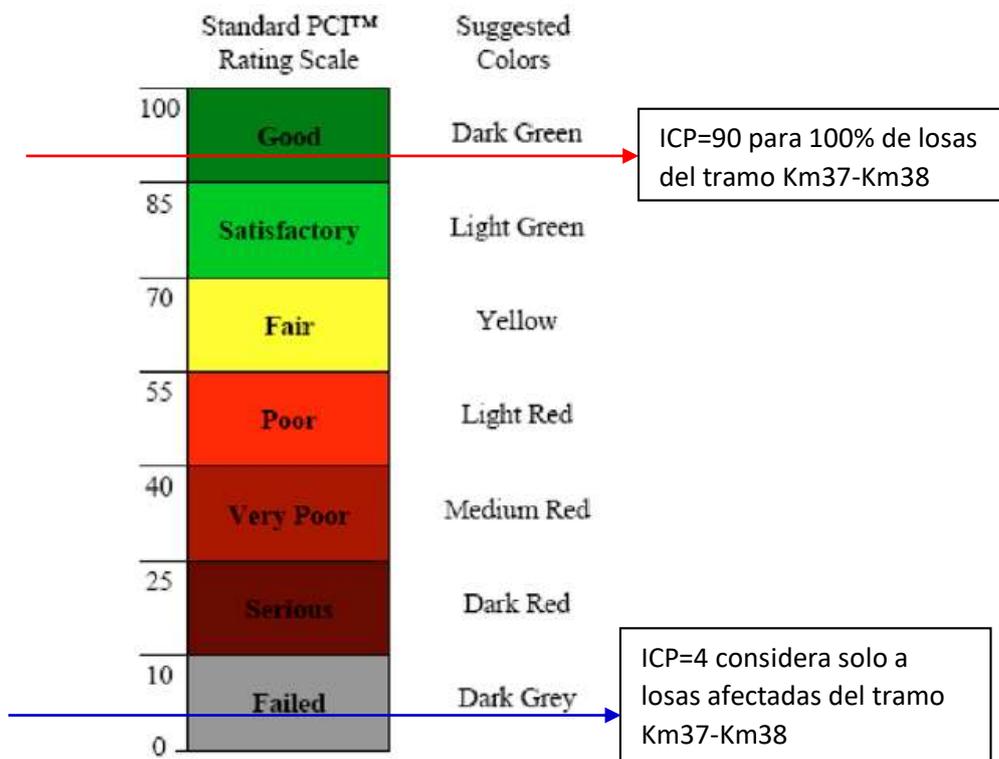
La aplicación de la norma ASMT-D-6433, para la determinación del ICP en vías de concreto, determinar los valores respecto a la densidad de áreas afectadas de losas con fallas respecto del área total de losas construidas, así, los resultados del ICP para el tramo

de carretera estudiado Km 37 al Km38, demuestran un valor del de ICP de 90%, con nivel de condición bueno.

Sin embargo, para establecer en qué nivel se encuentra solamente las losas evaluadas, respecto de su propia densidad, se determinó el ICP considerando el 100% del área afectada, llegando a un valor del ICP de 4% que determina un nivel de condición Fallido, estos dos valores se obtiene para efectuar una comparación de si es necesaria la intervención en las losas afectadas.

Figura 26

Comparación del ICP del tramo Km37 – Km38, para todo el tramo y para losas afectadas



Nota. . Grafica adaptada de la Norma ASTM-D-6433 (2007).

3.2.2. Variable térmico ΔT local y Coeficiente de expansión térmica α en Km37 al Km38.

La evaluación para la determinación de la variable térmica, se efectúa realizando un análisis comparativo de valor teórico obtenido por Heath y Roesler (1999), quienes

midieron en losas de pavimento rígido en Palmdale, EE.UU., y determinaron el coeficiente de expansión térmica, estableciendo este valor por 8.14×10^{-6} , para una variación de la temperatura de $25,62^{\circ}\text{C}$.

Para la ciudad de Machala, según reportes del INAMHI, la variación de la temperatura del aire está en $9,1^{\circ}\text{C}$, con estos valor teórico medidos por Heath y Roesler (1999) se correlaciona con la variación térmica que sufren los pavimentos en la ciudad de Machala y de determina el coeficiente de expansión térmica teórico para el tramo Km37-Km38 estudiado.

Tabla 6

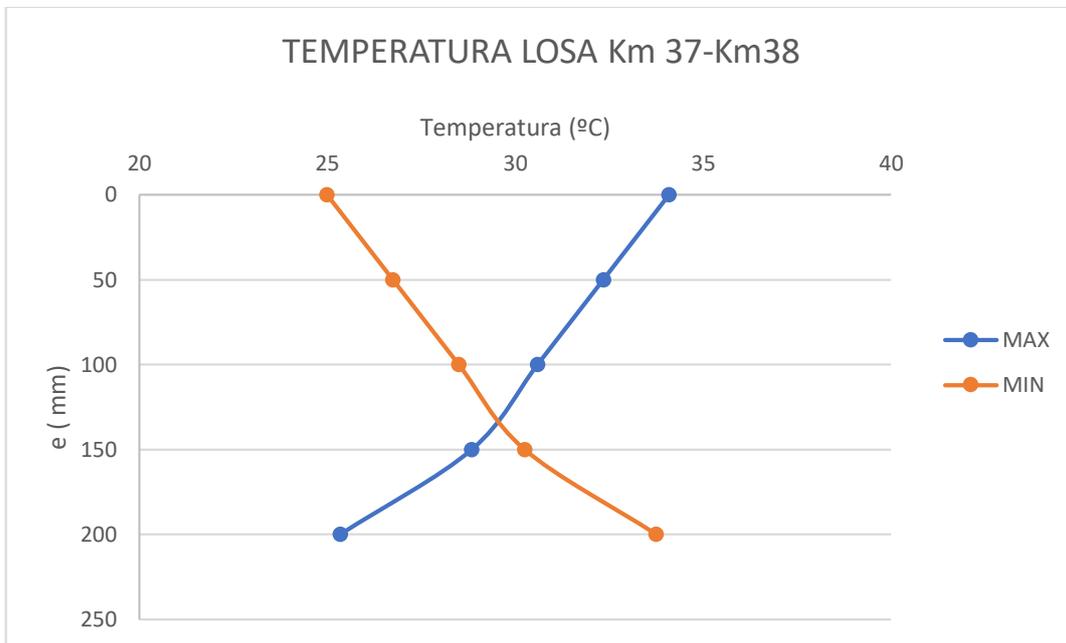
Valores de variación térmica en Palmdale y Machala.

PALMDALE				
	HORA	$^{\circ}\text{C}$		
TEMP MAX:	14h00	44.67		
TEMP MIN:	04h00	19.05		
$\Delta\text{T TEORICO:}$	8	25.62		
α TEORICO:	8.14E-06			
LOSA (mm)	MAX	MIN	ΔT	%
0	44.67	19.05	25.62	100%
50	35.86	23.06	12.8	50%
100	32.81	25.01	7.8	30%
150	28.08	27.41	0.67	3%
200	26.35	28.76	-2.41	-9%
	18.32	9.71		
MACHALA				
	HORA	$^{\circ}\text{C}$		
TEMP MAX:	14h00	34.1		
TEMP MIN:	04h00	25		
$\Delta\text{T:}$	8	9.1		
α TEORICO:	8.14E-06			
LOSA (mm)	MAX	MIN		
0	34.1	25	9.10	100%
50	32.35	26.75	4.55	50%
100	30.60	28.5	2.77	30%
150	28.85	30.25	0.24	3%
200	25.35	33.75	-0.86	-9%

Nota. . Valores Adaptado de Shrinkage and Thermal Craking of Fast Setting Hydraulic Cement Concrete Pavements in Palmdale, A.Heath & J. Roesler, 1999., y del portal del INAMHI, 2024.

Figura 27

Variación teórica de la temperatura en las losas de hormigón del Km37-Km38



Nota. . Valores Adaptado de Shrinkage and Thermal Craking of Fast Setting Hydraulic Cement Concrete Pavements in Palmdale, A.Heath & J. Roesler, 1999., y del portal del INAMHI, 2024.

3.3. Resultados etapa 2, Análisis de la condición superficial y estructura del pavimento rígido en el Km 37 a Km38 de la vía principal E-2

3.3.1. Análisis de la Condición Superficial del Pavimento del Km37 al Km38.

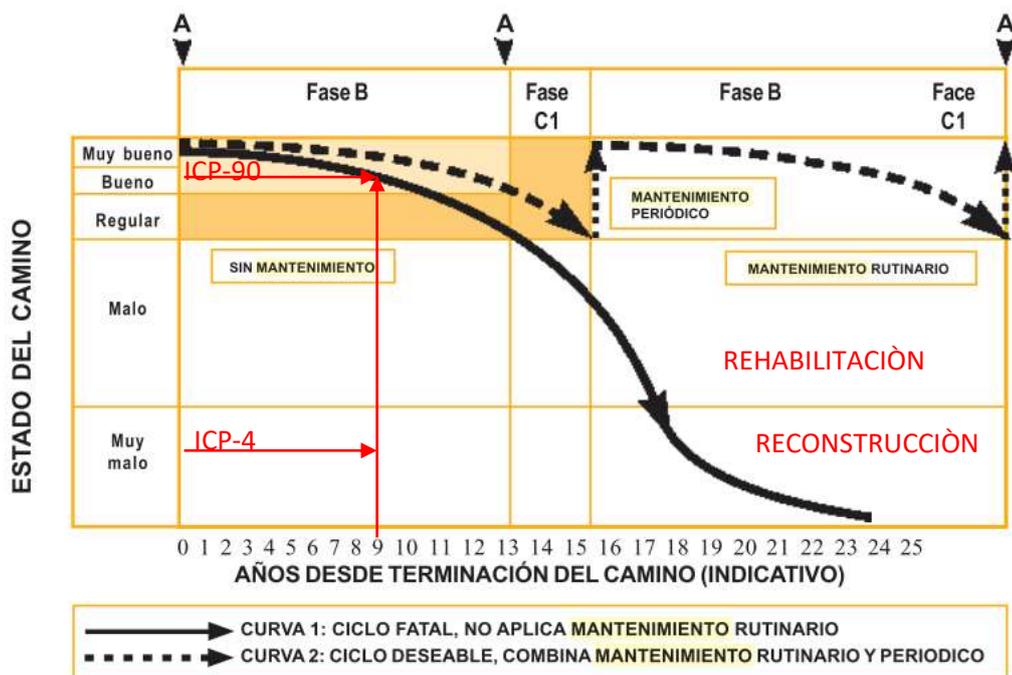
Según datos del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, el tramo de carretera Km-37 al Km 38, pertenece a la obra “Ampliación a seis carriles con hormigón armado de la vía E-25 tramo Y de El Cambio Y de Corralitos y a 4 Carriles Y de Corralitos Santa Rosa de 17,3 Km.”, que en el mes de febrero del 2015, (Dávila, 2017), culminaron los trabajos

objeto del contrato, es decir hasta la fecha de evaluación del ICP este lleva 9 años de operación.

