



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO CON BASE EN LA EVALUACIÓN
POR MEDIO DE NUCLEOS DE LA CALLE DR. TEODORO
ALVARADO OLEAS**

TUTOR

MSC. ING. PARRA SALCEDO MARÍA ELOÍSA

AUTORES

**JONNATHAN WILFRIDO MOSCOSO ACOSTA
JONATHAN HERNAN CAMPOS LLIGUIN**

GUAYAQUIL

2024

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO CON BASE EN LA EVALUACIÓN POR MEDIO DE NUCLEOS DE LA CALLE DR. TEODORO ALVARADO OLEAS

AUTOR/ES:

Jonnathan Wilfrido Moscoso
Acosta
Jonathan Hernán Campos Lliguin

TUTOR:

MSc. Ing. Parra Salcedo María Eloísa

INSTITUCIÓN:

Universidad Laica Vicente
Rocafuerte de Guayaquil

Grado obtenido:

Ingeniero Civil

FACULTAD:

FACULTAD DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA:

INGENIERÍA CIVIL

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2024

N. DE PÁGS:

144

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y construcción

PALABRAS CLAVE: Diseño de pavimento rígido, evaluación de núcleos de pavimentos, cargas vehiculares, métodos de construcción.

RESUMEN:

El estudio sobre el agrietamiento del pavimento identificó las causas y patrones de desarrollo de las grietas, permitiendo crear estrategias para mejorar la durabilidad y seguridad vial. Se observó que el aumento exponencial de las cargas contribuye al deterioro de la vía en su periodo de diseño de 20 años. La

capa de rodadura de pavimento rígido mostró un deterioro del 25,5% a lo largo de su vida útil.

El análisis de las cargas vehiculares en el pavimento duro indicó que las cargas repetidas y de alta intensidad causan deformaciones significativas. Se mejoró el diseño incrementando la resistencia del hormigón y ajustando el espesor de la losa a 20 cm con una sub-base granular de 15 cm. Estas mejoras son cruciales para aumentar la durabilidad y funcionalidad de las calles.

La evaluación de la resistencia de núcleos de pavimento reveló que la capacidad de carga está influenciada por la calidad del hormigón y las condiciones de curado. Se encontraron algunas muestras con resistencia menor a la esperada, sugiriendo defectos en la mezcla o proceso constructivo. Esto subraya la necesidad de seguir especificaciones de ingeniería y controlar rigurosamente los parámetros de fabricación para asegurar la integridad estructural del pavimento.

El diseño del recubrimiento duro para la calle Teodoro Alvarado Oleas se optimizó considerando el tránsito, carga vehicular y características del suelo. Se utilizó hormigón de alta resistencia y refuerzos adecuados, con un espesor de 20 cm en la losa y Dowels para la transferencia de carga. La precisión en la alineación, transferencia de carga y resistencia del concreto ayuda a reducir grietas y prolongar la vida útil de la infraestructura vial.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (Web):		
ADJUNTO PDF:	<input checked="checked" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO

<p>CONTACTO CON AUTOR/ES:</p> <p>Campos Lliguin Jonathan Hernán</p> <p>Moscoso Acosta Jonnathan Wilfrido</p>	<p>Teléfono:</p>	<p>E-mail:</p> <p>jcamposl@ulvr.edu.ec</p> <p>jmoscosoa@ulvr.edu.ec</p>
<p>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</p>	<p>PhD. Marcial Sebastián Calero Amores Decano de Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción</p> <p>Teléfono: 2596500 Ext. 241</p> <p>E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec</p> <p>Ing. Jorge Torres Rodríguez</p> <p>Teléfono: 2596500 Ext. 241</p> <p>E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec</p>	

CERTIFICADO DE SIMILITUD

MOSCOSO & CAMPOS (11-08-24) PDF (1).pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.dspace.uce.edu.ec

Fuente de Internet

2%

2

dspace.unach.edu.ec

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.upt.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%



Firmado electrónicamente por:
**MARIA ELOISA
PARRA SALCEDO**

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 1%

Excluir bibliografía

Activo

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados JONATHAN HERNAN CAMPOS LLIGUIN y JONNATHAN WILFRIDO MOSCOSO ACOSTA declaramos bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO CON BASE EN LA EVALUACIÓN POR MEDIO DE NUCLEOS DE LA CALLE DR. TEODORO ALVARADO OLEAS, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

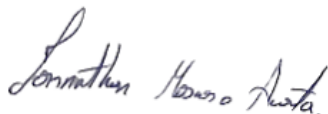
Autor(es)



Firma:

JONATHAN HERNAN CAMPOS LLIGUIN

C.I. 0953507191



Firma:

JONNATHAN WILFRIDO MOSCOSO ACOSTA

C.I. 0944321694

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO CON BASE EN LA EVALUACIÓN POR MEDIO DE NUCLEOS DE LA CALLE DR. TEODORO ALVARADO OLEAS, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO CON BASE EN LA EVALUACIÓN POR MEDIO DE NUCLEOS DE LA CALLE DR. TEODORO ALVARADO OLEAS, presentado por los estudiantes JONATHAN HERNAN CAMPOS LLIGUIN Y JONNATHAN WILFRIDO MOSCOSO ACOSTA como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:



MSc. Ing. MARÍA ELOISA PARRA SALCEDO

AGRADECIMIENTO

En el momento de culminar esta etapa significativa en mi vida académica, me gustaría expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en este proceso.

En primer lugar, agradezco profundamente a mis padres, por su amor, paciencia y apoyo incondicional durante todos estos años. Su fe en mí y sus sacrificios han sido la base sobre la que he construido mi camino.

Agradezco también a mis profesores y mentores en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, por su orientación y dedicación. Sus enseñanzas y consejos han sido esenciales para mi desarrollo académico y profesional.

Un agradecimiento especial a mis compañeros y amigos, cuyo apoyo y camaradería han hecho de esta experiencia algo memorable y enriquecedor.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, por proporcionarme una educación de calidad y un entorno estimulante que me ha permitido crecer y aprender.

A todos ustedes, les debo gran parte de este logro y les estoy eternamente agradecido.

Con aprecio,

Jonathan Hernán Campos Lliguin

Al culminar esta etapa tan importante en mi vida académica, me gustaría expresar mi sincero agradecimiento a las personas y entidades que han sido cruciales en este viaje.

En primer lugar, a mis padres, cuyo amor, apoyo incondicional y sacrificios han sido la base de mi éxito. Su confianza en mí y su aliento constante han sido mi mayor motivación.

A mis profesores y mentores en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, les agradezco profundamente por su guía y enseñanza. Cada uno de ustedes ha contribuido significativamente a mi formación académica y personal, y sus consejos han sido invaluable a lo largo de mi trayectoria.

A mis amigos y compañeros, por su compañía y apoyo durante los momentos difíciles. Su solidaridad y ánimo han hecho que este camino sea más llevadero y lleno de aprendizajes compartidos.

Finalmente, a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, por ofrecerme un entorno académico enriquecedor y por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar este logro.

A todos ustedes, les debo mucho de lo que soy hoy y les estoy eternamente agradecido.

Con gratitud,

Jonnathan Wilfrido Moscoso Acosta

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional y constante apoyo, que ha sido el pilar de cada paso en mi camino académico.

A mis amigos y compañeros, por su compañía y aliento, que hicieron que los desafíos se sintieran más llevaderos.

Y a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, por brindarme el conocimiento y las herramientas necesarias para alcanzar este logro.

Con gratitud y admiración,

Jonathan Hernán Campos Lliguin

Dedico este trabajo con profundo agradecimiento y cariño a:

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y los sacrificios que han hecho para que pudiera alcanzar mis sueños. Su confianza en mí ha sido mi mayor inspiración.

A mis profesores y mentores de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, cuya guía y enseñanza han sido fundamentales en mi desarrollo académico. Su dedicación y compromiso han dejado una huella imborrable en mi formación.

A mis amigos y compañeros, por su solidaridad, apoyo y la camaradería compartida durante estos años. Su aliento y compañía han sido una fuente de fortaleza en los momentos más desafiantes.

Y, en especial, a la Universidad Laica Vicente Rocafuerte, por ofrecerme una educación de calidad y un entorno propicio para el aprendizaje y el crecimiento personal.

Con gratitud y admiración,

Jonnathan Wilfrido Moscoso

RESUMEN

El estudio sobre el agrietamiento del pavimento identificó las causas y patrones de desarrollo de las grietas, permitiendo crear estrategias para mejorar la durabilidad y seguridad vial. Se observó que el aumento exponencial de las cargas contribuye al deterioro de la vía en su periodo de diseño de 20 años. La capa de rodadura de pavimento rígido mostró un deterioro del 25,5% a lo largo de su vida útil.

El análisis de las cargas vehiculares en el pavimento duro indicó que las cargas repetidas y de alta intensidad causan deformaciones significativas. Se mejoró el diseño incrementando la resistencia del hormigón y ajustando el espesor de la losa a 20 cm con una sub-base granular de 15 cm. Estas mejoras son cruciales para aumentar la durabilidad y funcionalidad de las calles.

La evaluación de la resistencia de núcleos de pavimento reveló que la capacidad de carga está influenciada por la calidad del hormigón y las condiciones de curado. Se encontraron algunas muestras con resistencia menor a la esperada, sugiriendo defectos en la mezcla o proceso constructivo. Esto subraya la necesidad de seguir especificaciones de ingeniería y controlar rigurosamente los parámetros de fabricación para asegurar la integridad estructural del pavimento.

El diseño del recubrimiento duro para la calle Teodoro Alvarado Oleas se optimizó considerando el tránsito, carga vehicular y características del suelo. Se utilizó hormigón de alta resistencia y refuerzos adecuados, con un espesor de 20 cm en la losa y Dowels para la transferencia de carga. La precisión en la alineación, transferencia de carga y resistencia del concreto ayuda a reducir grietas y prolongar la vida útil de la infraestructura vial.

Palabras Claves: Diseño de pavimento rígido, evaluación de núcleos de pavimentos, cargas vehiculares, métodos de construcción.

ABSTRACT

The study on pavement cracking identified the causes and development patterns of cracks, allowing the creation of strategies to improve road durability and safety. It will be observed that the exponential increase in loads contributes to the deterioration of the road in its 20-year design period. The rigid pavement wearing course showed a deterioration of 25.5% throughout its useful life.

Analysis of vehicular loads on hard pavement indicated that repeated, high intensity loads cause significant deformations. The design was improved by increasing the strength of the concrete and adjusting the thickness of the slab to 20 cm with a 15 cm granular subbase. These improvements are crucial to increasing the durability and functionality of the streets.

The evaluation of the strength of pavement cores revealed that the load capacity is influenced by the quality of the concrete and the curing conditions. Some samples were found with lower resistance than expected, suggesting defects in the mixture or construction process. This underscores the need to follow engineering specifications and rigorously control manufacturing parameters to ensure the structural integrity of the pavement.

The design of the hard surface for Teodoro Alvarado Oleas Street was optimized considering traffic, vehicle load and soil characteristics. High resistance concrete and appropriate reinforcements were used, with a thickness of 20 cm in the slab and dowels for load transfer. The precision in alignment, load transfer and strength of concrete helps reduce cracks and extend the life of road infrastructure.

Keywords: Rigid pavement design, evaluation of pavement cores, vehicle loads, construction methods.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
ENFOQUE DE LA PROPUESTA	2
1.1. Tema:	2
1.2. Planteamiento del Problema:	2
1.3. Formulación del Problema:	3
1.4. Objetivo General	3
1.5. Objetivos Específicos	3
1.6. Hipótesis	4
1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad.	4
CAPÍTULO II	5
MARCO REFERENCIAL	5
2.1. Marco Teórico	5
2.1.1. Antecedentes.....	5
2.1.2. Marco Conceptual.....	6
2.1.3. Pavimento rígido.....	7
2.1.4. Tipos de Pavimentos rígidos.....	8
2.1.5. Características de los pavimentos rígidos.....	9
2.1.6. Clasificación del pavimento rígido.....	10
2.1.6.1. Pavimento de Concreto Simple (PCC).....	11

2.1.6.2.	Pavimento de Concreto Reforzado Continuo (CRCP)	12
2.1.6.3.	Pavimento de Concreto Reforzado con Juntas (JRCP)	14
2.1.6.4.	Pavimento de Concreto Postensado	15
2.1.6.5.	Pavimento de Concreto Pretensado	16
2.1.6.6.	Pavimento de Concreto con Juntas Serradas	17
2.1.6.7.	Pavimento de Concreto Reforzado con Fibras	17
2.1.6.8.	Pavimento de Concreto con Superficie Texturizada	18
2.1.7.	Métodos de Caracterización	19
2.1.7.1.	Métodos destructivos.....	19
2.1.7.2.	Métodos no destructivos.....	20
2.1.8.	Propiedades del pavimento rígido.....	22
2.1.8.1.	Resistencia.....	22
2.1.8.2.	Durabilidad	22
2.1.8.3.	Elasticidad	23
2.1.8.4.	Rigidez	24
2.1.8.5.	Cohesiones	24
2.1.8.6.	Distribución de agregados	24
2.1.9.	Estado del Arte	29
2.1.10.	Normativas y Estándares	30
2.1.10.1.	Normas ASTM (American Society for Testing and Materials):	30

2.1.10.2. Normas AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials):	30
2.1.10.3. Normas EN (European Norms):	30
2.1.11. Mecanismo de agrietamiento	31
2.1.12. Análisis del Ciclo de Vida de Pavimentos	31
2.1.13. Diagnóstico de fallas en pavimentos	33
2.1.14. Evaluación estructural de pavimentos.....	33
2.1.15. Técnicas de inspección y monitoreo	34
2.1.16. Modelos predictivos de deterioro	34
2.1.17. Factores de Diseño y Construcción	35
2.1.17.1. Período de diseño.	35
2.1.17.2. Cargas de tráfico y efectos	38
2.1.18. Métodos de reparación de grietas.....	39
2.1.19. Durabilidad del hormigón	40
2.1.20. Análisis de esfuerzos y deformaciones	41
2.1.21. Juntas de Contracción y Expansión	41
2.1.22. Tecnologías de Rehabilitación de Pavimentos.....	42
2.1.23. Materiales de Sellado de Grietas	43
2.1.24. Interacción Suelo-Pavimento	43
2.1.25. Sistemas de Drenaje y su Impacto	44
2.1.26. Medidas Preventivas contra el Agrietamiento	45
2.1.27. Capas que conforman el pavimento rígido.....	45

2.1.28. Componentes para la elaboración de la estructura de un pavimento rígido	46
2.1.29. Fallas de pavimentos rígidos	48
2.1.30. Fatiga en pavimentos rígidos	53
2.1.31. Transferencia de carga en pavimentos rígido	54
2.1.32. Factores para el diseño de pavimento	55
2.3. Marco Legal	56
2.3.1. Constitución de la República del Ecuador.....	56
2.3.2. Ley sistema nacional de infraestructura vial transporte terrestre ..	56
2.3.3. Ministerio de transporte y obras públicas MOP - 001-F 2002 (Especificaciones generales especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes).....	56
2.3.4. MINVU - Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación 2016.	57
2.3.5. MTOP - Manual de pavimentos rígidos, 2012 Tomo 2. Norma para pavimentos rígidos (IBCH).....	57
2.3.6. Normativa para Diseño de Pavimento AASHTO 93	58
CAPÍTULO III	59
MARCO METODOLÓGICO	59
3.1. Enfoque de la investigación:	59
3.2. Alcance de la investigación: (Exploratorio, descriptivo o correlacional)	59
3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos	60
3.4. Población y muestra	60

3.5.	Ubicación geográfica de la zona de estudio	60
CAPÍTULO IV		63
PROPUESTA O INFORME		63
4.1.	Extracción de testigos de hormigón. ASTM C 42/ C42M-04.....	63
4.2.	Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos. NTE INEN 1573	64
4.2.1.	Extracción de núcleos.....	65
4.2.2.	Determinación del contenido total de humedad NTE INEN 862	67
4.2.3.	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA).....	75
4.2.3.1.	Composición del tráfico	78
4.2.4.	Procedimiento para el Diseño de pavimentos rígidos	83
4.2.4.1.	Datos para el cálculo de un Pavimento Rígido	84
4.2.4.2.	Determinación del Parámetro K.....	86
4.2.4.3.	Módulo Elástico y Módulo de Rotura	87
4.2.4.4.	Determinación del Índice de Serviciabilidad Inicial y Final para el Proyecto: Δ PSI	89
4.2.4.5.	DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DRENAJE (Cd)	91
4.2.4.6.	Determinación del nivel de confiabilidad (r)	93
4.2.4.7.	DETERMINACIÓN DEL VALOR DE FRACTIL DE LA LEY NORMAL CENTRADA (Z_r).....	94
4.2.4.8.	Determinación del error normal combinado (S_o)	96
4.2.4.9.	Determinación del coeficiente de transferencia de carga (J)...	97