Con un ICP de 90%, demuestra que, a nivel global el tramo de carretera Km-37 al Km 38 estaría en un rango de fase B, ver figura 26, donde es necesaria su intervención para el mantenimiento de la estructura.

Figura 28

Evaluación de fase de operación y mantenimiento en la curva de vida útil del tramo de Km-37 al Km-38 de la vía principal de primer orden E-25.



Nota. Adaptado del libro de Mantenimiento Rutinario de Caminos con Microempresas, elaborado por José Menéndez, 2003, Organización Mundial del Trabajo 2003, Primera Eddison.

Sin embargo para las losas afectadas el ICP es de 4, con este valor a través de un diagrama de red se puede establecer las zonas de afectación posible por efectos del tránsito sobre las losas de hormigón, que deben ser analizadas para efectos del comportamiento estructural y predecir posibles afectaciones y presencia de fallas estructurales en el pavimento.

Figura 29

Diagrama de red de afectaciones para ICP-4 para el tramo km37-Km38.



Nota. Tomado de Google Earth, elaborado por el autor.

Tabla 7

Auscultación de fallas observadas para ICP-4 en el pavimento rígido el tramo km37 al Km38 de una vía principal E-25 de la ciudad de Machala, para las losas afectadas.

TIPO DE FALLA	CODIGO	SEVERIDAD	DENSIDAD	NRO. LOSAS
DESCASCARAMIENTO	D	A	1.45%	1
		M	0.00%	0
		B	0.00%	0
DETERIORO DE SELLO	DS	A	0.00%	0
		M	0.00%	0
		B	2.90%	2
FISURACIÓN POR RETRACCIÓN	F	A	11.60%	8
		M	1.45%	1
		B	0.00%	0
GRIETAS DE ESQUINA	GE	A	1.45%	1
		M	4.35%	3
		B	0.00%	0
GRIETA LONGITUDINAL	GL	A	0.00%	0
		M	0.00%	0
		B	2.90%	2
GRIETA TRANSVERSAL	GT	A	71.05%	49
		M	2.90%	2
		B	0.00%	0
Total				69

Nota. . Valores tomados en campo y elaborado por el Autor

La zona más afectada del tramo estudiado es el margen derecho carril externo, con el 71.05% de todas las losas afectadas, con presencia de fallas de grietas transversales de severidad alta, seguidas de figuración por retracción con el 11.60% de severidad alta, en tercer posición las grietas de esquina con el 4.35% de severidad medida siendo las fallas más representativas, ver tabla 7.

3.3.2. Análisis de la Condición de la estructura del pavimento rígido el Km37 al Km38.

Para analizar la estructura del pavimento se aplicó en programa informático EverFe, que es un programa de elementos finitos para análisis de elementos de hormigón, desarrollado por Phil Davids, Ph.D, (1998), catedrático de la Universidad de MAINE, (Davids, 2020)

El programa EverFe, consta de seis secciones para ingreso de datos, Geometría, Materiales, Carga, Dowel, intermodelación y malla.

El programa de análisis EverFe, tiene un modelo de ingreso de datos de información que pueden analizar hasta losas continuas, y tres capas de materiales, incluido la losa, en la sección que corresponde a geometría, para el caso de los materiales, se debe considerar las características de los materiales de las losas del hormigón y base o sub base según sea el análisis.

En la pestaña de cargas, se puede incorporar las diferentes combinaciones de cargas de los ejes de camiones, desde cargas simple, carga doble, carga dual, eje simple tándem, eje doble tándem, y multi eje, también en esta sección se puede incorporar la gradiente temperatura en la losa.

EN la sección dowells, puede incorporarse las diferentes características de los materiales con los que se construyen los dowells, e ingresar su distribución geométrica.

En la sección de intermodelado, se determina el modelo si es lineal o No lineal.

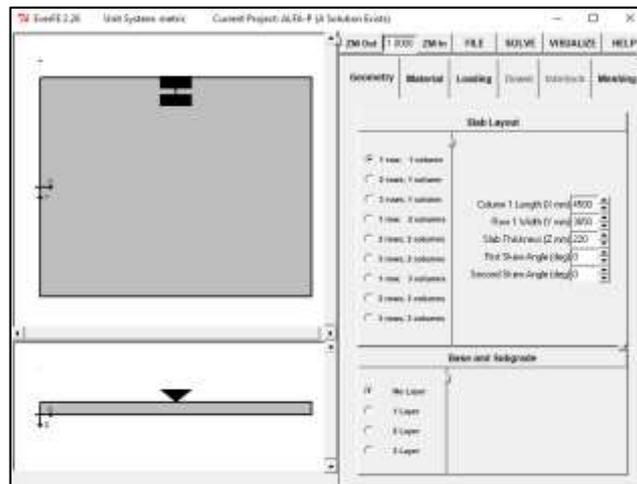
Finalmente, en la sección de mallas se determina el mallado para el análisis de los esfuerzos según se desea analizar.

Para este caso de análisis se toma a consideración una sola losa con el grado de deterioro más frecuente y con un nivel de severidad alto, para un camión tipo semirremolque, de 24 Ton por eje de tres llantas, para el ingreso de los datos se realiza los siguientes pasos.

1.-Ingreso de la geometría de la losa, para nuestro caso tomamos a las características de una losa sin afectaciones con las fallas pero que estén dentro de la red de afectaciones del ICP-4, figura 29, con el fin de verificar el comportamiento de las losas continuas que no presenten fisuras en el pavimento, de medidas $L=4500$ mm y ancho $A=3650$ mm, espesor igual a 250mm.

Figura 30

Ingreso de los parámetros de geometría del pavimento en EverFe.



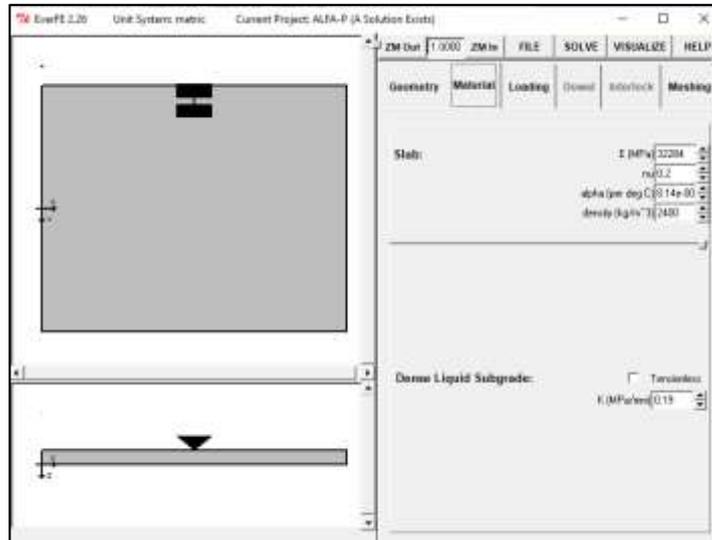
Nota. . Valores ingresado por el Autor en el programa EverFe.

2.-Luego se ingresan las características de los materiales considerado el módulo de elasticidad del hormigón con el que fueron construidas las losas, que deben cumplir las especificaciones técnicas el MTOP para construcción de pavimentos que tengan un módulo de rotura a la flexión en vigas mínimo de 3.5 Mr. (MTOP, 2002), lo que corresponde a una resistencia media del hormigón de 380 Kg/cm^2 siendo el módulo de

elasticidad de 32284 Mpa, promedio y una relación de poisson de 0.2 (Llanos et al., 2023), junto con el coeficiente de variación térmica teorico.

Figura 31

Ingreso de las características del hormigón.

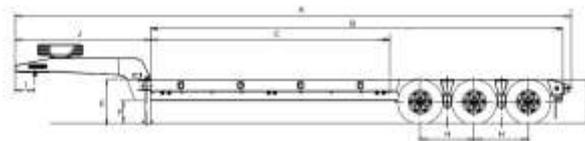


Nota. . Valores ingresado por el Autor en el programa EverFe.

3.-Se ingresa los datos de las cargas vehiculares, considerando a camión tipo 2S3 (MTOP, 2009), con un peso máximo de 24 Ton por eje, es decir 117 kN por llantas, tipo semirremolque de las siguientes características:

Figura 32

Características del camión 2S3 tipo remolque.

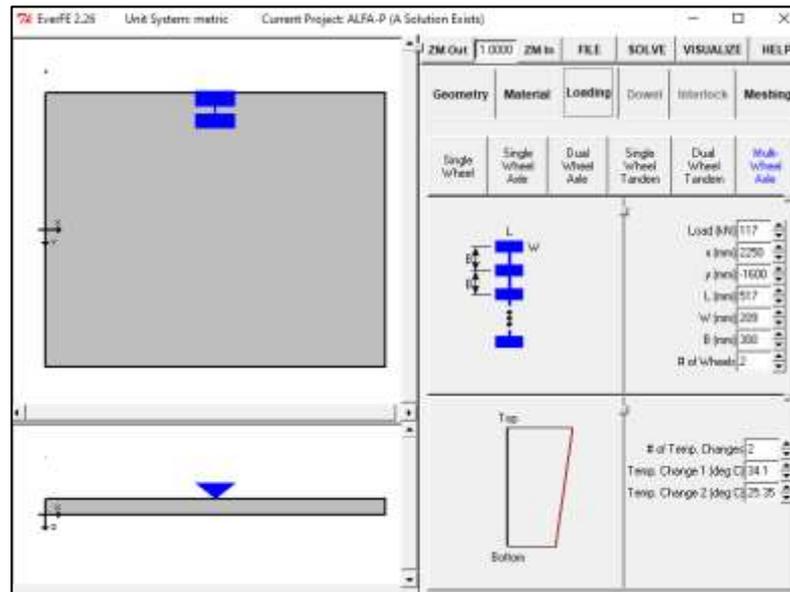


CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES		UNIDAD
		2 Ejes 30 ton. Plano	3 Ejes 50 ton. Plano	
A	Largo total (Sin rampas)	13600	14000	mm
B	Largo total de la plataforma	9750	10400	mm
C	Largo útil de la plataforma		6000	mm
D	Ancho total	3000	3000	mm
E	Altura de la plataforma de carga	130	130	mm
F	Vano libre	500	500	mm
G	Altura de la plataforma trasera	130	130	mm
H	Distancia entre ejes		1350	mm
I	Distancia de la frontal al peno rey		50	mm
J	Largo del chasis	3400	3400	mm
K	Peso estimado del equipo	950	1050	tn
L	Capacidad de carga técnica	35000	50000	kg
M	Arroz	8.25 x 22.5"	8.25 x 22.5"	puñ

Nota. . Valores del camión tipo remolque, obtenidos de la ficha técnica, RANDON, low Boy, modelo plano, semi-remolque.