4.2.4.10. Cálculo del Espesor de la Losa para el Pavimento (D)	100
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES	103
Bibliografía	105
ANEXOS	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Línea de Investigación Institucional/Facultad.	4
Tabla 2: Periodo de diseño según el tipo de carretera.	36
Tabla 3: Clasificación nacional de la red vial.....	36
Tabla 4: Clasificación funcional de las vías en base al TPDA 37	37
Tabla 5: CLASIFICACIÓN FUNCIONAL POR IMPORTANCIA EN LA RED VIAL... 38	38
Tabla 6: FALLAS DE PAVIMENTO RIGIDO 51	51
Tabla 7: Coordenadas de toma de muestras 61	61
Tabla 8: Registro fotográfico de extracción de núcleos en pavimentos rígidos 69	69
Tabla 9: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NUCLEOS DE HORMIGÓN ASTM C 39/ C 39M..... 73	73
Tabla 10: TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA) Tramo Dr. Teodoro Alvarado Oleas 75	75
Tabla 11: Composición del tráfico vehicular. 78	78
Tabla 12: Factor de crecimiento de un periodo de diseño 1 a 20 años. 79	79
Tabla 13: Datos para calcular un Pavimento Rígido 84	84
Tabla 14: Resultados para determinar el factor camión, n° de ESALs y Total de ESALSD (W18)..... 85	85
Tabla 15: Valores de K en Capa Granular no tratada y Capa estabilizada con cemento hidráulico. 86	86
Tabla 16: Análisis de Resultados Determinación del Parámetro K..... 87	87
Tabla 17: Análisis y Resultados del Módulo Elástico y Módulo De Rotura 88	88
Tabla 18: Serviciabilidad final P_t para tipos de caminos 89	89

Tabla 19: Resultados Índice de Serviciabilidad Inicial y Final para el Proyecto: Δ PSI	90
Tabla 20: Determinación de los coeficientes de drenaje	91
Tabla 21: Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.....	92
Tabla 22: Clasificación Funcional del nivel de confiabilidad (r).....	93
Tabla 23: Resultados del nivel de confiabilidad (r)	93
Tabla 24: Determinación del Valor de Fractil de la Ley Normal Centrada (Z_r).....	94
Tabla 25: Resultados del Valor De Fractil De La Ley Normal Centrada (Z_r)	95
Tabla 26: Error normal combinado (S_o) en proyectos de pavimentos	96
Tabla 27: Resultados del Error normal combinado (S_o).....	96
Tabla 28: Determinación del coeficiente de transferencia de carga (J)	97
Tabla 29: Resultados Determinación del coeficiente de transferencia de carga (J). ..	98
Tabla 30: Dowels - Beneficios y Aplicaciones	99
Tabla 31: Resultados de los datos obtenidos del pavimento.....	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Tipos de pavimento.....	7
Ilustración 2: Corte transversal	8
Ilustración 3: Desarrollo natural de fisuras	8
Ilustración 4: Componentes principales del sistema.....	9
Ilustración 5: Pavimento Rígido.....	10
Ilustración 6: Reparación de fisura pavimento.....	40
Ilustración 7: Estructura del Pavimento rígido permeable.	44
Ilustración 8: Capas que conforman el pavimento rígido	46
<i>Ilustración 9: Estructura de pavimento rígido nuevo en el MEPDG</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 10: Tipos de fallas en el Pavimento Rígido</i>	<i>50</i>
Ilustración 11: Levantamiento de paños agrietados	53
Ilustración 12: Transferencia de carga en pavimentos rígido.	55
Ilustración 13: Ubicación geográfica de la zona de estudio	62
Ilustración 14: Perforación de un agujero en la estructura del pavimento.....	63
Ilustración 15: Ensayo de compresión	64
Ilustración 16: Núcleo 1 después del ensayo a compresión	66
Ilustración 17: Vista superior del núcleo 1 después del ensayo a tracción directa...	66
Ilustración 18: Colocación de las muestras en piscina	67
Ilustración 19: Testigos envueltos en fundas.....	67
Ilustración 20: Testigo sumergido en una piscina.....	68

Ilustración 21: Vista lateral del núcleo 2.....	71
Ilustración 22: Vista superior del núcleo 2.....	71
Ilustración 23: Vista frontal del núcleo 2.....	72
Ilustración 24: Gráfica factor de crecimiento de un periodo de diseño de 1 a 20 años.	80

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1: Compactación y preparado de terreno antes de fundir	113
Anexos 2: Desalojo de materiales	114
Anexos 3: Utilización de DOWEL para el pavimento a fundir	115
Anexos 4: Compactado de suelo previo al mejoramiento de terreno	116
Anexos 5: Limitación del área de trabajo.....	117
Anexos 6: Vaciado de hormigón en el terreno con instalación de Dowels. .	118
Anexos 7: Levantamiento y desalojo de paños afectados.	119
Anexos 8: Traslado de material pétreos	120

INTRODUCCIÓN

El agrietamiento en pavimentos representa un desafío significativo en la ingeniería de carreteras, impactando tanto la durabilidad como la seguridad de las infraestructuras viales. Este fenómeno, que abarca una variedad de tipos de grietas, el desgaste y deterioro de las estructuras es el producto de una combinación de influencias múltiples, incluyendo el impacto de vehículos, las variaciones climáticas y las características intrínsecas de los materiales empleados en su construcción

La comprensión de estos factores es crucial para elaborar estrategias de diseño, construcción y mantenimiento eficaces que reduzcan la formación de grietas y prolonguen la vida útil de las carreteras. El agrietamiento del pavimento no solo afecta la integridad estructural de las carreteras, sino que también tiene implicaciones económicas y medioambientales.

Los costos asociados con la reparación y mantenimiento de carreteras agrietadas son significativos, la extracción de materiales y la producción de residuos asociados a estas reparaciones tienen consecuencias ambientales alarmantes. Por lo tanto, abordar de manera efectiva el agrietamiento del pavimento no solo mejora la calidad de la infraestructura vial, sino que también contribuye a la sostenibilidad y eficiencia en el uso de recursos.

Esta investigación se centra en la evaluación del pavimento rígido de la calle Dr. Teodoro Alvarado Oleas mediante la extracción y análisis de núcleos. Este método permite obtener muestras representativas del concreto que componen el pavimento, con el fin de determinar sus características físicas, mecánicas y de composición, y así evaluar su estado actual y antiguo pavimento.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1. Tema:

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN POR MEDIO DE NÚCLEOS DEL PAVIMENTO RÍGIDO DE LA CALLE DR. TEODORO ALVARADO OLEAS

1.2. Planteamiento del Problema:

El pavimento rígido desempeña un papel crucial en la infraestructura vial, proporcionando una superficie resistente y duradera para el tráfico vehicular. Sin embargo, uno de los desafíos más recurrentes es la formación de grietas en el pavimento, lo que puede comprometer su integridad estructural y afectar la seguridad vial. Estas grietas pueden originarse por diversos factores, como la carga repetitiva de vehículos, cambios climáticos extremos, y deficiencias en el diseño o la selección de materiales adecuados es fundamental para asegurar la calidad del pavimento.

Por lo tanto, los gobiernos deben mantener una red de carreteras con condiciones óptimas que contribuyan al crecimiento social, económico y turístico del país; por lo que es fundamental dotar de los mecanismos y recursos necesarios para el mantenimiento de las carreteras, ya que son el motor del desarrollo económico y social de la región.

Mantener las carreteras en buenas condiciones requiere una buena planificación, organización y recursos financieros adecuados y oportunos para su mantenimiento. Asimismo, Terán Amen y García Barzola (2022): “además de brindar seguridad y comodidad a los usuarios, se pueden evitar múltiples reparaciones y modificaciones para mantener y lograr la durabilidad del diseño”.

El agrietamiento en el pavimento rígido no solo tiene implicaciones en términos de costos de mantenimiento y reparación, sino que también puede generar inconvenientes significativos para los usuarios de las vías. Estas grietas pueden ampliarse con el tiempo, dando lugar a problemas más graves como la formación de baches y la vida útil del pavimento se ve afectada negativamente por las condiciones

climáticas desfavorables, como la congelación y descongelación del agua en las grietas, lo que provoca su deterioro prematuro, pueden acelerar el proceso de deterioro, exacerbando la necesidad de intervenciones efectivas.

En el proyecto de titulación Palacio García (2021), la reparación y mantenimiento del pavimento rígido depende de los recursos disponibles para financiarlo, las técnicas de planificación y mantenimiento económico de mecanismos; suministro de áridos y aglomerantes, equipos y personal utilizados en la construcción y mantenimiento de redes viales.

Un enfoque integral para abordar el agrietamiento en el pavimento rígido implica la identificación precisa de las causas subyacentes y la implementación de estrategias preventivas y correctivas. Esto puede incluir técnicas mejoradas de diseño estructural, la utilización de mezclas de concreto más resistentes y la aplicación de métodos de mantenimiento preventivo, como el sellado de grietas y la instalación adecuada de juntas de expansión. Un planteamiento proactivo y bien planificado es esencial para garantizar la longevidad y la funcionalidad óptima de las carreteras pavimentadas con concreto.

1.3. Formulación del Problema:

¿Cómo afectan las cargas vehiculares y las variaciones climáticas en la formación de grietas en el pavimento rígido, y que factores se implican en términos de seguridad vial?

1.4. Objetivo General

Estudio del agrietamiento en el pavimento puede ser comprender las causas fundamentales y los patrones de desarrollo de grietas en las carreteras, con el fin de proponer estrategias efectivas de diseño, construcción y mantenimiento que mejoren la durabilidad y seguridad de las infraestructuras viales.

1.5. Objetivos Específicos

- Investigar la influencia de cargas vehiculares en la deformación del pavimento rígido en la calle Dr. Teodoro Alvarado Oleas.

- Evaluar mediante la mecánica de materiales la resistencia de los núcleos del pavimento rígido para analizar los resultados obtenidos.
- Determinar el diseño óptimo para el pavimento rígido utilizado en la calle Dr. Teodoro Alvarado Oleas.

1.6. Hipótesis

Con el análisis sobre el sistema constructivo del pavimento rígido de la calle Dr. Teodoro Alvarado Oleas se optimizará los agrietamientos y los factores que causan estas fallas.

1.7. Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Tabla 1: Línea de Investigación Institucional/Facultad.

Línea de investigación		
ULVR	FIIC	Sub. Línea
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de la construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables.	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.	Territorio. Materiales de construcción.

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, (2024)

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Antecedentes

La calidad y cobertura de la infraestructura vial juega un papel crucial en el desarrollo socioeconómico del país. Mantener y ampliar la red vial es una tarea básica para mejorar la competitividad del país. La expansión implica diseñar la red vial para satisfacer las condiciones de demanda actuales y futuras, garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios. Por lo tanto, la ingeniería de pavimentos continúa evolucionando hasta el punto de incluir conceptos nuevos y avanzados en las fases de diseño, construcción y mantenimiento de estructuras de pavimento y proyectos relacionados son factores importantes para garantizar la alta calidad y durabilidad de las carreteras.

Gavilanes Pérez (2023), explica que en Ecuador: La red vial se está deteriorando debido a las condiciones del deterioro del pavimento es resultado de la interacción de varios factores, como la calidad del suelo de base, la omisión de mantenimiento regular, y la ampliación o remodelación física deficiente, y un paisaje único propenso a terremotos, deslizamientos de tierra y fallas del terreno afectan diversos proyectos ambientales, por lo que se deben realizar evaluaciones periódicamente para formular planes de gestión adecuados.

En general, la mayor parte del mantenimiento de las vías urbanas se realiza sin una planificación adecuada porque gran parte de la reparación en áreas urbanizadas está impulsada empíricamente por la incomodidad y la urgencia del usuario, creando impacto negativo a medida que las condiciones continúan deteriorándose, lo que genera costes financieros más elevados y mayores costes para la administración pública y los usuarios.

Zea y Escalante (2024), realizaron pruebas de laboratorio investigando sobre la mejora de las propiedades mecánicas del pavimento rígido mediante la incorporación de distintas cantidades de fibras metálicas. Los resultados obtenidos

muestran que la adición de fibras metálicas aumenta significativamente la durabilidad y tenacidad de los pavimentos, lo que sugiere que es una estrategia adecuada, con el fin de optimizar el comportamiento estructural de los pavimentos.

Se destaca la importancia de lograr un equilibrio óptimo en la carga de fibra para potenciar los beneficios sin comprometer la procesabilidad y la adhesión, y la relevancia de incluir estas fibras en la mezcla, enfatizó la necesidad de considerar cuidadosamente si los mayores costos asociados están justificados por el costo-beneficios técnicos asociados.

Martínez Quinto y Osorio Guerra (2023), Indica que el presente trabajo de investigación abarca la elaboración de mezclas convencionales de pavimentos rígidos con la incorporación de cáscara de coco en distintas proporciones y alternativos, con el objetivo de lograr mayores desempeños en resistencia mecánica manteniendo una tasa de adición óptima a diseñar. Al mismo tiempo, reduce el impacto ambiental, reduce los costes de construcción, mejora la firmeza y la capacidad de soporte de la losa de hormigón ante cargas vehiculares, alargando así la vida útil del pavimento.

Palacio Garcia (2021), Durante su vida útil, los pavimentos duros frecuentemente están sujetos a ciclos de daño y desgaste. Esto se debe a los efectos físicos, químicos y ambientales asociados con su uso. Se determinó y clasificó el grado de deterioro del pavimento duro. En nuestro proyecto principal, teniendo en cuenta la restauración y mayor durabilidad de la vía, propusimos el uso de tecnología de hormigón chorreado para su restauración y mantenimiento.

Cerón Calderón (2023), El uso de fibras de refuerzo de PET en hormigón armado para la producción de estructuras de pavimento rígido representa un aporte significativo al reciclaje en comparación con el campo de las obras de infraestructura, como la carretera Transmilenio, lo que produce una gran acumulación de desechos plásticos.

2.1.2. Marco Conceptual

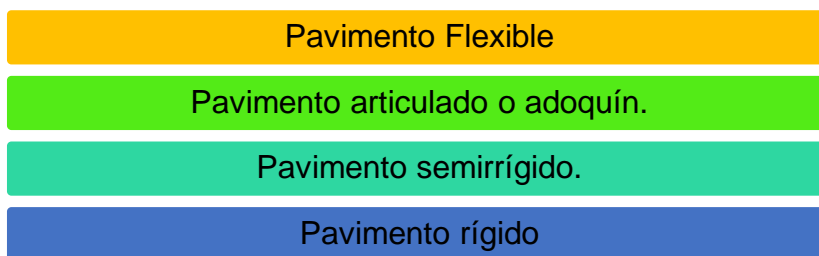
El pavimento en relación con los requisitos de cargas específicas, resistencia, durabilidad y apariencia, los pavimentos de edificios modernos suelen ser construidos con materiales como hormigón, asfalto, adoquines, losetas cerámicas o incluso

materiales compuestos avanzados. Los pavimentos pueden tener características adicionales, como drenaje superficial, señalización vial y adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y ambientales, además de su función estructural.

En los últimos años, ha ganado fuerza la tendencia hacia pavimentos ecológicos y respetuosos con el entorno. Destacan iniciativas como la fabricación de pavimentos que fusionan asfalto con polvo de caucho reciclado de neumáticos, y el empleo de "noxer", un material innovador que reduce la contaminación al absorber la energía de los gases de escape de los vehículos.

Ilustración 1: Tipos de pavimento

TIPOS DE PAVIMENTOS



Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

2.1.3. Pavimento rígido.

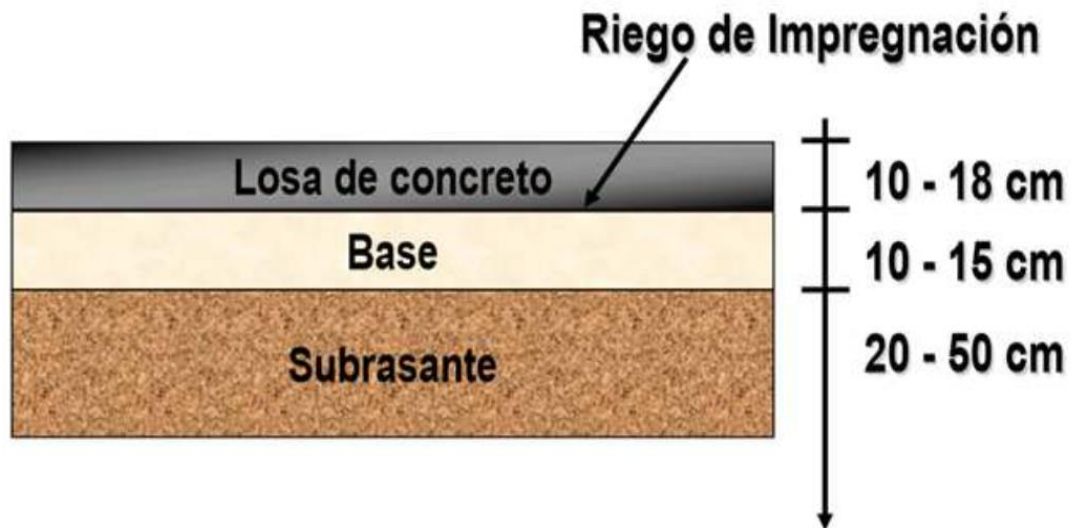
En proyecto de tesis Palacio Garcia (2021), define que “En un pavimento rígido, debido a la homogeneidad de la superficie de rodadura, existe una buena distribución de cargas, resultando en tensiones muy bajas en la base. La situación contraria ocurre en los pavimentos flexibles, donde la superficie de rodadura es menos rígida y se deforma más, generando mayores cargas sobre la plataforma”.

La losa de hormigón es el componente principal de esta estructura, que descansa sobre la base de la vía y ofrece rigidez para absorber tensiones y resistir flexiones. Además, soporta las tensiones de tracción en áreas críticas de la base. La capacidad de carga depende de la resistencia de la losa superior, lo que minimiza su impacto en los niveles inferiores. Este tipo de superficie mejora el drenaje y potencia la capacidad de carga del terreno.

2.1.4. Tipos de Pavimentos rígidos

- Pavimento plano de hormigón articulado.
- Pavimento de hormigón armado articulado.
- Pavimento continuo de hormigón armado
- Pavimento de hormigón pretensado

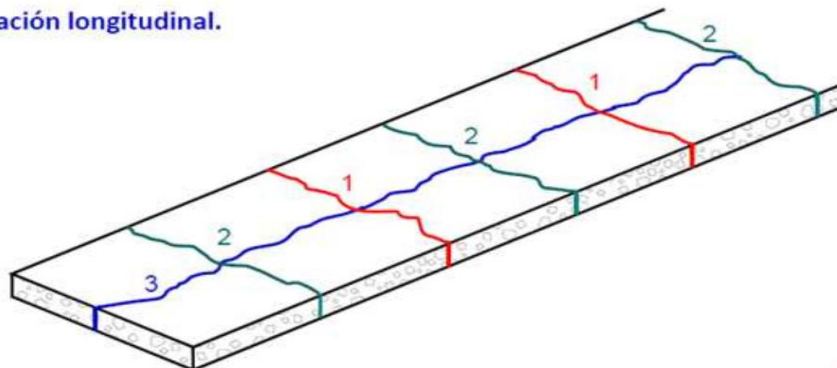
Ilustración 2: Corte transversal



Fuente: Giordani y Leone, (2018)

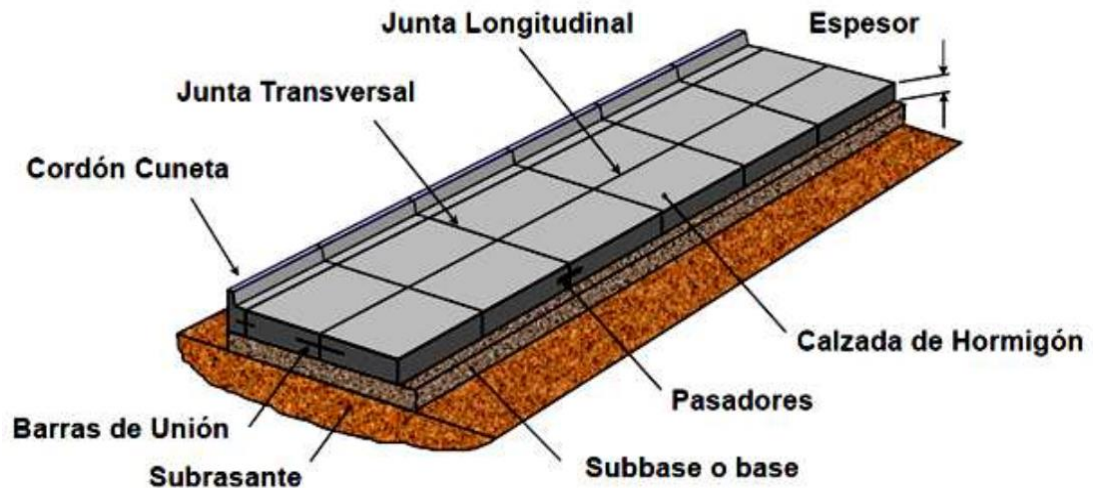
Ilustración 3: Desarrollo natural de fisuras

1. Fisuración inicial (transversal)
2. Fisuración intermedia (transversal).
3. Fisuración longitudinal.



Fuente: Giordani y Leone, (2018)

Ilustración 4: Componentes principales del sistema



Fuente: Giordani y Leone, (2018).

2.1.5. Características de los pavimentos rígidos

- **Concreto o cemento:** El pavimento rígido está compuesto primordialmente de concreto de alta resistencia o cemento, lo que le otorga su rigidez característica y capacidad para tolerar considerables cargas sin padecer deformaciones significativas. Este material brinda una base sólida y estable (Llerena Torrejón y Ticlla Sánchez, 2020).
- **Placas de concreto:** “Se construyen mediante el vertido y curado de placas de concreto que luego se acoplan entre sí, ya sea mediante encajes o a través de barras de transmisión de carga, para formar una superficie continua y uniforme” (Vela Ruiz y Zegarra García, 2019).
- **Mayor durabilidad:** “Los pavimentos rígidos suelen tener una vida útil mayor en comparación con los pavimentos flexibles, debido principalmente a su resistencia al desgaste, al agrietamiento y a los efectos del clima” (Paredes y Silva, 2024).

A la larga, esta durabilidad los ha convertido en una opción financieramente posible, particularmente en zonas de alta circulación o con cargas pesadas.

- **Menor deformación bajo carga:** “Al circular sobre un pavimento rígido, la deformación elástica es prácticamente nula, gracias a la alta

rigidez del concreto que facilita una distribución óptima de las cargas en la estructura del pavimento” (Paredes y Silva, 2024).

Como resultado, las aceras rígidas no tienen que ser tan gruesas como las aceras flexibles que pueden reflejar los ahorros de materiales y costos de construcción.

Ilustración 5: Pavimento Rígido



Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

2.1.6. Clasificación del pavimento rígido

✓ Por composición del material:

- **Hormigón simple:** Este pavimento se caracteriza por tener una sola capa de hormigón colocada sobre una base debidamente preparada.

Según Cardoza-Zambrano, Palomino Cadena, y Angulo-Blanquissett (2019) “se refiere a un material compuesto básico compuesto de cemento, agregados (como arena y grava) y agua. Carece de cualquier tipo de refuerzo o aditivo, lo que hace que su composición y aplicación en la construcción sea sencilla”.

- **Hormigón reforzado:** Incluye refuerzos de acero (generalmente mallas o barras de refuerzo) para aumentar la resistencia a las tensiones y

controlar las fisuras. Toribio Huamani y Ugaz Arenas (2021) en su trabajo de titulación describe que:

En la actualidad, el concreto es material de construcción preferido gracias a su resistencia a la compresión (RC), pero en el ámbito de los pavimentos rígidos, su resistencia a la tracción (RT) es insuficiente, lo que requiere un aumento en el grosor de la losa para evitar sobrepasar el módulo de rotura (MR).

- **Hormigón pretensado:** Se utiliza con cables o varillas de acero que se tensan antes de verter el hormigón, creando una estructura más resistente y capaz de soportar cargas más pesadas.

2.1.6.1. Pavimento de Concreto Simple (PCC)

El pavimento rígido de concreto simple (PCC) se usa con frecuencia en infraestructuras de carreteras y otros lugares donde se requiere una superficie duradera y resistente. Este pavimento se caracteriza por tener una capa única de hormigón colocada directamente sobre una base adecuadamente preparada. No se utilizan refuerzos de acero como en los pavimentos reforzados o pretensados.

Caballero Livia (2018):

El concreto simple supera a las losas de concreto convencional en términos de resistencia y durabilidad, gracias a la inclusión de fibras distribuidas tridimensionalmente en todo el volumen del material, lo que mejora su capacidad para resistir cargas y esfuerzos a lo largo del tiempo.

➤ Características principales del Pavimento de Concreto Simple (PCC):

- **Composición:**

Está compuesto únicamente por una losa de hormigón, sin la inclusión de refuerzos metálicos.

- **Estructura:**

La losa de hormigón se vierte directamente sobre una sub-base y base compactada adecuadamente, asegurando una superficie uniforme y resistente.

- **Resistencia y durabilidad:**

Aunque no tiene refuerzo de acero, el PCC es capaz de soportar cargas considerables y proporciona una larga vida útil debido a la resistencia inherente del hormigón.

- **Control de fisuras:**

El control de fisuras en el PCC se logra mediante la colocación de juntas de contracción, que permiten que el hormigón se contraiga y expanda sin causar fisuras significativas.

- **Mantenimiento:**

Generalmente requiere menos mantenimiento en comparación con otros tipos de pavimentos, aunque las juntas de contracción deben ser monitoreadas y mantenidas periódicamente para garantizar un rendimiento óptimo.

- **Aplicaciones típicas:**

Se utiliza ampliamente en carreteras secundarias, urbanizaciones, calles residenciales y otros espacios donde se necesita una superficie durable y resistente al tráfico ligero y medio.

2.1.6.2. Pavimento de Concreto Reforzado Continuo (CRCP)

Estos pavimentos se diseñan sin juntas de contracción, ya que el refuerzo incorporado puede adaptarse a todas las deformaciones, especialmente las causadas por cambios de temperatura. El refuerzo longitudinal de acero es el elemento principal, extendido a lo largo de toda la longitud del pavimento, y en algunos casos, no se requiere refuerzo transversal adicional (Pozo Olvera, 2022, p. 22).

- **Características del Pavimento de Concreto Reforzado Continuo (CRCP):**

- **Refuerzo continuo:**

A diferencia del Pavimento de Concreto Simple (PCC), el CRCP incorpora refuerzo de acero continuo a lo largo de toda la losa de hormigón. Este refuerzo ayuda a controlar las fisuras y proporciona una mayor resistencia a las tensiones causadas por cargas de tráfico y variaciones térmicas.

- **Ausencia de juntas transversales:**

La ausencia de juntas transversales en este tipo de pavimento de concreto minimiza la necesidad de mantenimiento para tratar fisuras y deformaciones en la superficie, en comparación con otros tipos de pavimentos.

Navarro Perez (2020): “Tiene armaduras de acero continuo longitudinal y no tienen juntas transversales, excepto juntas de construcción, la armadura transversal es opcional. El objetivo de las armaduras es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que estas permanezcan cerradas” (p. 17).

- **Control de fisuración:**

Las fisuras en el CRCP son mínimas y están controladas principalmente por el refuerzo de acero continuo. Esto asegura que la superficie se mantenga lisa y uniforme durante períodos prolongados.

“Una armadura de acero de múltiples cuantías controla las tensiones al pavimento, se espera controlar las fallas de fisuras, que se encuentran a lo largo de la carpeta de rodadura con distancias que oscilan entre 0.6 y 2.0m” (Vasquez Lazo, 2022).

- **Capacidad de carga y durabilidad:**

Debido a su diseño con refuerzo continuo, el CRCP es capaz de soportar cargas pesadas y tráfico intenso de manera efectiva, manteniendo su integridad estructural a lo largo del tiempo.

- **Aplicaciones típicas:**

Se utiliza comúnmente en autopistas y carreteras principales donde se espera un alto volumen de tráfico y se requiere una mínima interrupción por mantenimiento. También es adecuado para aeropuertos y otras infraestructuras críticas.

- **Ventajas adicionales:**

En comparación con otros pavimentos, este tipo ofrece una vida útil más extensa, reduciendo los costos asociados con el cuidado y la modernización a lo largo de su ciclo de vida.

2.1.6.3. Pavimento de Concreto Reforzado con Juntas (JRCP)

Estos pavimentos están compuestos por concreto reforzado con barras de acero dispuestas longitudinalmente y se construyen sin juntas transversales de contracción. Es fundamental realizar un seguimiento detallado de la distancia y el ancho de las grietas, así como de los niveles de esfuerzo en el acero, para mantenerlos dentro de parámetros específicos y asegurar un desempeño óptimo del pavimento (Guayanlema Sinaluisa y Ruiz Huaraca, 2024, p. 17).

Es decir, el pavimento de concreto reforzado con juntas, es una variante común de pavimento rígido que utiliza refuerzo de acero. Las juntas de contracción y expansión se incorporan estratégicamente para reducir las fisuras. Las características principales del JRCP son:

Características del Pavimento de Concreto Reforzado con Juntas (JRCP):

- **Refuerzo de acero y juntas:**

Al igual que el CRCP, el JRCP utiliza refuerzo de acero para controlar las fisuras causadas por las tensiones de contracción y expansión del hormigón debido a variaciones térmicas y cargas de tráfico. Sin embargo, a diferencia del CRCP, el JRCP incorpora juntas de contracción y expansión.

“Se refuerza con mallas de acero el concreto que ira colocada como carpeta de rodadura, así permite que las juntas trasversales de contracción lleguen a estar separadas a distancias entre 7.5 y 9.0 m” (Vasquez Lazo, 2022).

- **Juntas de contracción y expansión:**

Las juntas se colocan estratégicamente a intervalos regulares a lo largo del pavimento para permitir que el concreto se expanda y contraiga sin desarrollar fisuras significativas. Estas juntas también facilitan la gestión del movimiento térmico y estructural del pavimento.

- **Control de fisuración:**

Las fisuras en el JRCP se controlan y limitan principalmente a las áreas cercanas a las juntas, lo que ayuda a mantener la integridad estructural y la superficie uniforme del pavimento.

- **Capacidad de carga y durabilidad:**

El refuerzo de acero y el diseño con juntas hacen que el JRCP sea capaz de soportar cargas pesadas y tráfico intenso, proporcionando una larga vida útil con mantenimiento adecuado.

- **Aplicaciones típicas:**

Se utiliza ampliamente en carreteras y autopistas donde se espera un alto volumen de tráfico y se requiere un buen rendimiento bajo condiciones climáticas variables. También es común en aeropuertos y otras infraestructuras críticas.

- **Ventajas adicionales:**

Ofrece una buena combinación de resistencia estructural y capacidad de control de fisuras, reduciendo la necesidad de mantenimiento y prolongando la vida útil del pavimento en comparación con otras opciones menos robustas.

2.1.6.4. Pavimento de Concreto Postensado

El pavimento de concreto postensado es una tecnología avanzada en la construcción de carreteras y pistas de aeropuerto que proporciona servicios representativos condiciones de durabilidad y resistencia. A diferencia del concreto convencional, en el concreto postensado, se incorporan elementos de acero que se estiran una vez que el concreto ha alcanzado su resistencia. Este proceso permite

crear una estructura más resistente al controlar las fisuras y Fortalecer la estructura del pavimento para aumentar su capacidad de carga.

“Implica la introducción de una serie de acero anclado en el interior de un macizo rocoso. Estos anclajes emplean con frecuencia cables de acero, los cuales se introducen en aberturas antes perforadas e inyectadas, siendo, después, sometidos a tensión mediante un gato hidráulico en la superficie” (Rivera Hernández y Viteri Toscano, 2023).

La principal ventaja de los pavimentos de hormigón pretensado es su capacidad para soportar cargas pesadas y soportar los efectos del tráfico intenso durante mucho tiempo sin un mantenimiento constante. La tecnología de postensado comprime el hormigón, reduciendo así el agrietamiento y prolongando su vida útil. Esto lo hace ideal para infraestructuras donde la durabilidad y una interrupción mínima del mantenimiento son fundamentales, lo que garantiza una inversión a largo plazo en infraestructura vial de alta calidad.

2.1.6.5. Pavimento de Concreto Pretensado

“Este tipo de pavimento rígido se compone de una capa de concreto pretensado, que se refuerza con tendones de acero que se tensan antes de colocar el concreto. Esto aumenta la resistencia del pavimento y reduce las grietas y deformaciones” (Vargas G. y Villegas, 2023).

El pavimento de hormigón pretensado es una tecnología avanzada utilizada en la construcción de carreteras y otras infraestructuras que ofrece muchas ventajas significativas en términos de durabilidad y resistencia estructural. En este método de construcción, las barras de acero se colocan en un orden específico y se tensan mediante sistemas hidráulicos antes de verter el hormigón. Luego se vierte hormigón alrededor de estos tendones de tensión, lo que alivia las tensiones y crea fuerzas de compresión sobre el hormigón. Este proceso aumenta notablemente la resistencia del recubrimiento para soportar cargas intensas y minimiza la formación de grietas.

Las principales ventajas de los pavimentos de hormigón pretensado son su alta resistencia inicial y su capacidad para soportar cargas pesadas desde el momento de la construcción. La tecnología de pretensado puede controlar el agrietamiento y

mejorar la durabilidad de los pavimentos, extendiendo así la vida útil y reduciendo los costos de mantenimiento. Esto lo hace particularmente adecuado para autopistas de alto tráfico, pistas de aeropuertos y otras estructuras que requieren una durabilidad superior y una interrupción mínima del mantenimiento.

2.1.6.6. Pavimento de Concreto con Juntas Serradas

El pavimento de hormigón en zigzag es una técnica común utilizada en la construcción de carreteras y pavimentos que tiene como objetivo controlar el agrietamiento mediante la creación de juntas de contracción o expansión planificadas y cuidadosamente ejecutadas. Estas juntas se crean cortando el hormigón a intervalos establecidos después de que se haya endurecido inicialmente, utilizando una sierra especializada para realizar cortes precisos y uniformes.

Los pavimentos de hormigón armado son adecuados para una variedad de aplicaciones, incluidas autopistas de alto tráfico, áreas industriales y aeropuertos, donde se requiere una fuerte resistencia estructural y un pavimento duradero. Además, este tipo de recubrimiento facilita el mantenimiento y reparación, ya que permite sustituir o reparar piezas específicas afectadas por daños o desgaste sin afectar negativamente al resto de la superficie.

2.1.6.7. Pavimento de Concreto Reforzado con Fibras

La adición de fibras de vidrio o plástico al concreto de este pavimento rígido mejora significativamente su resistencia y reduce la probabilidad de formación de grietas (Vargas G. y Villegas, 2023). El pavimento de fibra hormigón es una innovación en la construcción de infraestructura vial, que aumenta significativamente la resistencia y durabilidad del hormigón.