Figura 33

Ingreso de las características del hormigón.



Nota. . Valores ingresado por el Autor en el programa EverFe.

4.-Se ingresa los datos de los gradientes térmicos de la losa, obtenidos de la figura 27.

3.3.2.1. Resultados de la Condición de la estructura del pavimento rígido el Km37 al Km38, acorde al grado ICP de falla (ICP-4).

Analizando la estructura del pavimento por medio de elementos finitos, se determina se evalúa la condición del pavimento que está cerca de las fallas GT y a los paños con las fallas GT, que son las más frecuentes y de mayor severidad en el tramo de carretera Km37 al Km38, del tramo estudiado, se analiza el modelo de falla para determinar la condición crítica en que se encuentra y si es posible una remediación o una demolición completa el pavimento.

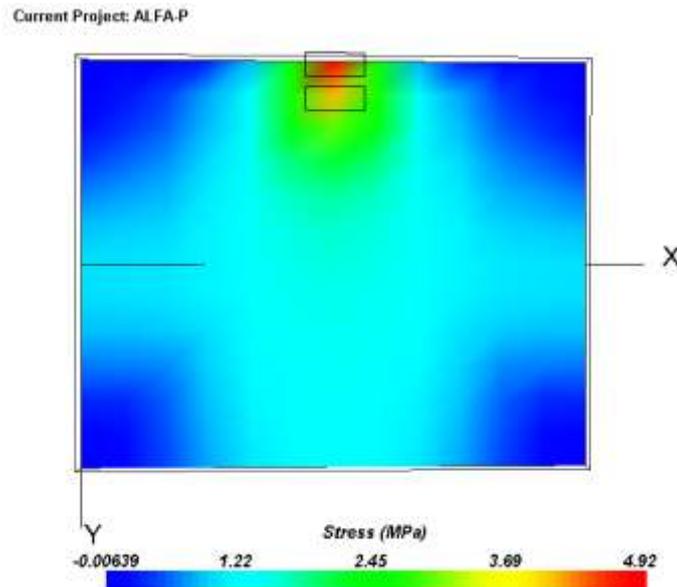
Se analizan tres aspectos:

1.-Cuando el paño no ha fallado pero inicia la fisuras en el pavimento al superar las deformación de diseño ($M_r = 4.5 \text{ Mpa}$), el paso de vehículos 2S3, en el borde del paño del pavimento ($4.50\text{m} \times 3.65\text{m}$) el esfuerzo es superado por 0.42 Mpa , el constante pasar

de vehículos de este tipo y el cambio de temperatura acelera la deformación y se empiezan a generar las primeras grietas en el pavimento que nacen desde el borde.

Figura 34

Diagrama de esfuerzos de un paño de losa con ICP-90

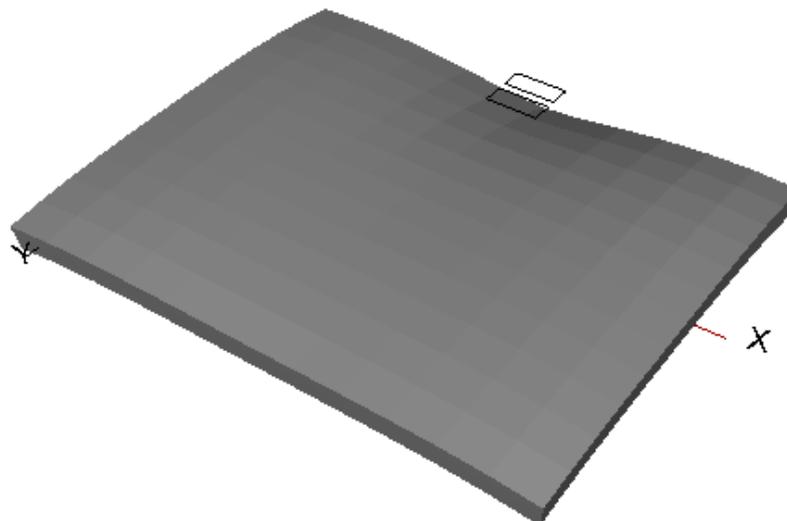


Nota. . Valores ingresado por el Autor en el programa EverFe.

Figura 35

Diagrama de desplazamientos de un paño de losa con ICP-90

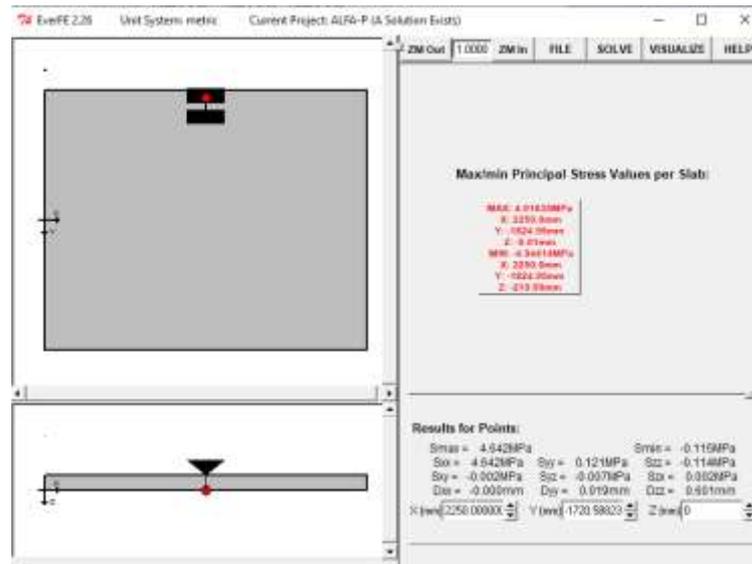
Current Project: ALFA-P



Nota. . Valores ingresado por el Autor en el programa EverFe.

Figura 36

Ubicación del máximo esfuerzo en el paño de losa con ICP-90



Nota. . Nótese que el mayor esfuerzo ocurre en la base del paño de hormigón, valores ingresado por el Autor en el programa EverFe.

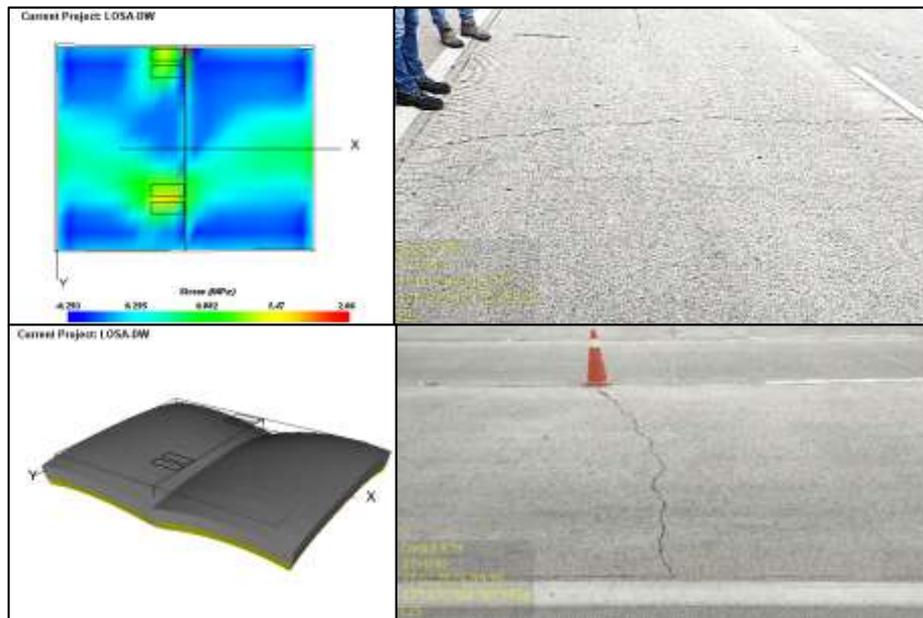
2.- Debido a la gradiente térmica y el paso de vehículos 2S3, empiezan a manifestarse las fallas GT en las losas por efectos del alabeo diurno y nocturno., y, cuando el paño ya ha fallado inicia una especie de movimiento entre las partes de losas divididas por la fisura, producto del paso de vehículos pesados 2S3, la fisuras en el pavimento reduce la deformación en losa y el esfuerzo se traslada hacia la base de cimentación ya no solo es dañino una sola llanta del vehículo sino el eje completo,

3.-Los esfuerzos de la losa que se trasladan a la base, generar una deformación longitudinal que es transversal al sentido del camino, y por la condición del paño fisurado, agentes externos como del agua y el viento se introducen hasta llegar a la base., y, debido a los esfuerzos continuos del paso de vehículos pesados 2S3, provocan el desprendimiento del material fino en la base, reduciendo su capacidad de soporte de la losa provocando espacios vacíos que se van acumulando lentamente hasta provocar el escalonamiento agresivo en la losa, cuando ya se manifiesta este escalonamiento la losa ha fallado y debe reconstruirse, debido a que el escalonamiento también empieza a

generar la aparición de nuevas fisuras en otros sentido generando fallas en forma de mapeos.

Figura 37

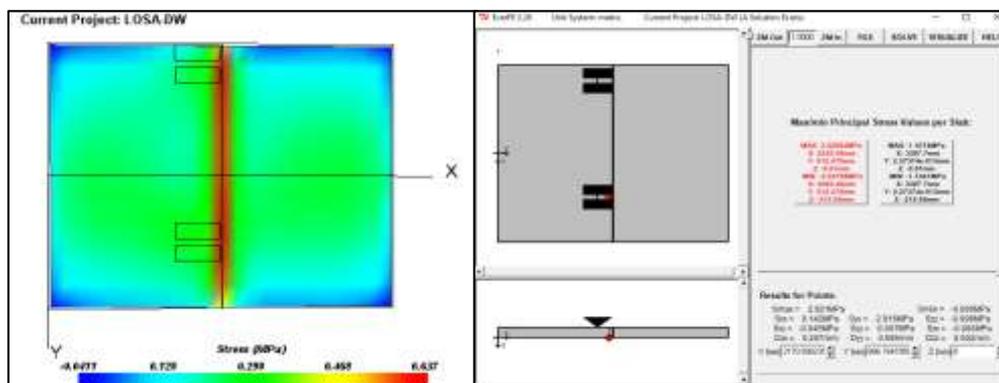
Manifestación de la falla GT en etapa inicial en un paño de losa con ICP-4



Nota. . Se manifiesta una falla de grieta transversal en su etapa inicial, valores ingresado por el Autor en el programa EverFe.