Estas fibras pueden fabricarse de diferentes materiales como polipropileno, acero o vidrio y mezclarse uniformemente con el hormigón durante el proceso de preparación del hormigón. Esta tecnología ayuda a mitigar problemas comunes como la contracción plástica y la contracción térmica, reduciendo así la formación de grietas y fisuras en el revestimiento. Además, las fibras fortalecen la matriz del hormigón, aumentan su capacidad para soportar cargas pesadas y prolongan su vida útil.

Este tipo de pavimento no requiere refuerzo longitudinal, se debe a que las fibras de acero agregadas a la mezcla de concreto hidráulico actúan como barras de refuerzo longitudinales, reduciendo la aparición de grietas iniciales que pueden convertirse en fallas de la losa del pavimento (Ramírez Galindo, 2022).

La incorporación de fibras al hormigón también puede reducir la necesidad de mantenimiento y reparación a largo plazo, lo que genera beneficios económicos y operativos. Al aumentar la resistencia al desgaste y mejorar la estabilidad estructural, los pavimentos de hormigón armado con fibra son una opción atractiva para carreteras de alto tráfico, aeropuertos y áreas industriales que requieren una solución duradera y de bajo mantenimiento. La tecnología continúa desarrollando nuevas fibras y tecnologías híbridas para adaptarse a las diferentes condiciones climáticas y necesidades del tráfico, haciendo que las infraestructuras viarias sean más eficientes y sostenibles

2.1.6.8. Pavimento de Concreto con Superficie Texturizada

Los pavimentos de hormigón con superficie texturizada son una solución eficaz para mejorar la seguridad y la comodidad de conducción en autopistas y otras infraestructuras viarias, Beltrán Vela (2020): "Este tipo de material ofrece una amplia gama de opciones de acabado junto con enfoques estéticos modernos" (p. 28).

Este método implica modificar la superficie del concreto para crear una textura específica que puede ser rugosa o estampada para diferentes propósitos. "La importancia que tiene el concreto en el desarrollo de proyectos arquitectónicos se encuentra en que tiene un gran potencial y constantemente se presentan avances y desarrollos que ofrecen diversidad de resultado" (Beltrán Vela, 2020, p. 17).

Una de las principales ventajas de una superficie texturizada es la capacidad de aumentar el agarre entre los neumáticos del vehículo y la carretera. Esto es fundamental para reducir la incidencia de resbalones y caídas, especialmente en condiciones climáticas adversas como lluvia o nieve. La textura también ayuda a mejorar la respuesta de frenado y la estabilidad del vehículo, lo que supone una contribución importante a la seguridad vial.

2.1.7. Métodos de Caracterización

Los métodos de caracterización de pavimentos rígido incluyen una variedad de métodos que evalúan su resistencia, durabilidad y condición estructural. Estos incluyen pruebas de carga para determinar la capacidad del concreto para soportar compresiones, perfilado para medir la textura y rugosidad de la superficie, pruebas de resistencia al desgaste para evaluar la resistencia a la abrasión y técnicas de medición de deformación para evaluar la capacidad estructural midiendo la deformación bajo carga.

2.1.7.1. Métodos destructivos

Los métodos destructivos para evaluar pavimentos rígidos incluyen métodos que requieren la obtención de muestras de pavimento para análisis detallados de laboratorio. Estos métodos proporcionan información importante sobre la resistencia del hormigón y la integridad estructural del pavimento.

Realizar ensayos destructivos, tales como la extracción de núcleos para verificar la resistencia real de los elementos, cuando se tienen dudas de su cumplimiento, así que, la norma contempla el uso de ensayos no destructivos como el ultrasonido y el esclerómetro. Sin embargo, estos ensayos ayudan a establecer si una sección de la estructura contiene concreto que no cumple con los estándares de resistencia, pero estos ensayos son tomados más como mediciones cuantitativas de la resistencia, por las variaciones que pueden presentar en su ejecución (Padilla Peña y Triana, 2022).

- ✓ **Corte y Extracción de Testigos:** Se realiza el corte de muestras cilíndricas o prismáticas del pavimento utilizando sierras o equipos de perforación. Estos testigos se extraen cuidadosamente y se transportan al laboratorio para someterlos a pruebas de compresión, flexión y análisis de resistencia a la tracción.

- ✓ **Pruebas de Compresión en Muestras de Concreto:** Los testigos extraídos se someten a pruebas de resistencia a la compresión para evaluar la calidad y la resistencia del concreto. Estas pruebas son

esenciales para evaluar si el pavimento satisface los criterios de diseño y especificaciones establecidas.

- ✓ **Análisis de Contenido de Humedad y Densidad:** Se realizan pruebas de laboratorio para medir la humedad y la densidad del concreto en los testigos extraídos. Esto da a conocer información relevante sobre la calidad del pavimento y su capacidad para resistir cargas y condiciones climáticas severas.
- ✓ **Análisis de Resistencia a la Flexión y Tracción:** Se someten los testigos de concreto a cargas controladas para evaluar su capacidad para resistir la flexión y la tracción. Estas pruebas ayudan a determinar la capacidad del pavimento para soportar cargas y deformaciones bajo diferentes condiciones de carga.
- ✓ **Extracción y Análisis de Núcleos:** Se utilizan equipos de perforación para extraer núcleos cilíndricos del pavimento, los cuales se analizan en laboratorio para evaluar la calidad del concreto y detectar posibles problemas como fisuras, delaminaciones o contaminaciones.

2.1.7.2. Métodos no destructivos.

Los ensayos no destructivos son métodos de prueba que no causan daños permanentes en el material, permitiendo su análisis sin afectar sus características: físicas, químicas, mecánicas o dimensionales; es decir, implica un daño mínimo o en su defecto no causa ningún daño (Padilla Peña y Triana, 2022).

Los ensayos no destructivos utilizan una variedad de principios físicos, incluyendo el electromagnetismo, la propagación del sonido, las ondas elásticas, la emisión de partículas subatómicas, los efectos capilares y la absorción, y suelen proporcionar datos menos precisos que los ensayos destructivos (Padilla Peña y Triana, 2022).

Sin embargo, generalmente es menos costoso ya que no involucra la destrucción de ningún elemento. En ocasiones estos ensayos solo tienen por objeto

comprobar la homogeneidad y continuidad del material que se analiza, por lo que se complementan con datos de ensayos destructivos (Padilla Peña y Triana, 2022).

Los métodos no destructivos para evaluar pavimentos duros son herramientas esenciales para la inspección y mantenimiento de carreteras y otras estructuras pavimentadas. Entre ellas se incluyen técnicas como la reflectometría de impacto, que evalúa la rigidez y la capacidad de una estructura midiendo la deformación bajo carga, y la tomografía de impedancia eléctrica, que registra cambios en la composición del hormigón y el contenido de humedad.

Otros métodos importantes son las evaluaciones de radar de penetración terrestre y los ultrasonidos, que proporcionan datos sobre la profundidad de la capa y la integridad del pavimento sin causar daños físicos. Estas tecnologías son esenciales para la planificación del mantenimiento preventivo y la gestión eficiente de la infraestructura viaria, asegurando su durabilidad y rendimiento a largo plazo.

- ✓ **Deflectometría de Impacto:** Esta técnica evalúa la rigidez del pavimento midiendo la deflexión bajo la carga de un martillo o peso caído. Proporciona información sobre la capacidad estructural y la uniformidad del pavimento.
- ✓ **Tomografía de Resistividad Eléctrica:** Utiliza la variación en la resistividad eléctrica para detectar cambios en la humedad y la composición del concreto. Es útil para identificar áreas con potencial de deterioro debido a la presencia de agua o contaminantes.
- ✓ **Radar de Penetración Terrestre (GPR):** Emplea ondas electromagnéticas para medir la profundidad de las capas del pavimento y detectar posibles irregularidades o daños estructurales, como fisuras o delaminaciones.
- ✓ **Ultrasonido:** Permite evaluar la integridad del concreto midiendo el tiempo de propagación de las ondas ultrasónicas a través del pavimento. Se utiliza para detectar defectos internos y evaluar el espesor de las capas.

2.1.8. Propiedades del pavimento rígido

2.1.8.1. Resistencia

“Los pavimentos rígidos están compuestos principalmente de concreto o cemento de alta resistencia, lo que les permite soportar cargas pesadas, incluyendo el tráfico de vehículos de carga” (Barrientos Ayma, 2021).

Suelen estar compuestos de hormigón armado y son conocidos por su alta resistencia y durabilidad, lo que los hace ideales para carreteras y estructuras que deben soportar cargas pesadas y condiciones climáticas cambiantes. La resistencia de los pavimentos rígidos se evalúa principalmente mediante ensayos de compresión y flexión.

“La resistencia a la compresión que se correlaciona con la resistencia a la tracción, la resistencia al corte, la resistencia a la flexión y otros tipos de resistencia” (Quintos Calluchi, 2020, p. 18).

Las pruebas de compresión determinan la resistencia máxima que el concreto puede soportar antes de fallar bajo carga, proporcionando datos críticos para garantizar que cumpla con las especificaciones de diseño. Los ensayos de flexión, por otro lado, miden la flexibilidad del pavimento ante cargas aplicadas y determinan su comportamiento frente a cargas dinámicas y estáticas.

2.1.8.2. Durabilidad

Estas aceras son conocidas por su larga vida útil. Si se construyen y mantienen adecuadamente, pueden durar décadas sin necesidad de una reconstrucción completa (Requejo Díaz y Villanueva López, 2021). Es decir, que es fundamental para su rendimiento a largo plazo y su capacidad para resistir el desgaste causado por el tráfico de vehículos, el clima y otros factores ambientales.

El hormigón utilizado en pavimentos duros tiene la capacidad de resistir la compresión y la flexión, lo que mejora enormemente su durabilidad. Además, un diseño y una construcción adecuados, incluida la compactación adecuada de los cimientos, el espesor adecuado de las losas de hormigón y la instalación adecuada de las juntas de expansión, son clave para su longevidad.

2.1.8.3. Elasticidad

La ductilidad de los pavimentos rígidos se evalúa mediante métodos como la medición de la deformación por impacto, que mide la deformación vertical bajo carga estática, proporcionando información sobre la rigidez y la capacidad de deformación del hormigón.

La capacidad del hormigón para deformarse elásticamente se mide mediante el módulo elástico, que se obtiene de la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria en probetas cilíndricas normalizadas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, a los 28 días de curado (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021).

Esta propiedad es esencial para determinar La resistencia del pavimento a las cargas cíclicas y su capacidad para soportar el tránsito vehicular sin experimentar deterioros importantes ni agrietamientos. Aunque los pavimentos rígidos no tienen la misma elasticidad que el asfalto, su cuidadosa construcción y adecuado mantenimiento aseguran una buena respuesta a las cargas y un largo periodo de servicio de la infraestructura vial.

Los espectros de respuesta elástica sirven como representaciones visuales de la demanda sísmica, mostrando la aceleración máxima, los desplazamientos o las velocidades máximas de varios sistemas estructurales dentro de un período específico de vibración y con un nivel designado de amortiguación (Flores Bolaños y Toro Jaramillo, 2024).

Para calcular los espectros de respuesta se determina la respuesta máxima de los parámetros de intensidad mencionados anteriormente. Esto se hace considerando los sistemas de péndulo elástico (S1GL) con diferentes períodos de vibración, cada uno con un grado de libertad. Luego, las respuestas de las demandas se trazan en el eje de ordenadas, mientras que los períodos se trazan en el eje de abscisas (Flores Bolaños y Toro Jaramillo, 2024).

2.1.8.4. Rigidez

Son estructuras rígidas que no se deforman significativamente bajo cargas de tráfico. Esto ayuda a distribuir uniformemente las fuerzas del tráfico a lo largo de la vía (Quintos Calluchi, 2020).

2.1.8.5. Cohesiones

En pavimentos rígidos, la cohesión del hormigón es fundamental para asegurar la integridad estructural en el tiempo. Una buena cohesión garantiza que el hormigón sea menos susceptible a agrietarse o desconcharse, lo cual es esencial para que las superficies de servicio sean seguras y funcionales. Los factores que afectan la adhesión incluyen la calidad del concreto utilizado, la mezcla y el mantenimiento adecuados durante la construcción y la preparación adecuada del sustrato para el revestimiento.

La capacidad de un material cementante para unir los agregados inertes y formar una masa sólida se debe a sus propiedades de adhesión y cohesión, que garantizan su durabilidad y resistencia. El cemento no solo incluye al cemento, también materiales limos, asfaltos y alquitranes, que usan para vías y otros. Para la elaboración de concreto estructural que utilizan únicamente los conocidos cementos hidráulicos (Barrera Bello, 2022).

2.1.8.6. Distribución de agregados

La distribución de agregados para pavimentos duros es un proceso crítico que afecta directamente la calidad y el desempeño del concreto utilizado. Esta división se refiere a la correcta colocación de piedras como grava, arena y grava en la mezcla de concreto.

“El volumen de concreto se compone principalmente de agregados y, para crear un material de alta resistencia, es crucial elegir cuidadosamente agregados finos y gruesos que posean calidad y características que se alineen con las especificaciones del concreto de alta resistencia” (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021).

“Los agregados juegan un papel crucial al brindar resistencia al concreto, además de impactar el proceso de mezclado y fraguado, los costos de producción final y la colocación del material” (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021).

Granulometría

“Para determinar la distribución de tamaño de las partículas en los agregados se utiliza un método de tamizado de partículas a través de una serie de tamices dispuestos en orden descendente” (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021).

“La clasificación y el tamaño máximo de agregado juegan un papel importante en la determinación de las proporciones de agregado y afectan los requisitos de agua y cemento, trabajabilidad, bombeabilidad, economía, porosidad, contracción y resistencia del concreto” (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021).

Módulo de finura

Valor representativo de la granulometría de un determinado agregado, este valor indica el tamaño medio de las partículas que componen un agregado. (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021).

Tamaño Máximo

“El tamaño máximo del material mínimo se determina determinando su tamaño de partícula al pasarlo por el tamiz de mayor apertura. El tamaño máximo es el valor del tamiz por el que pasa el 100% del árido, es decir que no retiene el material” (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021).

Tamaño Nominal Máximo

El tamaño nominal máximo del árido se puede definir como el valor de la abertura de malla por la que pasa la mayor parte del árido y queda sólo entre un 5% y un 15%. El valor del tamaño nominal máximo se determina mediante ensayos granulométricos, este parámetro da las características de tamaño promedio de nuestro agregado y afecta el diseño de la mezcla (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021, p. 9).

Masa Unitaria

Se refiere a la relación entre la masa de un agregado y el volumen total ocupado por sus partículas, incluyendo los espacios vacíos y poros entre ellas (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021).

Masa Unitaria Suelto

La masa unitaria suelta se determina para el agregado grueso y fino en función de su tamaño nominal máximo. Se llena un recipiente metálico con el agregado de forma suelta, sin compactar, y se pesa para calcular el peso del recipiente, el agregado y los espacios vacíos. (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021).

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

M: masa unitaria suelta

T: masa del molde

G: masa del árido más el molde

V: volumen del molde

Masa Unitaria Compactada

El proceso es similar a la anterior masa unitaria, ya que se coloca el agregado en tres capas en el mismo recipiente, se compacta cada capa con 25 golpes de varilla, y se completa el procedimiento con las tres capas, finalmente se pesa y se registran los valores para calcular la masa unitaria utilizando la ecuación correspondiente, ecuación del ítem anterior (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021, p. 12).

Peso Específico

“La relación entre la masa de un material mineral y el volumen ocupado por esa masa, excluidos los huecos” (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021).

Fórmula para el agregado fino:

$$P (SSS) = \frac{m(sss)}{B + m(sss) - C}$$

P (SSS): peso específico en estado saturado superficialmente seco (g/cm³). 11

m(SSS): masa de la muestra en estado saturado superficialmente seco (g).

B: masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración (g).

C: masa del picnómetro con la muestra y lleno con agua hasta la marca de calibración (g).

Fórmula para el agregado grueso:

$$P (SSS) = \frac{m(sss)}{m(sss) - Cr}$$

P (SSS): peso específico en estado saturado superficialmente seco, (g/cm³)

m(SSS): masa en aire de la muestra en estado saturado superficialmente seco, (g)

Cr: masa sumergida en agua, de la muestra saturada, (g).

Capacidad de Absorción

“La relación entre la masa de un material mineral y el volumen ocupado por esa masa, excluidos los huecos” (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021).

$$CA (\%) = \frac{(Ma - Mh)}{Mh} \times 100$$

CA (%): capacidad de absorción expresada en porcentaje.

Ma: masa de agregado es estado saturado superficie seca (g).

Mh: masa seca al horno (g).

Contenido de Humedad

Este es el porcentaje de agua en el agregado cuando se mezcla. Este cálculo se realiza para determinar variaciones en el agua de mezclado, controlar con mayor precisión la relación agua/cemento y mantenerla constante (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021, p. 12).

$$CH (\%) = \frac{(Ms - Mh)}{Mh} \times 100$$

CH (%): contenido de humedad expresada en porcentaje.

Ms: masa de agregado es estado natural (g).

Mh: masa secada al horno (g).