Figura 38

Manifestación de esfuerzos en la base del paño de losa con ICP-4

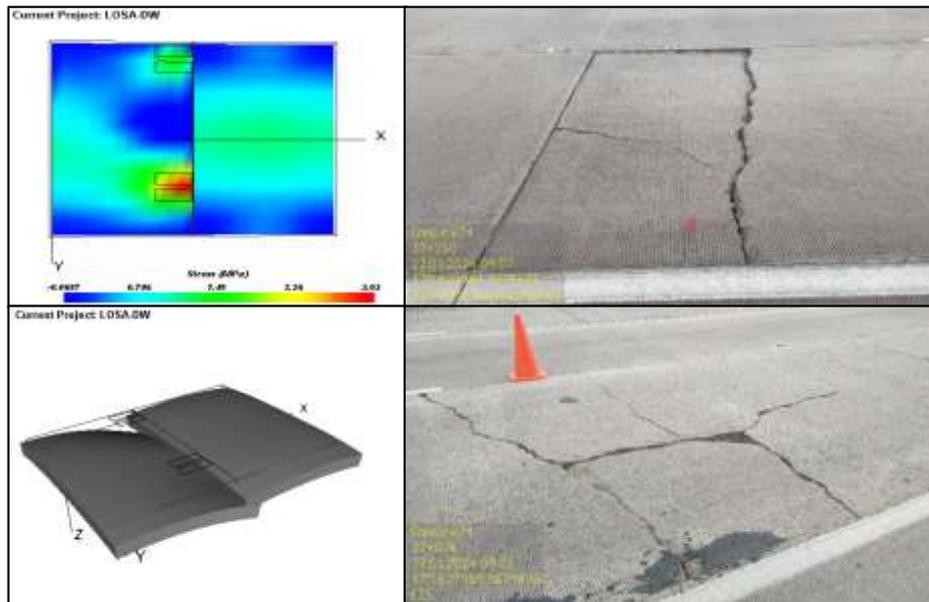


Nota.
Se

manifiesta una deformación transversal al paño en la base de cimentación, valores ingresado por el Autor en el programa EverFe.

Figura 39

Manifestación de la falla GT en etapa final en un paño de losa con ICP-4



Nota. . Se manifiesta una falla de grieta transversal en su etapa final empieza a manifestarse grietas en otros sentidos, hasta provocar el fallo total de la losa, valores ingresado por el Autor en el programa EverFe.

3.4. Resultados etapa 3, Resultados por fases para la conservación vial en el Km37 al Km38.

Para determinar las fases en que se encuentra el pavimento rígido, se establecen las zonas con ICP igual a 4, junto con el diagrama de red y el análisis estructural del pavimento para las losas que necesitan ser rehabilitadas con un programa de reconstrucción y las zonas con ICP 90 para un programa de mantenimiento rutinario.

La franja azul en la figura 40 delimita las zonas que cuentan con un ICP-4 mientras que la que se encuentran por fuera de ella delimitan un ICP- 90, que según la clasificación para condición del pavimento es fallido para ICP-4 y Bueno para ICP-90,

Figura 40

Fases para el mantenimiento en ICP-4 e ICP-90



Nota. Elaborado por el Autor.

3.5. Resultados etapa 3, Planificación para la Conservación vial en el Km37 al Km38.

La planificación para la conservación vial, se puede efectuar a partir de identificar los tipos de fallas existentes en el pavimento, para con certeza establecer las actividades de remediación a ejecutar (Abarca et al., 2021), y, con estos elaborar la planificación de los programas de mantenimiento.

Par el caso del km37 al Km38, el tramo se divide en dos programas:

- 1.- Programa de mantenimiento vial
- 2.- Programa de reconstrucción de losas de pavimento.

Tabla 8

Actividades de mantenimiento vial para el programa de reconstrucción, para las zonas de ICP-4 en el pavimento rígido el tramo km37 al Km38 de una vía principal E-25 de la ciudad de Machala.

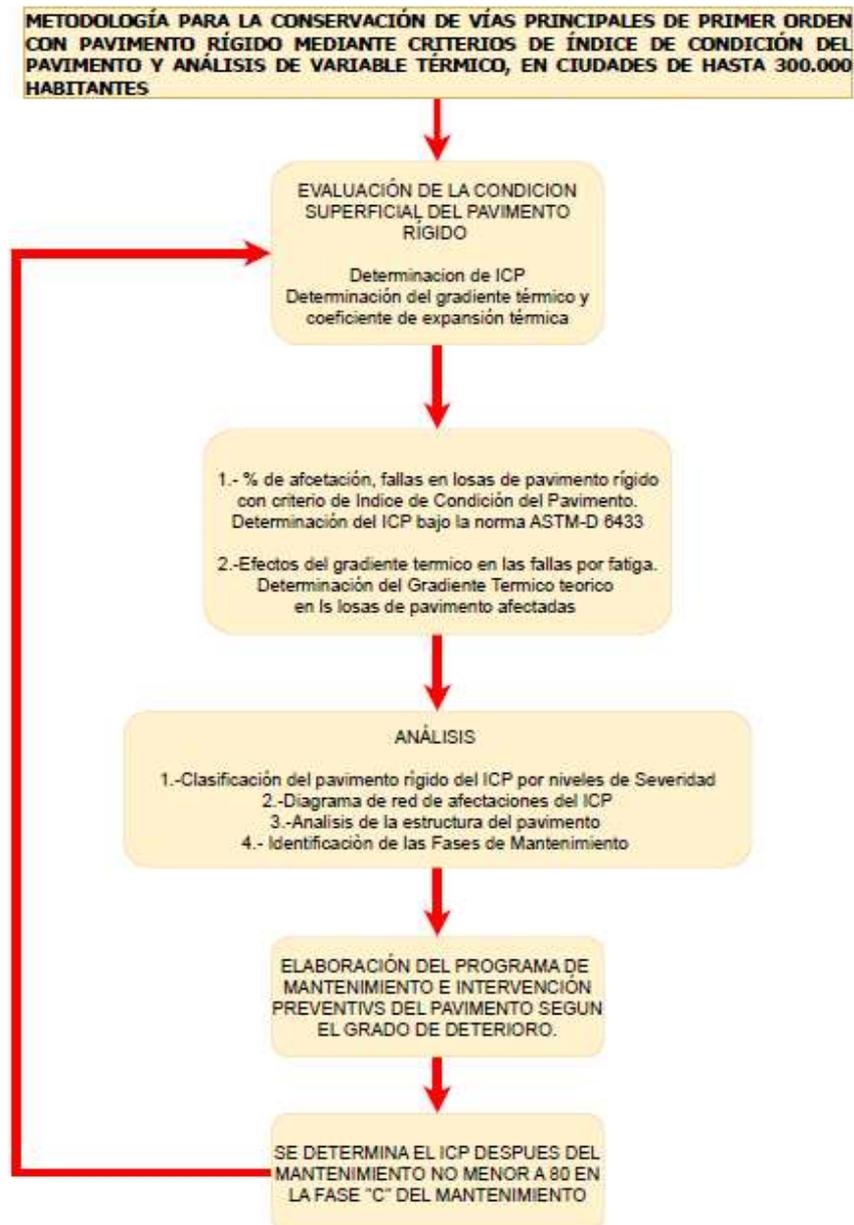
FALLA	CODIGO	SEVERIDAD	AREA AFECTADA	MANTENIMIENTO	ACTIVIDAD
DESCASCARAMIENTO	D	A	16.43	RECONSTRUCCIÓN	Demolición de losa, compactado y adcentamiento de la base, fundición de nuevo paño de hormigón con refuerzo lateral de 14mm c/d 10cm.
DETERIORO DE SELLO	DS	B	32.85	RECONSTRUCCIÓN	Sellado de junta
		A	131.40	RECONSTRUCCIÓN	Demolición de losa, compactado y adcentamiento de la base, fundición de nuevo paño de hormigón con refuerzo lateral de 14mm c/d 10cm.
FISURACIÓN POR RETRACCIÓN	F	M	16.43	RECONSTRUCCIÓN	Demolición de losa afectada no mayor a L/2, compactado y adcentamiento de la base, fundición de nuevo paño de hormigón con refuerzo lateral de 14mm c/d 10cm.
		A	16.43	RECONSTRUCCIÓN	Demolición de losa afectada no mayor a L/2, compactado y adcentamiento de la base, fundición de nuevo paño de hormigón con refuerzo lateral de 14mm c/d 10cm.
GRIETAS DE ESQUINA	GE	M	49.28	RECONSTRUCCIÓN	Sellado de junta
		B	32.85	RECONSTRUCCIÓN	Demolición de losa, compactado y adcentamiento de la base, fundición de nuevo paño de hormigón con refuerzo lateral de 14mm c/d 10cm.
GRIETA LONGITUDINAL	GL	B	32.85	RECONSTRUCCIÓN	Sellado de junta
		A	804.82	RECONSTRUCCIÓN	Demolición de losa, compactado y adcentamiento de la base, fundición de nuevo paño de hormigón con refuerzo lateral de 14mm c/d 10cm.
GRIETA TRANSVERSAL	GT	M	32.85	RECONSTRUCCIÓN	Demolición de losa, compactado y adcentamiento de la base, fundición de nuevo paño de hormigón con refuerzo lateral de 14mm c/d 10cm.

Nota. . Elaborado por el Autor, las actividades para el mantenimiento son extraídas del Manual Técnico de Mantenimiento Rutinario de Caminos con Microempresas, de la oficina de la Organización Mundial del Trabajo, Elaborado por José Menéndez, 2003 y de la guía para Inspección y reparación de deterioro en pavimentos de concreto hidraulico

3.6. Propuesta Metodológica para la conservación de vías principales de primer orden con pavimento rígido mediante criterios de índice de condición del pavimento y análisis de variable térmico, en ciudades de hasta 300.000 habitantes.

Figura 41

Propuesta Metodológica para la conservación vial con criterios de ICP y gradiente térmico.



Nota. Elaborado por el Autor.