Abrasión

Permite determinar el desgaste de las partículas que componen el agregado grueso, específicamente para partículas con un tamaño superior a 19 mm (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021).

La fórmula para determinar el ensayo de abrasión:

$$D = \frac{(B - C)}{B} \times 100$$

D= valor de degradación, en porcentaje.

B= masa inicial de la muestra de ensayo

C= masa de la muestra retenida en el tamiz de 1,70 mm, después del ensayo.

“Los agregados con fuertes propiedades abrasivas pueden afectar la resistencia de las estructuras de concreto debido al aumento en el tamaño de los gránulos debido a la abrasión” (Mancheno Guallichico y Salazar Pozo, 2021).

En conclusión, la distribución de agregados da una distribución equilibrada y uniforme ayuda a prevenir problemas como la segregación y garantiza que el hormigón mantenga su integridad estructural cuando se expone a cargas de tráfico y condiciones ambientales cambiantes, tales como:

- ✓ **Resistencia Mecánica:** La correcta distribución de agregados asegura una mezcla homogénea que proporciona la resistencia necesaria para soportar las cargas vehiculares y resistir las tensiones de compresión y flexión a las que está expuesto el pavimento.
- ✓ **Durabilidad:** Una distribución adecuada de agregados ayuda a minimizar la segregación durante el proceso de colocación y compactación, lo cual es crucial para evitar la formación de vacíos o áreas débiles que podrían

comprometer la durabilidad del concreto frente a la humedad, el desgaste y la abrasión.

- ✓ **Trabajabilidad:** La distribución correcta de los agregados facilita la colocación y el acabado del concreto durante la construcción del pavimento, asegurando una superficie de rodadura uniforme y libre de defectos.

- ✓ **Economía y Sostenibilidad:** Optimizar la distribución de agregados puede contribuir a una reducción en el uso de cemento y mejorar la eficiencia en el uso de materiales, lo cual no solo beneficia económicamente, sino que también tiene un impacto positivo en la sostenibilidad ambiental del proyecto.

2.1.9. Estado del Arte

Se han producido importantes avances en las últimas tecnologías para la caracterización y análisis de pavimentos rígidos, mejorando la precisión y eficiencia de las evaluaciones estructurales básicas de las infraestructuras viarias. Uno de los avances más notables es el uso generalizado de tecnologías no destructivas como la tomografía de resistividad eléctrica y el radar de penetración terrestre (GPR), que permiten realizar evaluaciones detalladas sin interrumpir las operaciones normales en las carreteras. Estas tecnologías brindan información crítica sobre la profundidad de la capa, la detección de grietas internas y la condición general del pavimento para ayudar a tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y la reparación.

Además, la combinación de técnicas avanzadas de modelado computacional y simulación ha revolucionado la capacidad de predecir el comportamiento futuro de los pavimentos rígidos. Los modelos numéricos pueden simular diferentes escenarios de carga, cambio climático y desgaste a lo largo del tiempo, lo que ayuda a los ingenieros a diseñar estructuras más flexibles y duraderas. Estos modelos también pueden optimizar el diseño de mezclas de concreto y los métodos de construcción para aumentar la resistencia y la vida útil del pavimento.

En resumen, las innovaciones recientes en la caracterización y análisis de pavimentos rígidos han avanzado hacia técnicas no destructivas más sofisticadas, modelos computacionales predictivos y nuevas tecnologías como los pavimentos

inteligentes. Estos avances están cambiando la forma en que se diseñan, construyen y mantienen las carreteras asfaltadas, contribuyendo a la sostenibilidad, seguridad y eficiencia de la infraestructura vial moderna.

2.1.10. Normativas y Estándares

Las normativas y estándares aplicables al análisis y caracterización de pavimentos rígidos son fundamentales para asegurar la calidad, la seguridad y la durabilidad de las infraestructuras viales. Algunas de las normativas más reconocidas a nivel internacional incluyen:

2.1.10.1. Normas ASTM (American Society for Testing and Materials):

- ✓ ASTM D6433: Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys.
- ✓ ASTM D5882: Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations.
- ✓ ASTM D6951: Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications.

2.1.10.2. Normas AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials):

- ✓ AASHTO TP62: Standard Method of Test for Determining the Structural Number of Flexible Pavements.
- ✓ AASHTO T277: Standard Method of Test for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration.

2.1.10.3. Normas EN (European Norms):

- ✓ EN 12697: Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt.
- ✓ EN 14679: Road and airfield surface characteristics - Test methods - Part 7: Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch technique.

2.1.11. Mecanismo de agrietamiento

El mecanismo de agrietamiento es un fenómeno complejo influenciado por varios factores interrelacionados. Además, los aspectos mencionados anteriormente, como la carga de tráfico y la expansión térmica, la calidad de los materiales empleados en la construcción de carreteras es fundamental. La elección incorrecta de la mezcla asfáltica o de hormigón y la falta de adherencia entre las capas pueden contribuir significativamente a la formación de grietas.

El módulo de rotura del concreto es un parámetro fundamental para controlar el agrietamiento por fatiga en pavimentos sometidos a cargas repetitivas de tráfico pesado, y es un dato esencial para el diseño de pavimentos rígidos (Vásquez Agip , 2020, p. 47).

La falta de sistemas de drenaje eficaces también puede agravar el problema, ya que el agua puede acumularse debajo del pavimento, debilitando la estructura con el tiempo. Comprender estos mecanismos es fundamental para implementar estrategias de diseño y mantenimiento para reducir el riesgo de agrietamiento y mejorar la durabilidad del pavimento.

Aunque es imposible prevenir completamente la entrada de agua en la estructura del pavimento, es esencial implementar un sistema de drenaje subterráneo para evacuar rápidamente el agua acumulada. Actualmente se utilizan sub-bases y canalones laterales altamente permeables para drenar rápidamente el agua (Vásquez Agip , 2020, p. 48).

2.1.12. Análisis del Ciclo de Vida de Pavimentos

Debido a la creciente crítica pública actual a los procesos industriales altamente contaminantes, los proyectos de pavimentación requieren una evaluación cuidadosa del ciclo de vida de los materiales para asegurar su rendimiento y longevidad, lo que permite a algunos investigadores analizar algunas de las formas en que estos procesos generan costos ambientales.

A partir de ahí, comience a crear un análisis del ciclo de vida (ACV) para considerar cómo cada paso de un proceso industrial afecta al planeta. Esto abarca

desde la extracción inicial del material hasta la consecución de la vida útil de las carreteras. Etapas fundamentales del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de un proceso o material se definen a los siguientes (Zapata et al., 2021) .

- Definición de alcances y objetivos: Establecer claramente lo que se busca lograr con el estudio y los límites del análisis (Zapata et al., 2021).
- Inventario del ciclo de vida: Recopilar y registrar todos los datos relevantes sobre las entradas y salidas de materiales, energía y recursos asociados con el proceso o material (Zapata et al., 2021).
- Evaluación de impactos: Analizar y cuantificar los efectos ambientales, sociales y económicos asociados con cada elemento del inventario (Zapata et al., 2021).
- Interpretación de resultados: Evaluar y analizar los datos obtenidos durante el análisis para llegar a conclusiones informadas y identificar oportunidades de mejora (Zapata et al., 2021).

La consideración de cada uno de estos puntos es crucial en el análisis de un proceso o material, ya que la omisión de alguno de ellos puede generar errores y datos imprecisos en las etapas subsiguientes del análisis. Por lo tanto, es fundamental calificar correctamente cada factor para asegurar la integridad y precisión de los resultados.

Durante su ciclo de vida, los recubrimientos experimentan transformaciones físicas y químicas, principalmente atribuidas al envejecimiento a largo plazo (LTA). Además, pueden sufrir deterioros como grietas, surcos, fosas y picaduras, provocados por factores externos como la radiación solar, temperatura y humedad, así como por factores internos relacionados con la composición de la mezcla asfáltica, materiales, adhesivos y aditivos utilizados (Chaves Pabón y Castellanos Guerrero, 2020).

2.1.13. Diagnóstico de fallas en pavimentos

El diagnóstico de defectos del recubrimiento es un proceso integral que incluye varias etapas. Comience con una inspección visual detallada para verificar si hay grietas, deformaciones y hundimientos. Luego se realiza un análisis de grietas para comprender la naturaleza y extensión de las grietas, proporcionando pistas sobre posibles causas como tráfico, contracción térmica o problemas de diseño. Además, se realiza muestreo de materiales para evaluar la calidad de los componentes del recubrimiento y verificar el cumplimiento de las especificaciones.

La inspección de cimientos y subrasantes es esencial para identificar problemas de compactación, drenaje o falta de estabilidad. Una vez recopilada esta información, se pueden utilizar pruebas no destructivas, como técnicas ultrasónicas, para evaluar la integridad interna del pavimento sin dañarlo. Como complemento a estos análisis, el registro histórico, incluidas las condiciones climáticas y los acontecimientos pasados, proporciona el contexto necesario para el examen.

Este enfoque de diagnóstico holístico permite el desarrollo de estrategias efectivas de reparación y mantenimiento que aborden las causas fundamentales de las fallas y mejoran la durabilidad del pavimento.

2.1.14. Evaluación estructural de pavimentos

La evaluación de una estructura de pavimento es fundamental para determinar su capacidad de carga y resistencia al tráfico, asegurando su durabilidad y mantenimiento de la integridad estructural a largo plazo, lo que permite garantizar la seguridad y eficiencia del tránsito.

El análisis implica una evaluación exhaustiva de la resistencia y estabilidad de las diversas capas que conforman el pavimento, considerando elementos clave como las características del terreno subyacente, la calidad y especificaciones de los materiales empleados y la distribución de las cargas aplicadas, con el fin de determinar su capacidad para soportar las demandas del tráfico y las condiciones ambientales.

“El alcance de la evaluación funcional cubre la superficie de la carretera y define las actividades de mantenimiento que deben realizarse en la superficie de la carretera, tales como: Reparaciones, parchado, tratamiento de grietas, sellado” (Pucha Aguinsaca y Zárate Torres, 2020).

Los métodos de evaluación pueden incluir pruebas no destructivas, como mediciones de deformación por impacto, para medir la rigidez del pavimento y detectar posibles defectos estructurales. Al combinar estos datos con análisis visuales y mediciones de grietas, se logra una comprensión completa de la condición estructural del pavimento, lo que permite implementar estrategias efectivas de mantenimiento y reparación para extender su vida útil.

2.1.15. Técnicas de inspección y monitoreo

La tecnología de inspección y monitoreo de pavimentos es fundamental para la gestión eficaz de la infraestructura vial. Los métodos visuales, como las inspecciones de rutina, pueden detectar grietas, abolladuras y otras anomalías en la superficie. Además, tecnologías avanzadas como la medición de la deflexión del impacto y el análisis de imágenes de drones pueden proporcionar datos más detallados sobre la condición estructural y la homogeneidad del pavimento.

Los instrumentos con sensores de carga y presión permiten monitorear en tiempo real la carga y la deformación, proporcionando información valiosa para la evaluación del desempeño y la intervención de mantenimiento. Al integrar estas tecnologías, se puede lograr un enfoque integral de inspección y monitoreo, permitiendo una gestión proactiva y eficiente de los pavimentos durante todo su ciclo de vida.

2.1.16. Modelos predictivos de deterioro

Los modelos predictivos del desgaste de pavimentos son herramientas esenciales para una gestión eficaz de la infraestructura vial. Estos modelos utilizan datos históricos de ocupación, condiciones climáticas y cargas de tráfico para predecir el deterioro futuro. Las técnicas estadísticas como la regresión y el análisis de series temporales combinadas con técnicas avanzadas como los modelos de aprendizaje automático pueden predecir patrones de desgaste y detectar problemas potenciales.

Al considerar factores como la antigüedad del pavimento, la intensidad del tráfico prevista y la calidad de los materiales utilizados, estos modelos predictivos permiten a los responsables de la infraestructura vial adoptar un enfoque proactivo para planificar el mantenimiento, asignar recursos de manera eficiente y prolongar la vida útil de las carreteras y autopistas, garantizando así una mayor seguridad y fluidez del tráfico.

2.1.17. Factores de Diseño y Construcción

Al diseñar y construir pavimentos rígidos, varios factores son esenciales para garantizar su durabilidad y rendimiento óptimo. Esto involucra el análisis de varios factores como: “tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera” (Vásquez Agip, 2020, p. 44).

La elección apropiada de materiales, como el tipo de concreto y la calidad de los agregados, tiene un impacto significativo en la resistencia y longevidad del pavimento, ya que estos factores influyen directamente en su capacidad para soportar cargas y resistir la degradación causada por el tráfico y las condiciones ambientales. La preparación del sustrato y una adecuada compactación son fundamentales para evitar asentamientos innecesarios.

La elección de la mezcla de hormigón y el canto de las losas deben adaptarse a las condiciones específicas de tráfico y carga. Además, aspectos como el control de las juntas y el correcto curado durante el curado son fundamentales para minimizar el agrietamiento. La incorporación de estas consideraciones en el proceso de diseño y construcción puede ayudar a aumentar la vida útil y la durabilidad de los pavimentos y garantizar que puedan soportar las demandas del entorno vial.

2.1.17.1. Período de diseño.

La determinación de este factor es fundamental para establecer el tráfico esperado, un dato clave en el cálculo del espesor de la losa. La Guía AASHTO 93 ofrece recomendaciones para la duración de proyecto según el tipo de carretera, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2: Periodo de diseño según el tipo de carretera.

Tipo de carretera	Periodo de diseño (años)
Urbana de gran volumen de tránsito	30-50
Rural de gran volumen de tránsito	20-50
Pavimentada de baja intensidad de tránsito	15-25
Superficie agregada de baja intensidad de tránsito	10-20

Fuente: Guía para el diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO, (1993)

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Tabla 3: Clasificación nacional de la red vial

CLASIFICACIÓN NACIONAL DE LA RED VIAL

Clasificación por capacidad (función de TPDA)

Clasificación por jerarquía en la red vial

Por condiciones orográficas

Clasificación por números de calzada

En función de superficie de rodamiento

Fuente: NEVI-12-MTOP, (2013)

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Tabla 4: Clasificación funcional de las vías en base al TPDAd

Clasificación funcional de las vías en base al TPDAd			
Descripción	Clasificación funcional	Tráfico promedio diario anual (TPDAd) al año de horizonte	
		Límite inferior	Límite superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovía o carretera multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Nota: Clasificación funcional de las vías en base al TPDAd corresponde al tráfico promedio diario anual (TPDA) al año horizonte o de diseño. Se lo define como $TPDAd = Año\ de\ inicio\ de\ estudios + años\ de\ licitación,\ construcción - años\ de\ operación$

Fuente: NEVI-12-MTOP, (2013)

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Tabla 5: CLasificación Funcional por Importancia en la Red Vial

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL POR IMPORTANCIA EN LA RED VIAL	
Corredores arteriales	La red vial de alta jerarquía conecta capitales provinciales, puertos marítimos y pasos fronterizos, garantizando tráfico eficiente y seguro para viajes de larga distancia. Características clave: alta movilidad, accesibilidad controlada, giros y maniobras regulados, y estándares geométricos óptimos.
Vías colectoras	La función de los caminos de mediana jerarquía es recolectar el tráfico local y regional, y conectarlo con la red principal de corredores arteriales, necesitando estándares geométricos específicos para tráfico intermedio.
Caminos vecinales	Estas vías incluyen caminos rurales que no se encuentran en categorías anteriores, y tienen como propósito atender el tráfico doméstico de zonas rurales, incluyendo áreas agrícolas y rutas hacia lugares turísticos

Fuente: NEVI-12-MTOP, (2013)

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

2.1.17.2. Cargas de tráfico y efectos

El tráfico ejerce una influencia significativa en el desempeño del pavimento, ya que la intensidad y frecuencia de las cargas vehiculares afectan directamente su resistencia, durabilidad y estado general, lo que puede acelerar su deterioro y reducir su vida útil.

El peso y la frecuencia de carga del vehículo pueden tener un efecto significativo, por ejemplo, el desarrollo de grietas por fatiga debido a cargas repetidas.

La distribución desigual de la carga puede causar deformación local y hundimiento, afectando la integridad estructural del pavimento.

Mediante el análisis de artículos académico los autores Murga Tirado, Flores Benites, Vasquez Salazar, y Vilcahuaman Tadeo, (2023) determinaron que: “las principales causas analizadas de los problemas en las carreteras es la degradación del pavimento debido a la frecuente sobrecarga de tráfico” (p. 28).

Este análisis detallado de las cargas de tráfico es esencial para diseñar adecuadamente pavimentos que proporcionen la resistencia y durabilidad requeridas para las demandas del entorno vial.

“Se ha observado que las inclemencias del tiempo y la contaminación pueden provocar daños en los pavimentos rígidos en menor medida” (Murga Tirado et al., 2023, p. 28).

2.1.18. Métodos de reparación de grietas

El problema actual de las estrategias de mantenimiento, reparación y reconstrucción mal gestionadas ha dado lugar en muchos casos al uso de técnicas deficientes o no adaptadas para evaluar, detectar y analizar los daños en la superficie de las carreteras, conduce a resultados ineficaces (Pucha Aguinosa y Zárate Torres, 2020, p. 2).