CAPITULO 4 DISCUSION DE RESULTADOS

4.1. Discusión de los resultados obtenidos

La parte fundamental del mantenimiento vial, es establecer las condiciones actuales en que se encuentra la vía en estudio, para lograr determinar qué actividades deben implementarse para su conservación vial,

Tabla 9

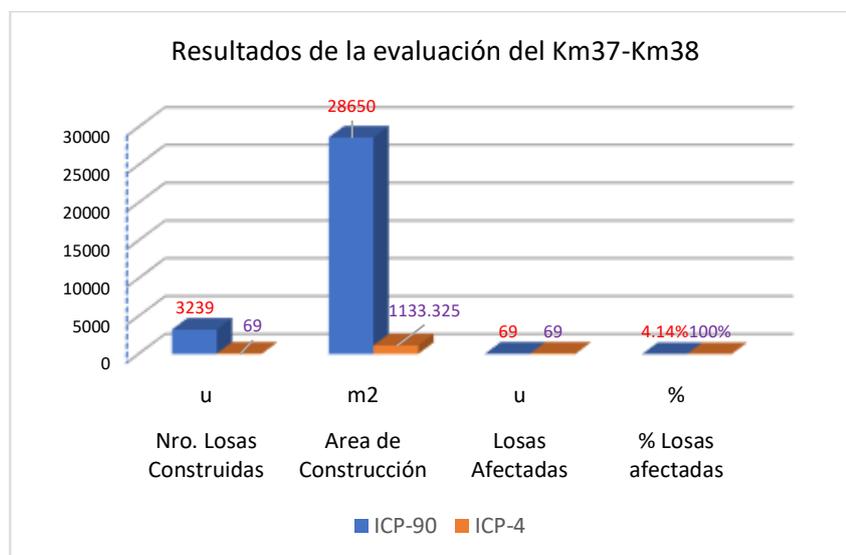
Evaluación del tramo Km37 – Km38 de la vía de primer orden E-25 de ingreso a Machala.

Km37-Km38	UNIDAD	ICP-90	ICP-4
Nro. Losas Construidas	u	3239	69
Área de Construcción	m2	28650	1133.325
Losas Afectadas	u	69	69
% Losas afectadas	%	4.14%	100%

Nota. Elaborado por el Autor.

Figura 42

Propuesta Metodológica para la conservación vial con criterios de ICP y gradiente térmico.



Nota. Elaborado por el Autor.

El índice de condición del pavimento ICP, es un indicador que proporciona al ingeniero vial, una medida de la condición y nivel de severidad en la que se encuentran el pavimento rígido, evaluado, el nivel de deterioro es racional al área de construcción evaluada y considerando la densidad afectada bajo una metodología de inspección visual de fallas en el pavimento asigna un valor de ICP.

Para el caso del estudio del Km37 al Km38 al considerar el total de losas construidas respecto de las losas afectadas, estas última solo representan un 3.95% del área total construida, siendo el ICP de 90 considerando a toda el área de construcción con un nivel de severidad bueno, a lo que correspondería con el criterio del ICP-90, a un mantenimiento rutinario y preventivo de los paños de hormigón, sin embargo el nivel de afectación de ese 3.95% de losas, corresponden a 69 paños, de ellos los que tienen un nivel de severidad alto son 59 paños de los cuales 49 corresponden a falla GT, seis paños son de severidad media con fallas que corresponden al tipo de fallas, F, GE, GT, y cuatro fallas de severidad baja del tipo DS y GL, una considerable situación que no toma en cuenta el ICP-90.

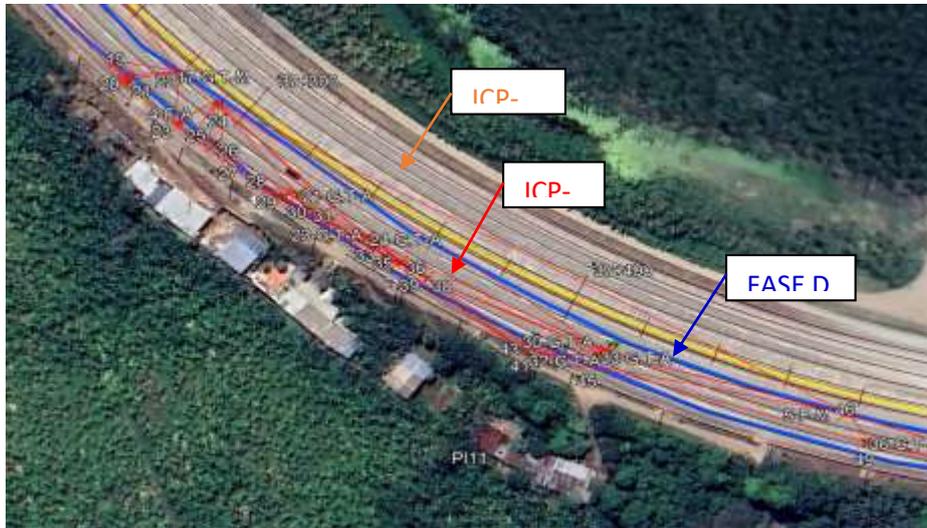
Esa es la razón principal de evaluar el ICP solo de las fallas levantadas, es decir de las 69 losas con fallas en el pavimento, obteniendo un ICP de 4, lo que corresponde a un nivel de severidad fallido, según la asignación del ICP de la norma ASTM-D-6433 y la curva de vida del pavimento en la figura 28, es decir en el mismo tramo se tiene dos tipos de ICP, el valor de ICP-90 para las losas no comprometidas con fallas y un valor de ICP-4 para las losas comprometidas con fallas.

Esta diferencia de ICP, da la pauta para elaborar un diagrama de red y zonificar por fases y niveles de mantenimiento al pavimento rígido, sin embargo las losas afectadas con un ICP-4, tienen ya una grave falla, de entre las fallas que más afectan a las losas del pavimento rígido se encuentran las grietas transversales GT, seguidas de las fallas F y GE, es decir al mayor parte de las fallas corresponde a fallas estructurales del pavimento.

Estas fallas estructurales necesitan ser evaluadas para establecer con criterio estructural si es necesario la demolición de la losa en su conjunto o se puede remediar con cualquier alternativa de rehabilitación, para eso se utilizan el programa de elementos finitos EverFe.

Figura 43

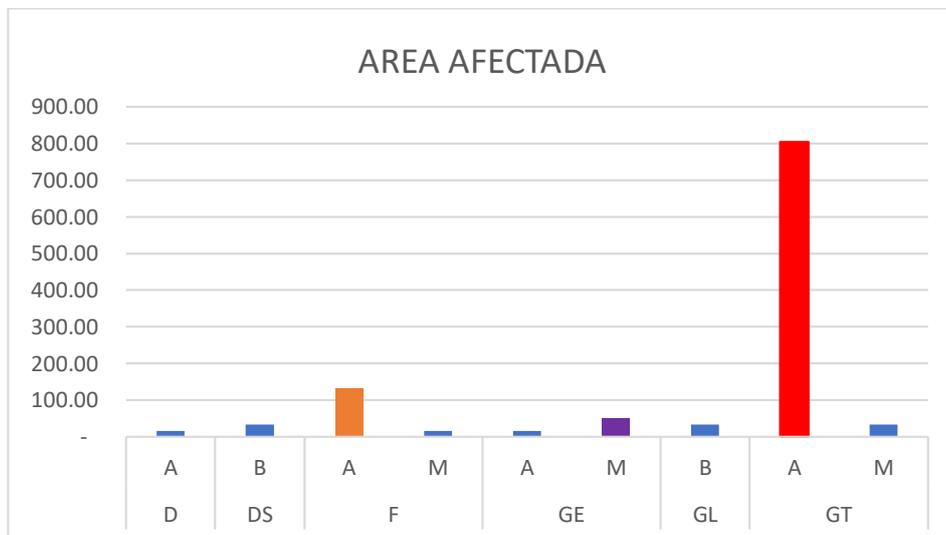
Zonificación de Diagrama en Red del ICP-4 y Zonificación de las Fases de mantenimiento y conservación vial.



Nota. Elaborado por el Autor.

Figura 44

Zonificación de Diagrama en Red del ICP-4 y Zonificación de las Fases de mantenimiento y conservación vial.

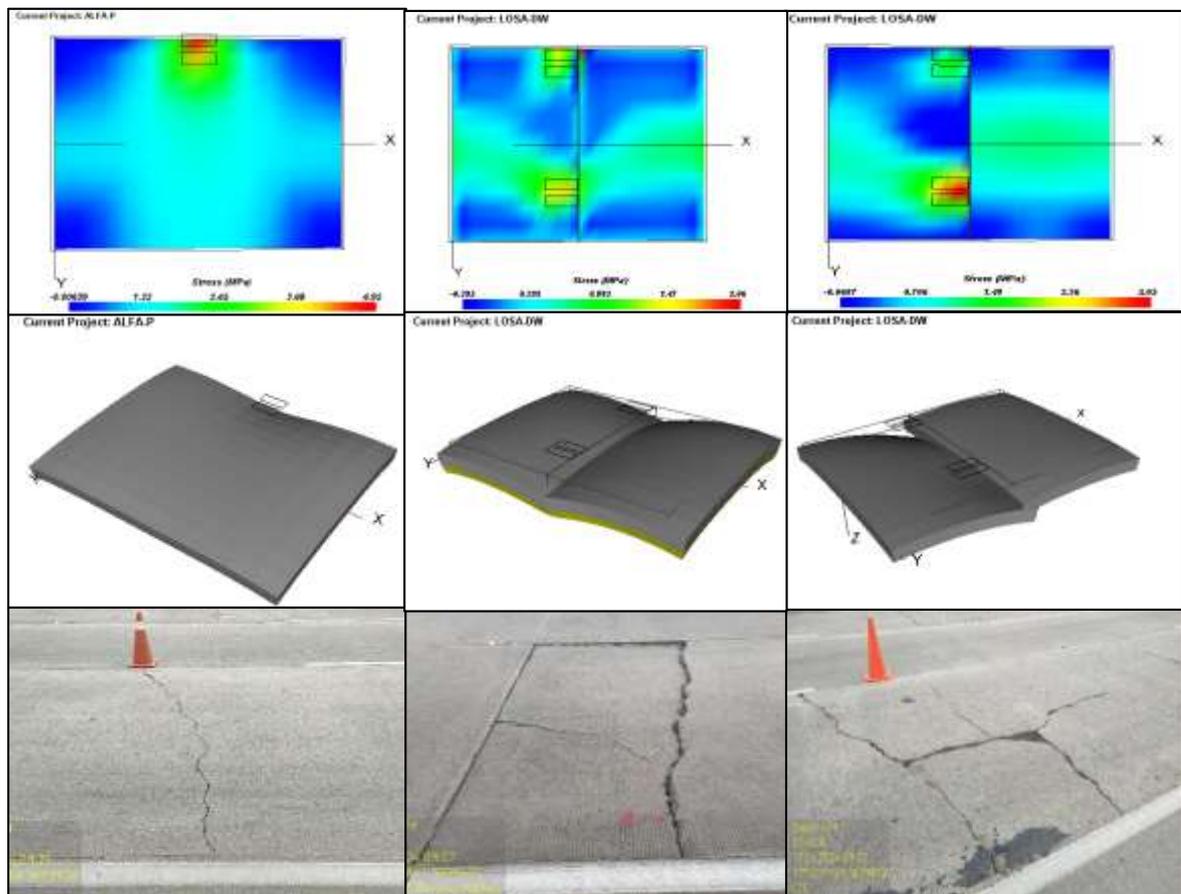


Nota. Elaborado por el Autor.