Se puede aplicar diversas técnicas para reparar grietas en pavimentos duros para restaurar la integridad estructural y prevenir la propagación de grietas. Un método común es utilizar un sellador de grietas, que rellena y sella las grietas para evitar que el agua entre y se propague. Otra técnica consiste en el uso de resina o mortero reparador, que se inyecta en las fisuras para restablecer la continuidad del pavimento y aumentar su durabilidad.

En casos más graves, se pueden utilizar técnicas de reparación que utilizan mezclas de hormigón especiales para reparar las áreas dañadas. La elección del método depende del tamaño y la naturaleza de las grietas, así como de la evaluación de la estructura del revestimiento. El objetivo de estas intervenciones no es sólo

mejorar el aspecto de la superficie, sino también mantener la funcionalidad y durabilidad de las superficies duras en el tiempo.

En el Artículo Académico “*Ciclo de Vida del Pavimento Orientado a su Agrietamiento y Mantenimiento*” explica que el mantenimiento puede incluir actividades preventivas como sellar grietas y aplicar revestimientos protectores, así como reparaciones más amplias como fresado y repavimentación, o incluso reconstrucción parcial o completa de la carretera (Huamán Contreras et al., 2023).

La elección de una estrategia de mantenimiento efectiva dependerá de factores como la gravedad y extensión del daño, la disponibilidad de recursos y el impacto en la circulación vehicular, lo que permitirá determinar la mejor opción para abordar la situación de manera eficiente.

Ilustración 6: Reparación de fisura pavimento



Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

2.1.19. Durabilidad del hormigón

La resistencia del hormigón es el principal factor que afecta la vida útil y el rendimiento a largo plazo de la estructura. Factores como la calidad de los materiales, las correctas proporciones de la mezcla, los correctos procesos de colada y curado inciden directamente en la resistencia del hormigón a los ambientes externos.

Continuamente sometido a condiciones ambientales, cambios de temperatura, productos químicos y cargas estructurales, desafiando la resistencia del concreto. Para garantizar la resistencia a la corrosión, la implementación del diseño apropiado y las prácticas arquitectónicas y la tecnología de mantenimiento preventivo es importante para garantizar la resistencia a la corrosión al prevenir las grietas y la durabilidad durante toda la vida.

Enfoque en la durabilidad: La durabilidad de los pavimentos ha sido el foco de atención en las últimas décadas. El objetivo no es sólo construir aceras que duren una cierta cantidad de años, sino también construir aceras que sean más resistentes al agrietamiento y requieran menos mantenimiento durante su vida útil (Huamán Contreras et al., 2023).

2.1.20. Análisis de esfuerzos y deformaciones

El análisis de tensiones y deformaciones de pavimentos rígidos es esencial para comprender el comportamiento estructural bajo condiciones de carga de tráfico. Este proceso incluye una evaluación de cómo las fuerzas aplicadas afectan la resistencia y la deformación del pavimento. Técnicas como el análisis de elementos finitos permiten modelar virtualmente el pavimento, teniendo en cuenta variables como la rigidez de la capa y las condiciones del suelo.

Estos análisis proporcionan información valiosa sobre las distribuciones de tensiones y deformaciones, lo que permite un diseño e identificación más precisos de áreas sujetas a grietas o deformaciones permanentes. Un enfoque integrado para el análisis de tensiones y deformaciones puede ayudar a optimizar el diseño de pavimentos rígidos, mejorar su capacidad para soportar las demandas del tráfico y extender su vida útil.

2.1.21. Juntas de Contracción y Expansión

Juntas de contracción: La contracción del concreto puede causar fácilmente grietas en áreas débiles, por lo que estas juntas, es decir, muescas en el concreto, se hacen deliberadamente porque si es necesario agrietarse, se agrieta. Siga el patrón geométrico que se muestra, evitando grietas irregulares.

Los pavimentos rígidos están expuestos a una variedad de esfuerzos, incluyendo (Martínez Quinto y Osorio Guerra, 2023).

- Esfuerzos de compresión y tensión generados por la flexión de las losas bajo el peso de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión generados por la flexión de las losas bajo el peso de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión resultantes de la expansión y contracción térmica, así como de los cambios de temperatura.
- Esfuerzos abrasivos provocados por el desgaste de las llantas de los vehículos en la superficie del pavimento.

2.1.22. Tecnologías de Rehabilitación de Pavimentos

Aunque se han implementado innovadoras técnicas de construcción y se han incorporado tecnologías de vanguardia, aún se presentan problemas de agrietamiento y fisuras en diversas carreteras a nivel nacional e internacional. Estos problemas no solo se deben a deficiencias en materiales o mano de obra, sino también a los desafíos inherentes y persistentes asociados con las losas de hormigón, lo que sugiere que aún existen oportunidades para mejorar la durabilidad y resistencia de las infraestructuras viales (Martínez Quinto y Osorio Guerra, 2023, p. 1).

A pesar de los altos costos, se ha generalizado el uso de productos sintéticos para mitigar los problemas en las placas, mientras que la protección del medio ambiente se ha convertido en una prioridad secundaria. Esta tendencia refleja un enfoque que prioriza la solución inmediata de los problemas sobre la sostenibilidad y el cuidado del entorno.

Ante los diversos deterioros de las carreteras, en las últimas décadas se ha buscado tecnologías que ofrezcan mayor durabilidad y eficiencia que sean respetuosas con el medio ambiente. A partir de la investigación se proponen tecnologías innovadoras como el hormigón autorreparable, el hormigón topmix, el hormigón fosforescente, las impresoras de carreteras y los geosintéticos (Ospina Gomez, 2021, p. 28).

2.1.23. Materiales de Sellado de Grietas

La reparación y el mantenimiento de superficies duras utilizan una variedad de materiales de sellado de grietas para evitar la entrada de agua y la expansión de las grietas. Los selladores elastoméricos son comunes, generalmente a base de poliuretano o polímeros modificados con asfalto. Estos selladores pueden adaptarse de forma flexible a las deformaciones de la superficie de la carretera sin perder sus propiedades de sellado. Utilice también un sellador autonivelante de silicona o poliuretano, que rellena eficazmente pequeñas grietas y proporciona una superficie de sellado uniforme.

Además, se utilizan emulsiones asfálticas modificadas con polímeros para sellar grietas de mayor tamaño. La elección de los materiales depende del tipo y tamaño de la grieta, así como de las condiciones climáticas y del tráfico. Estos materiales juegan un papel importante en la protección de pavimentos rígidos al prevenir la entrada de humedad y mantener su integridad estructural.

2.1.24. Interacción Suelo-Pavimento

La interacción con el suelo y el pavimento rígido es un aspecto crítico del diseño de carreteras y del comportamiento estructural. La capacidad del suelo para soportar el pavimento y transferir la carga afecta directamente la estabilidad y durabilidad de la infraestructura vial. Factores como la capacidad portante del suelo y su expansión o contracción debido a cambios en la humedad pueden afectar significativamente la respuesta de un pavimento duro.

“El pavimento es una colección de capas seleccionadas de material sobre el suelo que absorben y transfieren directamente las cargas del tráfico vehicular a las capas inferiores para crear una superficie de rodadura que funcione eficientemente” (Solís Vásquez y Zhunio Minchala, 2022).

Un análisis detallado de la interacción suelo-pavimento es esencial para comprender la capacidad portante del suelo, evitar asentamientos innecesarios y garantizar una distribución uniforme de las tensiones, ayudando así a los pavimentos rígidos a prolongar su vida y lograr un rendimiento óptimo en el tiempo.

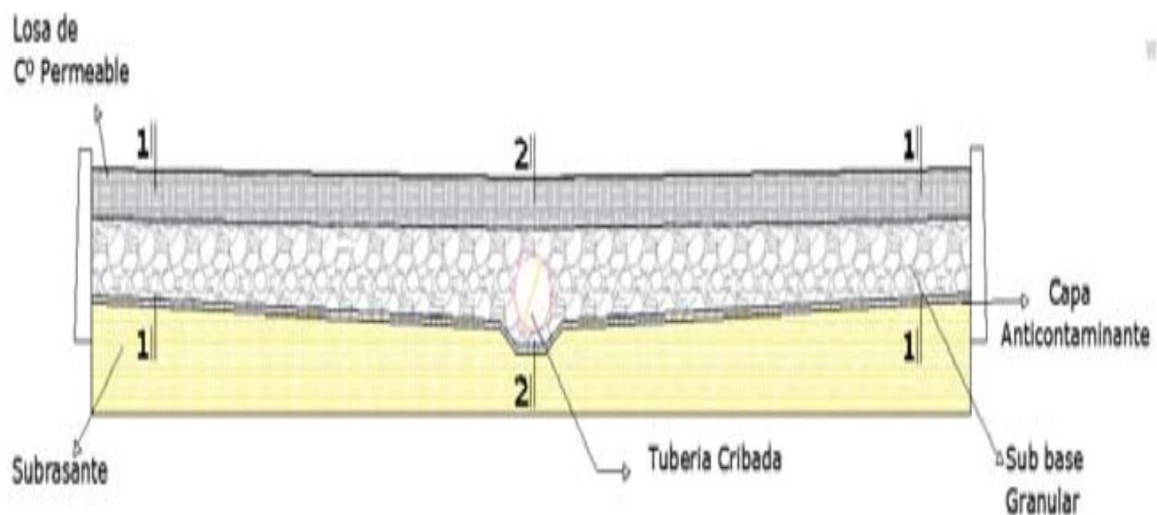
Para un correcto funcionamiento se deben tener en cuenta todos los puntos siguientes: ancho de vía suficiente, diseño vertical y horizontal, estabilidad requerida para evitar colapsos y grietas debido a las fuerzas transmitidas a la carretera, adherencia requerida entre la carretera y el vehículo incluso en condiciones húmedas, buena visibilidad y, para evitar el cansancio, un paisaje atractivo (Solís Vásquez y Zhunio Minchala, 2022).

2.1.25. Sistemas de Drenaje y su Impacto

Los mecanismos de drenajes implementados en la actualidad tienen por objetivo transportar el agua de escurrimiento a determinados puntos de descarga, saturándolos y ocasionando grandes caudales en lapsos de tiempos cortos, lo que eleva la probabilidad de inundación; sin embargo lo correcto los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS), son mecanismos que buscan asemejar los proceso de drenaje natural, como solución a la impermeabilización de superficies por el proceso de urbanización que tienen las ciudades, lo que hace que los resultados sean más factibles (Mantilla Carpio, 2023).

Los pavimentos rígidos permeables utilizados en áreas urbanas permiten sistemas de drenaje sostenibles, Guerra Chayña y Guerra Ramos (2020): “Son un tipo especial de pavimento, que gracias a su diseño permite la infiltración del agua por medio de su estructura y permite el almacenamiento temporal de la misma en la sub-base, para su posterior disposición o infiltración en el terreno” (p. 124).

Ilustración 7: Estructura del Pavimento rígido permeable.



Fuente: Guerra Chayña y Guerra Ramos, (2020)

2.1.26. Medidas Preventivas contra el Agrietamiento

La fisuración o el agrietamiento excesivo es uno de los principales desafíos que enfrentan las mezclas asfálticas utilizadas en la construcción de carreteras a nivel global. En Ecuador, este problema se manifiesta en forma de grietas por fatiga y grietas de bloques, lo que conduce a un deterioro significativo de la infraestructura vial y requiere soluciones efectivas para garantizar la seguridad y durabilidad de las carreteras (Navarrete Sánchez, 2021).

2.1.27. Capas que conforman el pavimento rígido

La estructura de un pavimento rígido está compuesta por varias capas diseñadas para distribuir las cargas del tráfico de manera eficiente y asegurar la durabilidad de la carretera. Las capas típicas que conforman un pavimento rígido son las siguientes:

- ✓ **Capa de Rodadura:** “Es la capa superficial del pavimento que está en contacto directo con los vehículos y soporta las cargas y el desgaste causado por el tráfico, está constantemente sujeta a desgaste debido a la fricción y abrasión” (Pazmiño Chiluiza y Sanipatín Chiluiza, 2024).

Esta capa, generalmente elaborada con concreto de alta resistencia, tiene como objetivo ofrecer una superficie uniforme y durable, capaz de soportar el desgaste y la abrasión causados por el tráfico y las condiciones ambientales, garantizando así una superficie segura y duradera para la circulación.

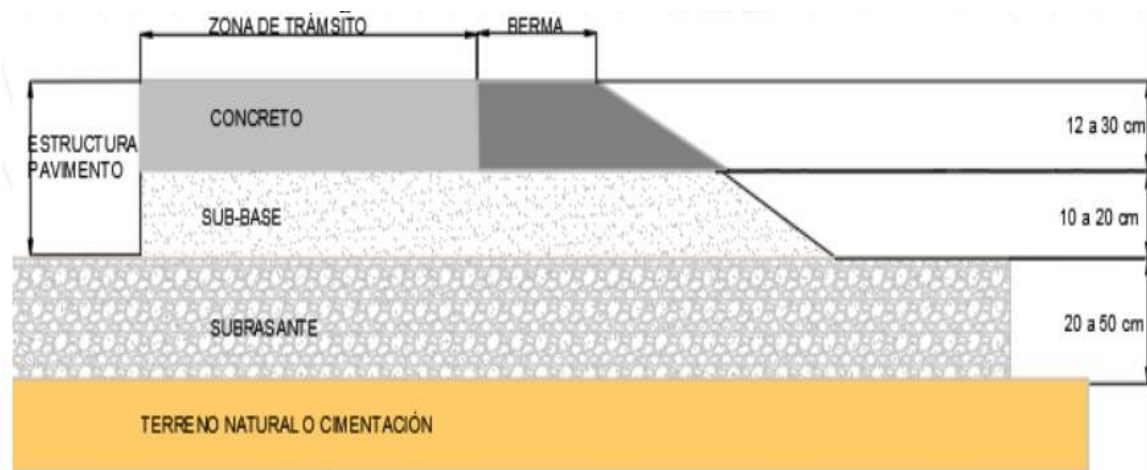
- ✓ **Base de Concreto:** Es la capa inmediatamente debajo de la capa de rodadura y proporciona soporte estructural adicional al pavimento. Esta capa ayuda a distribuir las cargas del tráfico de manera uniforme sobre el suelo de soporte y actúa como una plataforma resistente para la capa de rodadura superior.
- ✓ **Sub-base:** Se encuentra debajo de la base de concreto y sirve como una capa de transición entre el suelo de subrasante (suelo natural) y la base de concreto. La sub-base mejora la estabilidad del pavimento al proporcionar drenaje adecuado y reducir el riesgo de asentamientos diferenciales.

“Es una parte de la estructura del pavimento rígido, se ubica cerca de la subrasante y la losa rígida y su función es prevenir los granos al bombear el suelo” (Pozo Olvera, 2022).

- ✓ **Subrasante:** Es la capa de terreno natural sobre la cual se construye todo el pavimento, sirviendo como cimiento para todas las capas que lo componen. Debe ser adecuadamente compactada y diseñada para soportar las tensiones generadas por la circulación de vehículos, manteniendo su integridad estructural y evitando deformaciones significativas

El módulo de reacción de la subrasante (K) “contempla una mejora en el nivel de soporte de la subrasante con la colocación de capas intermedias granulares o tratadas, efecto que mejora las condiciones de apoyo y puede llegar a reducir el espesor calculado de concreto” (Vásquez Agip, 2020, p. 47).

Ilustración 8: Capas que conforman el pavimento rígido



Nota: En la ilustración se aprecia los espesores y ubicación de las capas de un pavimento rígido.

Fuente: Ospina Gomez, (2021).

2.1.28. Componentes para la elaboración de la estructura de un pavimento rígido

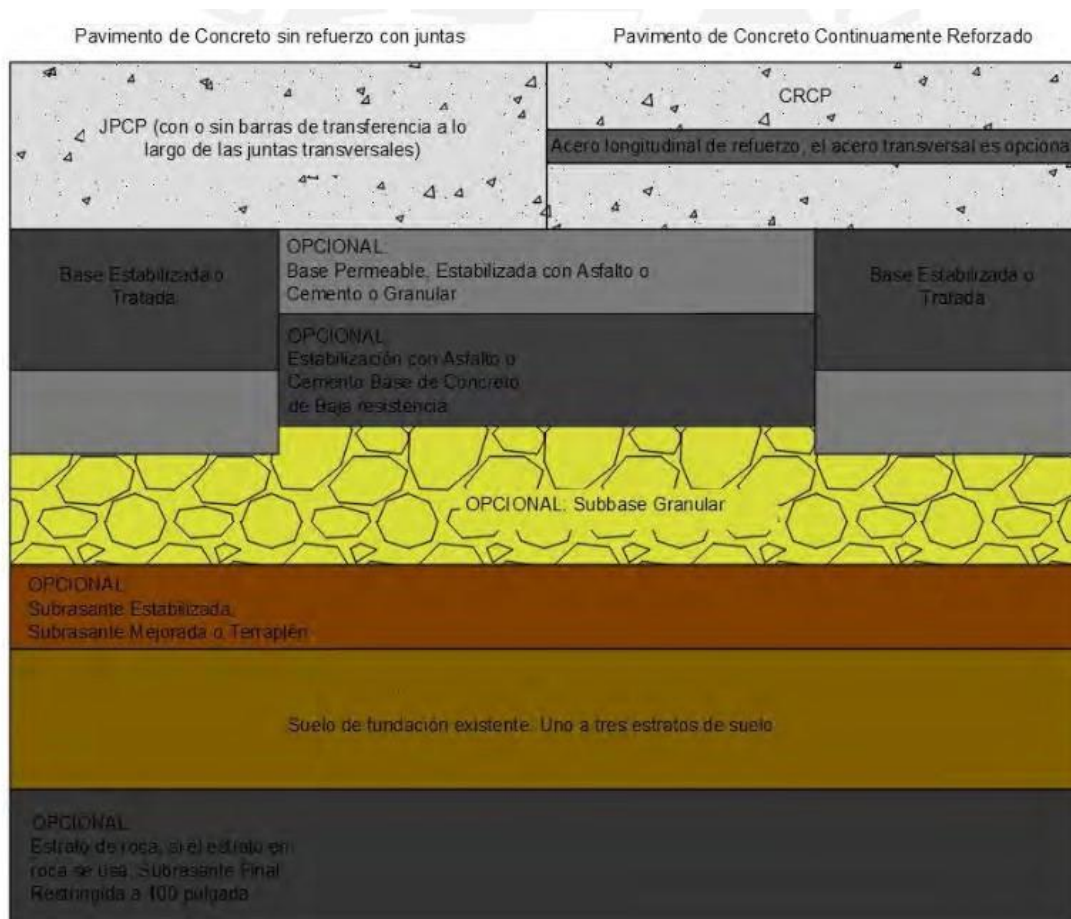
Las estructuras de pavimento rígido suelen estar compuestas por dos capas fundamentales: una capa superior de concreto y una capa base inferior. Sin embargo, en ciertas situaciones, puede ser necesaria la adición de una tercera capa base,

dependiendo de la capacidad de soporte de la base de la carretera existente y los requerimientos específicos del proyecto.