La evaluación estructural, demuestra que la las fallas de grietas transversales se producen por el paso de las llantas de un vehículo pesado tipo 2S3 del MTOP, por el borde de la losa, el excesivo paso y repeticiones de los ejes del vehículo ocasionan que las losas de hormigón sean expuestas a esfuerzos de tracción por compresión diametral hasta fatigar a las losas y estas empiecen a presentar grietas transversales con el paso del tiempo estas falla crecen se vuelven más vulnerables al paso de vehículos pesados y provocar el escalonamiento entre losas, luego de que empieza el escalonamiento las fisuras empiezan a repartirse por toda la losa generando las fisuras por retracción.

Figura 45

Modelo de falla de GT por elementos finitos



Nota. Elaborado por el Autor.

Con el modelo de falla, se determina las losas que llegaron a la falla máxima y deben ser demolidas y reemplazadas.

4.2. Plan de monitoreo y evaluación de la propuesta

La metodología propuesta ha sido probada en el tramo de carretera km37-km38, donde se logró comprobar las características y eficacia que brinda el ICP en las losas del pavimento, con este método propuesto se puede determinar con claridad que losas deben ser intervenidas y evaluadas estructuralmente y definir el tipo de intervención para su conservación, rehabilitación o reconstrucción.

El gradiente térmico es un componente esencial para evaluar la estructura del pavimento, los cambios de temperatura en los paños de hormigón general un comportamiento de albeo en las losas que aceleran la presencia de fisuras por el paso de vehículos pesados desde el borde hacia el centro, se logró determinar bajo elementos finitos el comportamiento de las fisuras y la forma en que fallas la losa, determinándose un escalonamiento prematuro en la vida de los pavimentos, cuando este fenómeno se presenta en las losas se determina la falla estructural del paño es elevado y su demolición es inminente.

4.3. Comparación del modelo con otros estudios.

Comprado con otros modelos esta propuesta contempla la evaluación y análisis de dos criterios, el ICP y el ΔT , el ICP aporta a conocer el nivel de severidad de las losas de pavimento rígido y determinar la ubicación y el número de paños o área de losa afectadas por las diferentes fallas que se presentan en un pavimento y en base a su clasificación establece un programa de mantenimiento, mientras que el gradiente término analiza la estructura de hormigón con elementos finitos para establecer si la estructura de hormigón ha fallado y es necesaria su reconstrucción, rehabilitación o mantenimiento preventivo.

4.4. Limitaciones del modelo.

No existen grandes limitaciones para la propuesta en virtud que puede desarrollarse bajo la norma ASTM-D-6433, que trata de una inspección visual para determinar el ICP, que puede adaptarse fácilmente a cualquier entorno con los formularios propuestos en la norma para la determinación del ICP.

Para el caso de la evaluación estructural es necesario contar con un programa adecuado para el análisis como lo es EverFe, un programa de elementos finitos desarrollado por Bill Davids Ph.D. profesor de Ingeniería Civil de la Universidad de MAINE, Estados Unidos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se estudiaron dos criterios importantes para la evaluación y conservación vial de vías principales de hormigón para ciudades de trescientos mil habitantes, el índice de condición del pavimento (ICP) y el efecto de la variable térmica (ΔT), para evaluar el pavimento rígido en un tramo de carretera de hormigón definido en el km 37 al km 38 de una de las vías principales de ingreso a la ciudad considerara como vía arterial dentro de la jerarquización vial.
- Para la evaluación de la estructura de pavimento se establecieron dos valores de ICP, un valor general de ICP para todo el tramo de 1Km por el ancho total de la estructura de la vía, determinándose que el tramo del km37 al km 38 tiene un ICP de 90, considerado como un nivel de severidad bueno, sin embargo, para establecer el nivel severidad de los paños afectados en su conjunto se calculó un ICP únicamente para las losas afectadas, determinándose un ICP de 4, en un estado de severidad fallido, con este análisis se concluye que el ICP calculado en losas de pavimentos rígido puede manejarse de forma individualizada para las losas afectadas que necesitan de una intervención inmediata.
- Para el caso de km37 al km38, se determinó la existencia de 69 losas con fallas, de las cuales 49 losas tienen un nivel de severidad alta con presencia de grietas transversales (GT), seguido de 8 losas con fallas de figuraciones por retracción

(F) o fallas por mapeo, y 3 losas con presencia de grietas de esquina todas estas fallas comprometen la estructura del pavimento en total 60 losas mantiene fallas en su estructura que necesitan ser evaluadas desde una perspectiva estructural.

- El programa EverFe, es un software ideal para el análisis de las estructuras de hormigón con elementos finitos, que, en base a criterios del gradiente térmico (ΔT), aportaron a desarrollar el modelo de falla de las estructuras e identificar el grado de falla en los pavimentos y determinar su intervención, rehabilitación o reconstrucción.
- Se formuló una metodología para conservación de vías empleando criterios de condición superficial ICP y de variable térmico (ΔT), por un lado, el ICP aporta a identificar las losas afectadas y le nivel de daños presentes con su severidad, mientras que, una vez identificadas las losas afectadas con daños en su estructura sean analizadas bajo criterios de (ΔT), para analizar su comportamiento y niveles de fallas estructurales, con estos criterios de ICP y ΔT , se pueden elaborar el plan o programa de mantenimiento de las estructuras del pavimento.

RECOMENDACIONES

- Para la evaluación del ΔT en las losas de pavimento rígido, se establecieron valores teóricos del coeficiente de expansión térmica del hormigón, en base mediciones de otros autores, es recomendable que se determine este coeficiente (α) en las losas de pavimento rígido de la ciudad de Machala, como un estudio de investigación para tener mayor certeza de la información.
- Los valores del ΔT en las losas de pavimento rígido, también se determinaron con valores teóricos y correlaciones, se recomienda su medición en losa y paños de hormigón en la ciudad de Machala.
- Se sugiere investigar los mantenimientos antes aplicados que guarden relación con el entorno de la vía en la cual realiza la evaluación superficial de pavimentos.
- Se sugiere aplicar la metodología propuesta a otros tipos de vías para verificar si esta metodología es aplicable a otros casos de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, P., Herra Gómez, L., Martínez, D., Rodríguez, Ó., Rodríguez, J., Rojas, S., Salas Chaves, M., & Ulate, A. (2021). *Guía para la inspección y reparación de deterioros en pavimentos de concreto hidráulico*.
- ANE. (2018). *Reglamento Ley Sistema Infraestructura Vial Del Transporte Terrestre*.
www.lexis.com.ec
- ASTM- D 6433-11. (2011). Standard practice for Roads and Parking lot Pavement Condition Index Surveys. *ASTM*, 42, 48. <https://doi.org/10.1520/D6433-11.2>
- Beltrán-Calvo, G. I., & Romo-Organista, M. P. (2014). Evaluación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(3), 391–402. [https://doi.org/10.1016/s1405-7743\(14\)70349-x](https://doi.org/10.1016/s1405-7743(14)70349-x)
- Beltrán-calvo, G., & Romo-organista, M. (2014). Evaluación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos Pavement Evaluation and Maintenance Decisions Based on Fuzzy Inference Systems. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 15(3), 391–402.
[https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(14\)70349-X](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(14)70349-X)
- Bojorque-Iñiguez, J. (2021). Análisis de esfuerzos en pavimentos de concreto tipo whitetopping: caso de estudio vía Biblián-Zhud. *Maskana*, 12(2), 80–87.
<https://doi.org/10.18537/mskn.12.02.09>
- Bull, A. (2014). Progresos de conservación vial en América Latina. *Boletín FAL - CEPAL*, 160, 1–7. <http://hdl.handle.net/11362/36055>
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2019). Ingeniería de tránsito, Fundamentos y aplicaciones. In *Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V. Mexico* (Vol. 53, Issue 9).
- Chaparro, B. E., & Pradena, M. (2019). Análisis estructural de pavimentos de hormigón: Losas cortas en pisos industriales. *Revista Politécnica*, 43(2), 45–50.
- Chavez, V. (2005). Manual de Diseño Geométrico de vías urbanas - 2005 - VCHI. Perú.

- MTC, Ministerio de Transporte y Comunicaciones ICG, Instituto de La Construcción Diario El Peruano*, 1–138.
https://www.academia.edu/34355355/MANUAL_DE_DISEÑO_GEOMÉTRICO_DE_VÍAS_URBANAS
- Cui, T., Zhang, T., Wang, J., Jie Chen, W. W., Wang, H., Wang, H., & Yang, D. (2023). Optimización y regulación de las propiedades del hormigón de pavimento en un entorno de meseta con gran diferencia de temperatura diaria: desde el diseño de la mezcla hasta la aplicación de campo. *Construction and Building Materials*, 378(131167). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131167>.
- Davids, B. (2020). *EverFE: Software for the 3D Finite Element Analysis of Jointed Plain Concrete Pavements*. <https://civil.umaine.edu/faculty/bill-davids/>
- Dávila, F. (2017). *Ficha Informativa de Proyecto 2017 Subsecretaría Zona 7 Dirección Provincial de El Oro*.
- Elizondo Arrieta, F. (2010). Costa Rica necesita más alternativas de mantenimiento para carreteras. In *PITRA*.
- FHWA. (2006). Geotechnical aspects of pavements. *Federal Highway Administration*, 132040, 598.
<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Geotechnical+Aspects+of+Pavements#1>
- GADM MACHALA. (2018). DIAGNOSTICO DEL SISTEMA TERRITORIAL - GADM DE MACHALA. In *GADM MACHALA* (Vol. 5, Issue 1).
<https://revistas.ufrj.br/index.php/rce/article/download/1659/1508%0Ahttp://hipatia.press.com/hpjournals/index.php/qre/article/view/1348%5Cnhttp://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500799708666915%5Cnhttps://mckinseysociety.com/downloads/reports/Educa>
- García Lorenzana, M. (2020). *Conservación Vial para el Desarrollo: Un caso de Estudio en Jujuy, Argentina*. <https://oa.upm.es/63528/>
- Heath, A. C., & Roesler, J. R. (1999). Shrinkage and Thermal Cracking of Fast Setting Hydraulic Cement Concrete Pavements in Palmdale. *California Department of*