La capa superior del pavimento rígido puede presentar dos variantes: una configuración de losas de concreto individuales, separadas por juntas transversales y longitudinales, o una losa continua de concreto reforzado, sin divisiones. La alta rigidez y alto módulo del hormigón hidráulico hace que las mantas rígidas trabajen distribuyendo las tensiones generadas en la primera capa de manera que las cargas y tensiones que llegan al fondo se reducen considerablemente.

Los dos componentes inferiores de la estructura de pavimento rígido, la base y la sub-base, comparten las mismas características y funciones que los que se encuentran en la estructura de pavimento flexible, presentando similitudes en su composición y propósito (Inforcivil, 2023).

Ilustración 9: Estructura de pavimento rígido nuevo en el MEPDG



Fuente: Ospina Gomez, (2021).

2.1.29. Fallas de pavimentos rígidos

La fisura del pavimento rígido es un fenómeno común que afecta a las superficies de concreto en carreteras, calles y otras infraestructuras. Estas grietas pueden deberse a diversos factores, siendo uno de los principales la contracción del concreto durante el proceso de fraguado. Además, las fluctuaciones de temperatura también desempeñan un papel crucial, ya que las expansiones y contracciones térmicas pueden provocar tensiones en el pavimento, resultando en fisuras, la carga vehicular y la falta de mantenimiento. La comprensión y abordaje de estos elementos son esenciales para garantizar la durabilidad y seguridad de las infraestructuras viales.

Otro factor significativo es la carga vehicular. El tráfico constante, especialmente de vehículos pesados, contribuye al desgaste del pavimento, generando tensiones que eventualmente pueden dar lugar a fisuras. Además, la falta de un adecuado sistema de drenaje puede permitir que el agua se acumule debajo del pavimento, erosionando gradualmente el suelo de soporte y exacerbando el problema de fisuras.

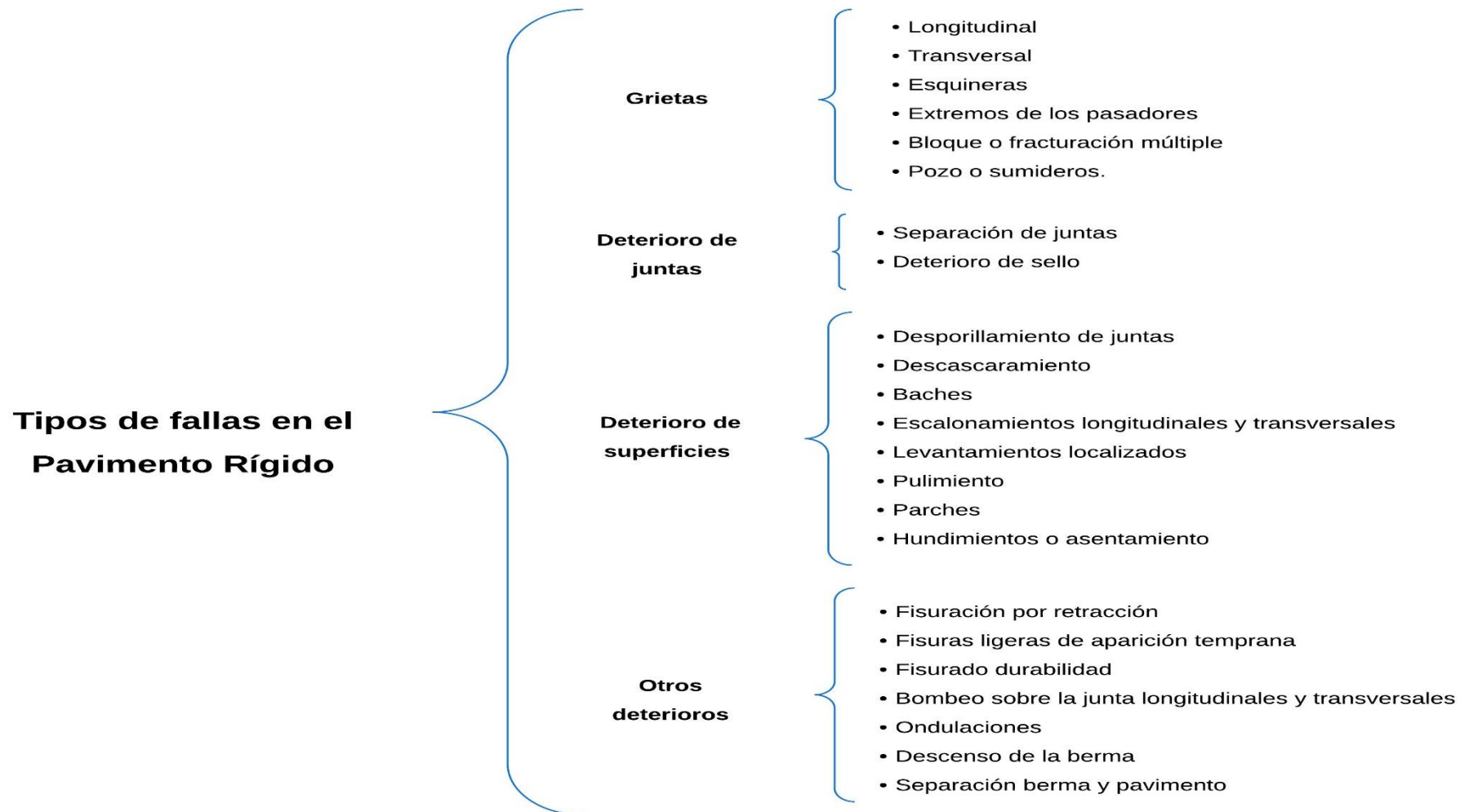
La falta de mantenimiento también puede agravar la situación. Si no se realizan reparaciones oportunas en las fisuras existentes, estas tienden a expandirse con el tiempo, comprometiendo la integridad estructural del pavimento. Por ende, es crucial implementar programas de mantenimiento preventivo para abordar y reparar las fisuras antes de que se conviertan en complicaciones más graves.

En la tesis "*Material Reciclado y Reducción del Agrietamiento en Pavimentos Rígido*" de Ferrer Esquivel y Soliz Díaz (2020), el problema de las grietas en los pavimentos de concreto representa un desafío social significativo, lo que nos motiva a buscar mejoras en las propiedades mecánicas del material para prevenir estas fallas.

Con este fin, exploramos la incorporación de materiales reciclados y analizamos su viabilidad y comportamiento como posibles soluciones. Además, investigamos tanto elementos sintéticos como naturales que puedan ofrecer alternativas efectivas. La compatibilidad de estos materiales contribuye a elevar los estándares de la arquitectura y la construcción.

En el trabajo de investigación “*Patologías de la estructura vial del pavimento Rígido*” se explica que las grietas se refieren a irregularidades en la elasticidad de tracción transversal en diferentes capas del sustrato. Los defectos se originan en la base de la capa y se extienden de manera indirecta hacia arriba, debido a la mayor rigidez de la capa subyacente, que actúa como una cubierta o recubrimiento, que están bajo tensión constante (Monsalve Tabares et al., 2022).

Ilustración 10:Tipos de fallas en el Pavimento Rígido



Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Tabla 6: Fallas de Pavimento Rígido

TIPOS DE FALLAS PAVIMENTO RIGIDO			
FALLAS	DESCRIPCIÓN	CAUSA	PREVENCIÓN
LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL	Tiene una orientación perpendicular o paralela al eje del pavimento	<ul style="list-style-type: none"> • Aserrado tardío. • Por fatiga (espesor insuficiente o juntas demasiado separadas) • Erosión o asentamientos diferentes • Reflexión de fisuras internas o losas adyacentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseños adecuados de juntas • Espesores adecuados para la calzada y control de la subrasante
ESQUINERAS	Se genera al interceptarse la junta longitudinal y la junta transversal, formando un ángulo de 45° en el pavimento	<ul style="list-style-type: none"> • Pobre transferencia de carga • Ángulos agudos • Pérdida de soporte por erosión 	<ul style="list-style-type: none"> • Transferencia de carga adecuada • Diseño adecuado para juntas en geometrías irregulares sub-base resistencia a la erosión

<p>EXTREMOS PASADORES</p>	<p>Cerca de los extremos de los pasadores o dovelas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mala ubicación de los pasadores • Movimiento de los pasadores en el proceso constructivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño adecuado de los pasadores • Mantener fijo los elementos en momento de construir
<p>BLOQUE O FRACTURACIÓN MÚLTIPLE</p>	<p>Rompimiento en gran parte de la losa formando bloques pequeños</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fatiga (cargas repetidas con gran peso) • Diseño errado • Soportes deficientes 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar un bien diseño • Materiales de base no erodable • Instalar drenajes • Compactar la subrasante
<p>POZO Ó SUMIDEROS</p>	<p>Está relacionada con la presencia de pozos o sumideros.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pozos • Sumideros 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseños adecuados de la subrasante, sub-base y losa de concreto

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

2.1.30. Fatiga en pavimentos rígidos

La fatiga en las mezclas asfálticas es el principal factor que contribuye al deterioro estructural de los pavimentos asfálticos, causado por la exposición a cargas vehiculares repetidas. Esto conduce a una disminución en la rigidez del material, resultando en la formación de fisuras y grietas. Dado que la durabilidad de los pavimentos está estrechamente relacionada con este fenómeno, es crucial implementar medidas correctivas para prevenir el deterioro y prolongar su vida útil (Chapalvay Aulla y Pazmiño Reyes, 2022).

La formación de grietas por fatiga se debe principalmente al tráfico intenso de vehículos pesados sobre capas asfálticas excesivamente rígidas, que se encuentran en estructuras con poca resistencia o debilidad en su diseño (Navarrete Sánchez, 2021).

Ilustración 11: Levantamiento de paños agrietados



Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

2.1.31. Transferencia de carga en pavimentos rígido

Es la relación entre tensión y deformación, especialmente en el caso de las mezclas asfálticas, su resistencia no se puede definir mediante un valor único, como sucede con otros materiales, sino que varía en función de la temperatura a la que se somete a prueba y la frecuencia de las cargas aplicadas, lo que la hace depender de condiciones específicas.

Para estos materiales, los módulos de rigidez que evalúan la respuesta de los pavimentos asfálticos a cargas dinámicas suelen denominarse módulos dinámicos, considerando el rango de temperatura al que puede estar expuesto el pavimento durante el servicio (Chapalvay Aulla y Pazmiño Reyes, 2022).

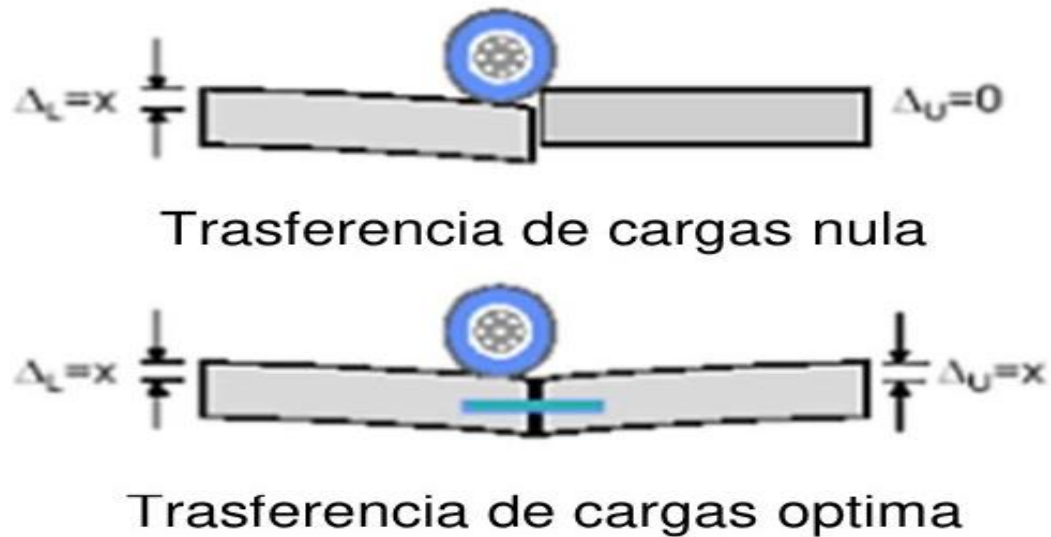
En general, se puede decir que los cambios en las propiedades dinámicas debido a cambios de temperatura conducen a una disminución significativa de los valores del módulo dinámico al aumentar la temperatura.

Por otro lado, el efecto de la frecuencia de carga se evidencia en la respuesta de la estructura ante el tráfico de vehículos pesados, de manera que, al incrementar la velocidad, es decir, al aumentar la frecuencia de carga, se generan deformaciones más significativas en la estructura, lo que se traduce en módulos de elasticidad más elevados (Chapalvay Aulla y Pazmiño Reyes, 2022).

Para entender cómo esto se manifiesta cuantitativamente en cada caso, el módulo se determina en el laboratorio mediante diferentes procedimientos, deformando la muestra en su rango lineal, bajo cargas repetidas o cargando a una velocidad de deformación controlada y documentar el esfuerzo durante los ensayos con ambos verdadero.

En la industria de la construcción, se emplean materiales áridos finos, caracterizados por su granulometría fina, que se obtienen a partir de la trituración de piedras y minerales. Estos materiales son versátiles y se pueden utilizar en diversas aplicaciones, como morteros, hormigón hidráulico y hormigón asfáltico, presentando un rango de diámetros que varía de 0,065 mm a 1,98 mm, dependiendo de las especificaciones de la mezcla a preparar (Chapalvay Aulla y Pazmiño Reyes, 2022).

Ilustración 12: Transferencia de carga en pavimentos rígido.



FUENTE: (AASHTO 93)

Fuente: Vásquez Agip, (2020).

2.1.32. Factores para el diseño de pavimento

Códigos de construcción: Los códigos de construcción suelen establecer normas y estándares en el diseño y construcción de pavimentos rígidos, incluyendo requisitos específicos para garantizar la resistencia y durabilidad del concreto, el diseño estructural adecuado y la prevención de grietas y otros defectos. Estas regulaciones buscan asegurar la seguridad, la funcionalidad y la longevidad de los pavimentos rígidos.

Responsabilidades del constructor: La legislación puede definir las responsabilidades del contratista o constructor con respecto a la calidad de los materiales utilizados, la ejecución del proyecto y la prevención de defectos como grietas en el pavimento duro. Esto puede incluir la obligación de adherirse a las mejores prácticas de construcción y garantizar la longevidad de las obras.

Inspección y mantenimiento: Los reglamentos pueden especificar requisitos para la inspección periódica y el mantenimiento preventivo de pavimentos rígidos. Esto puede incluir la detección temprana de grietas y la implementación de medidas correctivas cuando sea necesario.

Estándares de calidad del concreto: La legislación puede incluir disposiciones específicas relacionadas con la calidad del concreto utilizado en la

construcción de pavimentos. Estas normas pueden cubrir propiedades como la resistencia a la compresión, la resistencia y la resistencia a la tracción, que son factores clave para prevenir el agrietamiento.

Sanciones por incumplimiento: La ley podrá prever sanciones y consecuencias legales por el incumplimiento de las normas de construcción y mantenimiento. Esto puede incluir multas, suspensiones de licencias y otras acciones disciplinarias contra los responsables de la construcción del techo rígido.

2.3. Marco Legal

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador

Art. 375. Donde el estado garantiza el derecho al hábitat y a la vivienda con el acceso a diferentes espacios por medio de vías.

2.3.2. Ley sistema nacional de infraestructura vial transporte terrestre

Art. 8. Red vial cantonal urbana. Se entiende por red vial cantonal urbana, cuya competencia está a cargo de los gobiernos autónomos descentralizados municipales o metropolitanos, al conjunto de vías que conforman la zona urbana del cantón, la cabecera parroquial rural y aquellas vías que, de conformidad con cada planificación municipal, estén ubicadas en zonas de expansión urbana.