Transportation, December. [http://www.ucprc.ucdavis.edu/PDF/Shrinkage and Therm Crack.pdf](http://www.ucprc.ucdavis.edu/PDF/Shrinkage%20and%20Therm%20Crack.pdf)

- Lind, D. A., Marchal, W. G., Wathen, S. A., Iván, J., Sánchez -Farley, J., Rojas, S., Julieth, R.-H., Galvis, O., Iván Jiménez Sánchez, J., Sary, F., Restrepo, R., Julieth, H., Scherger, V. P., Arbelaez R, M. A., Zulet J, L. A., Velazco M, A., Rosales R, M. F., Dominguez G, C., Economicas, D. E. C., ... Analisis, E. N. E. L. (2014). Estadística aplicada a los Negocios Y La Economía. In McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES (Ed.), *Ciencia y Sociedad: Vol. XVI* (Issue 4). The McGRAW HILL.
- Llanos, D., Suarez, P., Zuñiga, A., & Valle, A. (2023). *Nanotubos de carbono su aplicación para mejorar la resistencia a la fatiga o reducir fisuramiento en pavimentos rígidos con concreto hidráulico* (2023rd ed.). GRUPO COMPAS.
- Macea-Mercado, L. F., Morales, L., & Márquez-Díaz, L. G. (2016). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(2), 223–236. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.06.007>
- Macea, L., Márquez, L. G., & Morales, L. (2016). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo A Pavement Management System Based on New Technologies for Developing Countries. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(2), 223–236. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.06.007>
- María, J., Tordesillas, C., & Garmendia Antín, M. (2008). Carreteras-Planeamiento. Algunas Claves De La Evolución Histórica De Una Relación Imperfecta Highway-Urban Planning. Some Keys of the Historical Evolution of an Imperfect Relation. *CIUDADES*, 11, 33–51.
- Mendez, J., Meléndez, J., & Monge, J. (2015). Diseño Mecánico-Empírico de Pavimentos de Concreto con juntas para Esfuerzo Combinados. *ResearchGate*, 281558924(September), 0–16. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3173.2245>
- Menéndez, J. R. (2003). *Mantenimiento Rutinario de Caminos* (Oficina Internacional

- del Trabajo (ed.); Primera Ed). Oficina Internacional del Trabajo. www.oit.org.pe
- Monje, C. (2011). Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica. In *Universidad Surcolombiana*.
<http://carmonje.wikispaces.com/file/view/Monje+Carlos+Arturo+-+Guía+didáctica+Metodología+de+la+investigación.pdf>
- MTOP. (2002). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes - Mop - 001-F 2002*. http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf
- MTOP. (2009). *CUADRO DE PESOS Y DIMENSIONES MÁXIMAS PERMITIDAS*.
- MTOP. (2012). *Programa de conservación por nivel de servicio* (Vol. 2012).
<http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/CONSERVACION-NIVELES-DE-SERVICIO.pdf>
- Muñoz, C. (2011). *CÓMO ELABORAR Y ASESORAR UNA INVESTIGACIÓN DE TESIS* (L. Gaona (ed.); Segunda Ed). Pearson Prentice Hall.
- Pallares-Muñoz, M. R., & Pulecio-Díaz, J. A. (2017). Aplicabilidad del método de los elementos finitos en el análisis y dimensionamiento de losas JCPC para carreteras de dos carriles. *ITECKNE Innovación e Investigación En Ingeniería*, 14(2), 148.
<https://doi.org/10.15332/iteckne.v14i2.1769>
- Palma, A., Mogrovejo, D., & Abreu, D. (2023). Sistema De Gestión De Pavimentos Basado En El Empleo De Un Sistema De Información Geográfica. *Ciencia y Construcción*, 4(2), 38–52.
- Picado Muñoz, G. (2017). Desarrollo de curvas de deterioro para pavimento flexible y factor de incertidumbre. *Infraestructura Vial*, 18(31), 30–38.
<https://doi.org/10.15517/iv.v18i31.27762>
- Putra, D. A., & Suprpto, M. (2018). Assessment of the road based on PCI and IRI roadroid measurement. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 195).

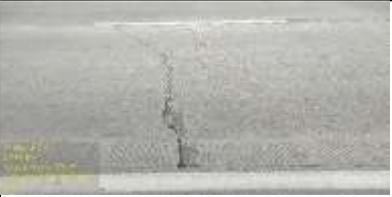
<https://doi.org/10.1051/matecconf/201819504006>

- Rosell, C., Reck, H., Olof, J., Cama, A., & Obrien, E. (2014). Road maintenance practices to improve wildlife conservation and traffic safety. *IENE 2014 International Conference*, 1–110.
- Satish, C., Chalumuri, Ravi, S., Anish, Kumar, B., & B, K. (2013). Application of soft Computing for Prediction of pavement Condition Index. *Journal of Transportation Engineering*, 139(5), 467–475. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE)
- Silva-Balaguera, A., Leguizamón, O. D., & Valiente, L. L. (2018). Gestión de pavimentos basado en Sistemas de Información geográfica (SIG): una revisión. *Ingeniería Solidaria*, 14(26). <https://doi.org/10.16925/in.v14i26.2417>
- Toirac Corral, J. (2004). Patología de la construcción : grietas y fisuras en obras de hormigón ; origen y prevención. *Ciencia y Sociedad*, 29(1), 72–114. <https://doi.org/10.22206/cys.2004.v29i1.pp72-114>
- Wang, J., González-Jorge, H., Lindenbergh, R., Arias-Sánchez, P., & Menenti, M. (2013). Automatic estimation of excavation volume from laser mobile mapping data for mountain road widening. *Remote Sensing*, 5(9), 4629–4651. <https://doi.org/10.3390/rs5094629>

ANEXOS

REPORTE DE PAVIMENTO RIGIDO							
ITEM	KILÓMETRO	MARGEN	CARRIL	COORDENADA		FOTOGRAFÍA	
				X	Y		
1	37+040	DERECHO	EXTERNO	622960	9629860		GT
2	37+045	DERECHO	EXTERNO	622961	9629860		GT
3	37+050	DERECHO	EXTERNO	622962	9629856		F
4	37+053	DERECHO	EXTERNO	622959	9629850		GT
5	37+055	DERECHO	EXTERNO	622959	9629849		GT
6	37+060	DERECHO	EXTERNO	622961	9629837		GT
7	37+065	DERECHO	EXTERNO	622960	9629837		F

REPORTE DE PAVIMENTO RIGIDO

ITEM	KILÓMETRO	MARGEN	CARRIL	COORDENADA		FOTOGRAFÍA	
				X	Y		
8	37+070	DERECHO	EXTERNO	622958	9629832		F
9	37+075	DERECHO	EXTERNO	622958	9629831		GT
10	37+078	DERECHO	EXTERNO	622959	9629823		F
11	37+080	DERECHO	EXTERNO	622958	9629821		GT
12	37+084	DERECHO	EXTERNO	622958	9629821		GT
13	37+090	DERECHO	EXTERNO	622958	9629808		GT
14	37+095	DERECHO	EXTERNO	622958	9629803		GT

REPORTE DE PAVIMENTO RIGIDO

ITEM	KILÓMETRO	MARGEN	CARRIL	COORDENADA		FOTOGRAFÍA	
				X	Y		
15	37+100	DERECHO	EXTERNO	622958	9629798		GT
16	37+110	DERECHO	EXTERNO	622956	9629797		GT
17	37+120	DERECHO	EXTERNO	622957	9629795		GT
18	37+125	DERECHO	EXTERNO	622950	9629781		GT
19	37+230	DERECHO	EXTERNO	622951	9629658		GT
20	37+235	DERECHO	EXTERNO	622950	9629653		F
21	37+240	DERECHO	EXTERNO	622949	9629652		GT

REPORTE DE PAVIMENTO RIGIDO

ITEM	KILÓMETRO	MARGEN	CARRIL	COORDENADA		FOTOGRAFÍA	
				X	Y		
22	37+250	DERECHO	EXTERNO	622951	9629634		F
23	37+260	DERECHO	EXTERNO	622952	9629628		GT
24	37+265	DERECHO	EXTERNO	622954	9629624		GT
25	37+270	DERECHO	EXTERNO	622955	9629619		GT
26	37+280	DERECHO	EXTERNO	622955	9629608		GT
27	37+285	DERECHO	EXTERNO	622958	9629601		GT
28	37+290	DERECHO	EXTERNO	622961	9629599		GT

REPORTE DE PAVIMENTO RIGIDO

ITEM	KILÓMETRO	MARGEN	CARRIL	COORDENADA		FOTOGRAFÍA	
				X	Y		
29	37+300	DERECHO	EXTERNO	622960	9629594		GT
30	37+305	DERECHO	EXTERNO	622962	9629588		GT
31	37+310	DERECHO	EXTERNO	622966	9629578		GT
32	37+315	DERECHO	EXTERNO	622967	9629575		GT
33	37+320	DERECHO	EXTERNO	622966	9629571		GT
34	37+325	DERECHO	EXTERNO	622968	9629567		GT
35	37+330	DERECHO	EXTERNO	622969	9629563		GT

REPORTE DE PAVIMENTO RIGIDO

ITEM	KILÓMETRO	MARGEN	CARRIL	COORDENADA		FOTOGRAFÍA	
				X	Y		
36	37+335	DERECHO	EXTERNO	622970	9629559		GT
37	37+340	DERECHO	EXTERNO	622970	9629559		GT
38	37+365	DERECHO	EXTERNO	622975	9629528		GT
39	37+370	DERECHO	EXTERNO	622975	9629528		GT
40	37+375	DERECHO	EXTERNO	622975	9629528		GT
41	37+380	DERECHO	EXTERNO	622977	9629528		GT
42	37+390	DERECHO	EXTERNO	622981	9629520		GT

REPORTE DE PAVIMENTO RIGIDO

ITEM	KILÓMETRO	MARGEN	CARRIL	COORDENADA		FOTOGRAFÍA	
				X	Y		
43	37+395	DERECHO	EXTERNO	622985	9629513		GT
44	37+400	DERECHO	EXTERNO	622990	9629513		GT
45	37+405	DERECHO	EXTERNO	622991	9629512		GT
46	37+470	DERECHO	EXTERNO	623024	9629448		GT
47	37+480	DERECHO	EXTERNO	623050	9629411		GT
48	37+490	DERECHO	EXTERNO	623052	9629411		GT
49	37+495	DERECHO	EXTERNO	623053	9629410		GE

REPORTE DE PAVIMENTO RIGIDO

ITEM	KILÓMETRO	MARGEN	CARRIL	COORDENADA		FOTOGRAFÍA	
				X	Y		
50	37+530	DERECHO	EXTERNO	623070	9629384		GT
51	37+520	DERECHO	EXTERNO	623071	9629384		F
52	37+670	DERECHO	EXTERNO	623184	9629289		GT
53	37+675	DERECHO	EXTERNO	623184	9629289		GT
54	37+680	DERECHO	EXTERNO	623185	9629288		GT
55	37+685	DERECHO	EXTERNO	623185	9629288		GT
56	37+690	DERECHO	EXTERNO	623188	9629284		GT

REPORTE DE PAVIMENTO RIGIDO

ITEM	KILÓMETRO	MARGEN	CARRIL	COORDENADA		FOTOGRAFÍA	
				X	Y		
57	37+695	DERECHO	EXTERNO	623192	9629278		GT

PTO	NOM	ABSISA	ESTE	SUR-NORTE	FALLA	SEVERIDAD	LADO	CARRIL	LONGITUD	ANCHO	AREA (M2)	AREA AFECTADA	AREA TOTAL (1KM)
1	1	37+040	622960,000	9629860,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
2	2	37+045	622961,000	9629860,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
3	1	37+050	622962,000	9629856,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
4	3	37+053	622959,000	9629850,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
5	4	37+055	622959,000	9629849,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
6	5	37+060	622961,000	9629837,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
7	2	37+065	622960,000	9629837,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
8	3	37+070	622958,000	9629832,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
9	6	37+075	622958,000	9629831,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
10	4	37+078	622959,000	9629823,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
11	7	37+080	622958,000	9629821,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
12	8	37+084	622958,000	9629821,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
13	9	37+090	622958,000	9629808,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
14	10	37+095	622958,000	9629803,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
15	11	37+100	622958,000	9629798,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
16	12	37+110	622956,000	9629797,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
17	13	37+120	622957,000	9629795,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
18	14	37+125	622950,000	9629781,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
19	15	37+230	622951,000	9629658,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
20	5	37+235	622950,000	9629653,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
21	16	37+240	622949,000	9629652,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
22	1	37+245	622961,797	9629644,073	GT	M	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
23	6	37+250	622951,000	9629634,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
24	2	37+255	622963,146	9629631,762	GT	M	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
25	17	37+260	622952,000	9629628,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
26	18	37+265	622954,000	9629624,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
27	19	37+270	622955,000	9629619,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
28	20	37+280	622956,000	9629608,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
29	21	37+285	622958,000	9629601,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
30	22	37+290	622961,000	9629599,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
31	23	37+300	622962,000	9629594,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
32	24	37+305	622962,000	9629588,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
33	25	37+310	622966,000	9629578,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
34	26	37+315	622967,000	9629575,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
35	27	37+320	622966,000	9629571,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
36	28	37+325	622968,000	9629567,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
37	29	37+330	622969,000	9629563,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
38	30	37+335	622970,000	9629559,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
39	31	37+340	622970,000	9629559,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
40	32	37+365	622975,000	9629528,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
41	33	37+370	622975,000	9629528,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
42	34	37+375	622975,000	9629528,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
43	35	37+380	622977,000	9629528,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
44	36	37+390	622981,000	9629520,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
45	37	37+395	622985,000	9629513,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
46	1	37+398	623025,842	9629457,325	F	M	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
47	38	37+400	622990,000	9629513,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
48	39	37+405	622991,000	9629512,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
49	40	37+470	623024,000	9629448,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
50	41	37+480	623050,000	9629411,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
51	42	37+490	623052,000	9629411,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
52	1	37+495	623053,000	9629410,000	GE	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
53	43	37+530	623070,000	9629384,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
54	7	37+520	623071,000	9629384,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
55	44	37+670	623184,000	9629289,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
56	45	37+675	623184,000	9629289,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
57	46	37+680	623185,000	9629288,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
58	47	37+685	623185,000	9629288,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
59	48	37+690	623188,000	9629284,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
60	49	37+695	623192,000	9629278,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
61	1	37+765	623230,729	9629254,180	DS	B	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
62	1	37+779	623237,353	9629241,971	GE	M	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
63	2	37+781	623239,469	9629239,758	GE	M	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
64	8	37+875	623308,824	9629176,162	F	A	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
65	1	37+085	622977,677	9629835,509	GL	B	IZQUIERDO	MEDIO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
66	2	37+087	622978,539	9629830,663	GL	B	IZQUIERDO	MEDIO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
67	1	37+105	622981,770	9629819,670	D	A	IZQUIERDO	MEDIO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
68	2	37+768	623242,567	9629268,053	DS	B	IZQUIERDO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%
69	3	37+890	623328,314	9629179,400	GE	M	IZQUIERDO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	0,06%

PTO	NOM	ABSISA	ESTE	SUR-NORTE	FALLA	SEVERIDAD	LADO	CARRIL	LONGITUD	ANCHO	AREA (M2)	AREA AFECTADA	AREA TOTAL (1KM)
1	1	37+040	622960,000	9629860,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
2	2	37+045	622961,000	9629860,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
3	1	37+050	622962,000	9629856,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
4	3	37+053	622959,000	9629850,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
5	4	37+055	622959,000	9629849,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
6	5	37+060	622961,000	9629837,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
7	2	37+065	622960,000	9629837,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
8	3	37+070	622958,000	9629832,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
9	6	37+075	622958,000	9629831,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
10	4	37+078	622959,000	9629823,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
11	7	37+080	622958,000	9629821,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
12	8	37+084	622958,000	9629821,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
13	9	37+090	622958,000	9629808,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
14	10	37+095	622958,000	9629803,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
15	11	37+100	622958,000	9629798,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
16	12	37+110	622956,000	9629797,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
17	13	37+120	622957,000	9629795,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
18	14	37+125	622950,000	9629781,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
19	15	37+230	622951,000	9629658,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
20	5	37+235	622950,000	9629653,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
21	16	37+240	622949,000	9629652,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
22	1	37+245	622961,797	9629644,073	GT	M	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
23	6	37+250	622951,000	9629634,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
24	2	37+255	622963,146	9629631,762	GT	M	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
25	17	37+260	622952,000	9629628,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
26	18	37+265	622954,000	9629624,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
27	19	37+270	622955,000	9629619,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
28	20	37+280	622955,000	9629608,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
29	21	37+285	622958,000	9629601,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
30	22	37+290	622961,000	9629599,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
31	23	37+300	622960,000	9629594,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
32	24	37+305	622962,000	9629588,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
33	25	37+310	622966,000	9629578,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
34	26	37+315	622967,000	9629575,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
35	27	37+320	622966,000	9629571,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
36	28	37+325	622968,000	9629567,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
37	29	37+330	622969,000	9629563,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
38	30	37+335	622970,000	9629559,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
39	31	37+340	622970,000	9629559,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
40	32	37+365	622975,000	9629528,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
41	33	37+370	622975,000	9629528,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
42	34	37+375	622975,000	9629528,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
43	35	37+380	622977,000	9629528,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
44	36	37+390	622981,000	9629520,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
45	37	37+395	622985,000	9629513,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
46	1	37+398	623025,842	9629457,325	F	M	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
47	38	37+400	622990,000	9629513,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
48	39	37+405	622991,000	9629512,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
49	40	37+470	623024,000	9629448,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
50	41	37+480	623050,000	9629411,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
51	42	37+490	623052,000	9629411,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
52	1	37+495	623053,000	9629410,000	GE	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
53	43	37+530	623070,000	9629384,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
54	7	37+520	623071,000	9629384,000	F	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
55	44	37+670	623184,000	9629289,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
56	45	37+675	623184,000	9629289,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
57	46	37+680	623185,000	9629288,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
58	47	37+685	623185,000	9629288,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
59	48	37+690	623188,000	9629284,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
60	49	37+695	623192,000	9629278,000	GT	A	DERECHO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
61	1	37+765	623203,729	9629254,180	DS	B	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
62	1	37+779	623237,353	9629241,971	GE	M	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
63	2	37+781	623239,469	9629239,758	GE	M	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
64	8	37+875	623308,824	9629176,162	F	A	DERECHO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
65	1	37+085	622977,677	9629835,509	GL	B	IZQUIERDO	MEDIO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
66	2	37+087	622978,539	9629830,663	GL	B	IZQUIERDO	MEDIO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
67	1	37+105	622981,770	9629819,670	D	A	IZQUIERDO	MEDIO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
68	2	37+768	623242,567	9629268,053	DS	B	IZQUIERDO	EXTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%
69	3	37+890	623328,314	9629179,400	GE	M	IZQUIERDO	INTERNO	4,5	3,65	16,425	16,425	1,45%

Total

69

HOJA DE DATOS DE LA ENCUESTA DE LA CONDICIÓN DE CARRETERAS CON SUPERFICIE DE CONCRETO PARA LA UNIDAD DE MUESTRA				
1	DESCASCAMIENTO	7	GRIETAS DE ESQUINA	
2	DESPOSTILLAMIENTO	8	GRIETA EN LOS EXTREMOS DE LOS PASADORES	
3	FALLAS CONSTRUCTIVAS	9	GRIETA LONGITUDINAL	
4	DETERIORO DE SELLO	10	GRIETA TRANSVERSAL	
5	FISURACIÓN POR RETRACCIÓN	11	LEVANTAMIENTO LOCALIZADO	
6	FISURAS LIGERAS DE APARICIÓN TEMPRANA	12	PULIMIENTO	
Tipo de Falla	Severidad	Número de Losas	Density %	Deduct Value
1	A	1	1,450%	20,00
4	B	2	2,900%	2,00
5	A	8	11,600%	0,00
5	M	1	1,450%	0,00
7	A	1	1,450%	4,00
7	M	3	4,350%	2,00
9	B	2	2,900%	2,00
10	A	49	71,050%	72,00
10	M	2	2,900%	5,00



A 85,6%
M 8,7%
B 5,8%

No.	Deduct Value										Total	q	CDV
	72	20	5	4	2	2	2	1,142	1,142	1,142			
1	72	20	5	4	2	2	2	1,142	1,142	1,142	109,284	6	54
2	72	20	5	4	2	2	1,142	1,142	1,142	108,426	5	54	
3	72	20	5	4	2	1,142	1,142	1,142	1,142	107,568	4	56	
4	72	20	5	4	1,142	1,142	1,142	1,142	1,142	106,710	3	66	
5	72	20	5	1,142	1,142	1,142	1,142	1,142	1,142	103,852	2	70	
6	72	20	1,142	1,142	1,142	1,142	1,142	1,142	1,142	99,994	1	96	
7										0			
8										0			
9										0			
10										0			
11										0			
12										0			
13										0			
14										0			
15										0			
25										0			



Max CDV: 96
PCI= 100- Max CDV: 4
Clasificación: FALLIDO