Dado que la conectividad y movilidad es de carácter estratégico, cuando una vía de la red vial nacional, regional o provincial atraviese una zona urbana, la jurisdicción y competencia sobre el eje vial, pertenecerá al gobierno central, regional o provincial, según el caso.

2.3.3. Ministerio de transporte y obras públicas MOP - 001-F 2002 (Especificaciones generales especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes).

Este tipo de especificaciones suelen abarcar una variedad de aspectos relacionados con la ingeniería de pavimentos, incluyendo los materiales permitidos, métodos de construcción, criterios de calidad, pruebas de laboratorio requeridas, y estándares de seguridad y durabilidad que deben cumplir todas las obras viales bajo

la jurisdicción del MOP. Además, estas normativas también pueden incluir pautas específicas para la gestión ambiental, la prevención de impactos negativos durante la construcción y el mantenimiento de la infraestructura.

El cumplimiento de las especificaciones generales del MOP-001-F 2002 es crucial para garantizar la adecuada ejecución de proyectos viales, así como para asegurar que las obras públicas satisfagan las necesidades de movilidad, seguridad y desarrollo sostenible de las comunidades servidas. Ingenieros, contratistas y autoridades responsables de la infraestructura vial deben estar familiarizados y adherirse estrictamente a estas normativas para asegurar la calidad y la longevidad de las carreteras y puentes construidos bajo su supervisión.

2.3.4. MINVU - Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación 2016.

El "Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación 2016" del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) de muchos países establece los estándares y requisitos técnicos para la pavimentación de calles y carreteras dentro de su jurisdicción. Este código es fundamental para garantizar la calidad, la seguridad y la durabilidad de las obras de pavimentación, y proporciona directrices detalladas para el diseño, la construcción, la inspección y el mantenimiento de pavimentos.

2.3.5. MTOP - Manual de pavimentos rígidos, 2012 Tomo 2. Norma para pavimentos rígidos (IBCH)

MTOP - Manual de pavimentos rígidos, 2012 Tomo 2. Norma para pavimentos rígidos (IBCH) – Este manual define la metodología a ser adoptada en la definición y selección de materiales destinados al sellado de juntas de pavimentos rígidos de hormigón de cemento Portland, utilizados en carreteras. Son también presentados los requisitos concernientes a las condiciones generales, específicas y los criterios para la aceptación y rechazo de los materiales.

MTOP (2013) Norma Vial NEVI-12- MTOP. Procedimientos de operación y seguridad vial. Volumen 1. Tomado – Esta ley se enfoca en Procedimiento para proyectos viales / Enfoque y metodología para el desarrollo de procesos viales

2.3.6. Normativa para Diseño de Pavimento AASHTO 93

La normativa para el diseño de pavimento según AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), específicamente AASHTO 93, se refiere a las metodologías y estándares utilizados en Estados Unidos para el diseño estructural de pavimentos flexibles y rígidos. Este documento establece los lineamientos técnicos y los métodos de cálculo para asegurar que los pavimentos sean capaces de soportar las cargas del tráfico vehicular y las condiciones climáticas durante su vida útil.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la investigación:

El estudio actual utilizará un enfoque mixto, porque se realizará investigación de campo, para comprender las causas fundamentales y los patrones de desarrollo de grietas en las carreteras. Con el fin de obtener información necesaria que nos permita sacar conclusiones acordes con los objetivos planteados en nuestra investigación.

La fase de análisis de datos implicará el uso de herramientas estadísticas para identificar patrones y relaciones en los datos recopilados. La interpretación de estos resultados permitirá sacar conclusiones confiables sobre las causas fundamentales del agrietamiento del pavimento.

Además, se considerarán regulaciones y estándares relevantes para ofrecer recomendaciones y soluciones prácticas que puedan ayudar a gestionar y mantener eficazmente los pavimentos para mitigar los problemas de agrietamiento en la infraestructura vial.

3.2. Alcance de la investigación: (Exploratorio, descriptivo o correlacional)

Las grietas en el pavimento rígido de la calle Dr. Teodoro Alvarado Oleas será analizada mediante un estudio descriptivo con un enfoque mixto. El objetivo de tales estudios es identificar las causas de las brechas y analizar las relaciones causales entre diferentes variables. En este contexto, se pueden llevar a cabo estudios detallados para investigar la influencia de factores como las cargas de tráfico, las propiedades de los materiales y factores climáticos en la formación de grietas en el pavimento.

La recopilación y el análisis de datos en profundidad no sólo pueden describir el fenómeno, sino también explicar por qué ocurre, proporcionando así una base sólida para futuras estrategias de prevención y mantenimiento. Además, los métodos

descriptivos pueden ser valiosos para proporcionar una descripción detallada de la extensión y las características de las grietas en diferentes entornos viales.

Dichos estudios se centrarán en un análisis minucioso de las condiciones del pavimento agrietado, lo que proporcionará una comprensión integral del problema y ayudará a identificar patrones comunes. En última instancia, una combinación de métodos de investigación interpretativos y descriptivos puede proporcionar una comprensión integral del agrietamiento del pavimento y respaldar estrategias efectivas de gestión y mantenimiento.

3.3. Técnica e instrumentos para obtener los datos

Para abordar el estudio de un fenómeno en particular, se utilizan determinados métodos y técnicas de investigación. Estos métodos facilitan la recolección, evaluación y presentar información, lo que conduce al logro del objetivo fundamental de la investigación generando nuevos conocimientos.

La selección de la técnica de investigación más apropiada es crucial y depende directamente del problema específico que se busca resolver y de los objetivos establecidos. Por lo tanto, esta elección se convierte en un aspecto esencial y decisivo en todo proceso de investigación, ya que condiciona la validez y eficacia de los resultados obtenidos (Palacio Garcia, 2021).

3.4. Población y muestra

La muestra se refiere al segmento particular de la población que es objeto de análisis en un estudio. En este caso la muestra constituye la calle Dr. Teodoro Alvarado Oleas el cual es el espacio fisco donde se llevará a cabo el analice de agrietamiento en el pavimento rígido.

3.5. Ubicación geográfica de la zona de estudio

Ubicación Política:

Localidades	:	Teodoro Alvarado Oleas
Distrito	:	Tarqui
Provincia	:	Guayas

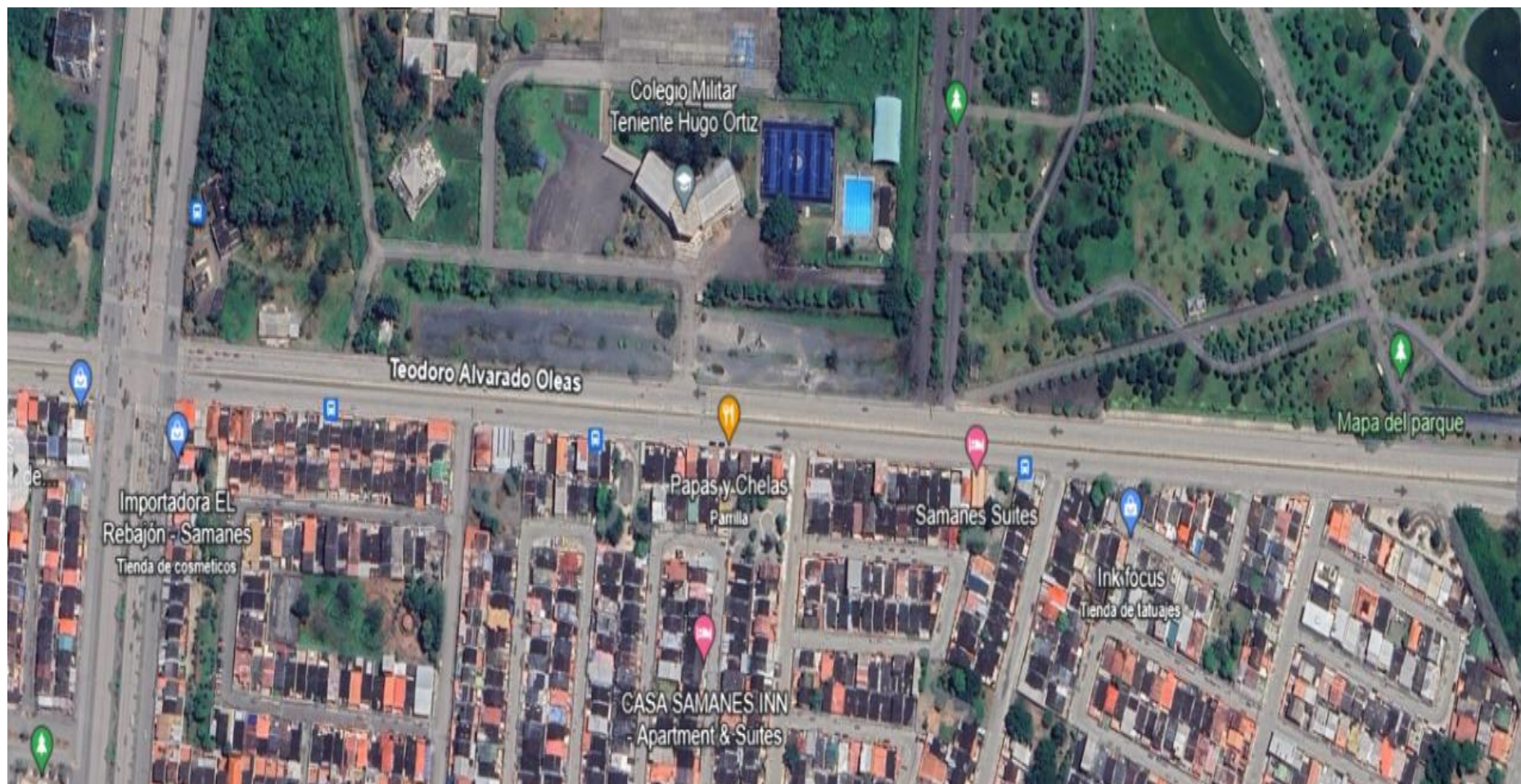
El pavimento en este estudio corresponde el tramo de la calle **Teodoro Alvarado Oleas (Ecuador-Guayaquil)**, que intercepta al oeste con la **Av. Francisco Orellana** y al este con el **Parque Samanes**. La calle Dr. Teodoro Alvarado Oleas en la cual es clasificada por su función como una red vial secundaria.

Tabla 7: Coordenadas de toma de muestras

PUNTOS	COORDENADAS UTM		ALTURA
	ESTE	NORTE	(m)
1	746864,10	9806812,90	3634
2	742268,40	9805727,60	3831
3	735550,10	9797731,60	3140
4	729985,30	9784560,90	2570
5	725402,10	9782913,60	2026

Elaborado por: Campos y Moscoso (2024)

Ilustración 13: Ubicación geográfica de la zona de estudio



Nota: El área de estudio se centra en el tramo de la calle Teodoro Alvarado Oleas, ubicado en la ciudad de Guayaquil, Ecuador.

Fuente: Google Earth, (2024)

CAPÍTULO IV

PROPUESTA O INFORME

4.1. Extracción de testigos de hormigón. ASTM C 42/ C42M-04.

Método de prueba proporciona orientación para extraer, preparar y analizar núcleos de hormigón perforados para determinar sus propiedades, incluyendo dimensiones, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción por hundimiento y resistencia a la flexión de vigas cortadas.

Procedimiento:

1. Perforar el pavimento rígido para extraer los testigos cilíndricos.
2. Extraer las muestras utilizando una faja pretensada.
3. Identificar y ordenar las muestras según el orden de extracción y almacenarlas en fundas plásticas para su posterior análisis.

Ilustración 14: Perforación de un agujero en la estructura del pavimento



Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

4.2. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos. NTE INEN 1573

Este método de ensayo es aplicable para evaluar cilindros de concreto de cemento hidráulico moldeados y núcleos perforados con una densidad superior a $800 \frac{kg}{m^3}$. Los resultados de la prueba proporcionan un punto de referencia para diversas aplicaciones, como control de calidad en la mezcla y colocación de concreto, verificación de cumplimiento de especificaciones y evaluación de la efectividad de aditivos, entre otros.

Procedimiento:

1. Coloque la muestra en el banco o escenario de la máquina de prueba directamente debajo del bloque de carga esférico (parte superior). La muestra debe estar alineada con el centro de carga del bloque de carga esférico.
2. Compruebe que el indicador de carga esté puesto a cero.
3. La velocidad de prueba debe establecerse de manera que la carga se aplique continuamente. La tasa de tensión debe ser de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s.

Ilustración 15: Ensayo de compresión



Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

4.2.1. Extracción de núcleos

La extracción de una muestra de concreto del pavimento a través de perforación permite un análisis exhaustivo en laboratorio, revelando información crucial sobre la composición, calidad y estado del material, incluyendo la presencia de defectos y características físicas (Sanipatín Chiluiza, 2024).

Procedimientos de extracción

- 1.** Ir a la zona de estudio
- 1.1.** Usar equipo de protección personal
- 1.2.** Delimitar el área a trabajar (colocar maldades seguridad o conos)
- 2.** Usar generador o punto de conexión para Máquina extractora de núcleo
- 3.** Broca de 2" o 4" pulgadas
- 4.** Se realizan las perforaciones (estabilizando la máquina para una extracción vertical)
- 5.** Se procede a la perforación y extracción del núcleo o testigo
- 6.** Llevar la muestra al laboratorio
- 7.** Identificar cada muestra o testigo (núcleo)
- 8.** El núcleo o muestra debe quedar envuelto en un papel periódico humedecido o en un balde de agua para no perder humedad.
- 9.** Realizar el trabajo de comprensión
- 10.** Determinar el Área y ubicarla en la máquina para realizar el ensayo
- 11.** La Longitud debe ser mayor al diámetro
- 12.** Realizar el Ensayo de la compresión de núcleo
- 13.** Se corta la muestra y esta debe quedar nivelada en ambos lados.
- 14.** Se determina la masa (peso)
- 15.** Hacer una capa de capri que es para nivelarlo (romper la nube para cubrir vacíos)
- 16.** Después se determinan ruptura de núcleo
- 17.** Resultados del ensayo

Ilustración 16: Núcleo 1 después del ensayo a compresión



Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Ilustración 17: Vista superior del núcleo 1 después del ensayo a tracción directa.



Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

4.2.2. Determinación del contenido total de humedad NTE INEN 862

La norma define un procedimiento para evaluar la humedad total en áridos, incluyendo la humedad superficial y la humedad retenida en los poros, mediante un método de secado controlado que permite determinar el porcentaje de humedad extraíble.

Ilustración 18: Colocación de las muestras en piscina



Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Ilustración 19: Testigos envueltos en fundas



Nota: Los envuelven en funda para que no pierda humedad y se los dejan toda la noche.

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Ilustración 20: Testigo sumergido en una piscina.



Nota: Testigo sumergido en un tanque de agua para el proceso de curado, donde se observan cilindros etiquetados con identificadores numéricos.




Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

UBICACIÓN: Calle Teodoro Alvarado Oleas

ORDEN No.: 001

CONTRATISTAS: Campos y Moscoso

Tabla 8: Registro fotográfico de extracción de núcleos en pavimentos rígidos

Núcleo 1	Núcleo 1A	Núcleo 1B
<p>1</p> <p>11-06-2024</p> <p>Avenida 1B NE</p> <p>0+0210</p>	<p>1</p> <p>11-06-2024</p> <p>Avenida 1C NE</p> <p>0+0462</p>	<p>1</p> <p>11-06-2024</p> <p>MARTINEZ QUEROLO</p> <p>0+0660</p>
		

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Análisis de Resultados

Ubicación del Proyecto:

El registro fotográfico proviene de un estudio realizado en la Calle Teodoro Alvarado Oleas, con los contratistas Campos y Moscoso. Este estudio se centra en la extracción de núcleos en pavimento rígido, un proceso fundamental para evaluar las condiciones y propiedades del pavimento en infraestructuras viales.

Pruebas de Laboratorio:

Para obtener una muestra representativa, es necesario extraer un testigo de concreto en dirección perpendicular a la superficie del elemento estructural, evitando áreas cercanas a juntas constructivas o bordes visibles.

Las imágenes muestran los núcleos de pavimento en diferentes etapas del proceso de prueba. La primera imagen de cada serie ilustra el núcleo tal como fue extraído, mientras que las siguientes imágenes muestran los equipos utilizados para medir diversas propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión.

Los núcleos etiquetados como Núcleo 1, Núcleo 1A y Núcleo 1B fueron extraídos y sometidos a pruebas en laboratorios especializados. La etiqueta en las fotografías indica las coordenadas específicas y el nombre del técnico responsable, lo cual es crucial para la trazabilidad y verificación de los datos.

Como se observa en las ilustraciones 1 y 2 de la tabla 8, los núcleos fueron sometidos a los ensayos de resistencia a la compresión, empleando equipos de alta precisión. Estas pruebas son fundamentales para determinar la capacidad de carga y la durabilidad del pavimento, proporcionando datos críticos para la planificación de intervenciones futuras en la infraestructura vial.

Importancia del Estudio

La extracción y análisis de núcleos de pavimento rígido permiten obtener datos precisos sobre la calidad y durabilidad de los materiales empleados en la construcción

vial. Este tipo de estudios es esencial para planificar actividades de mantenimiento y rehabilitación, así como para garantizar la seguridad y eficiencia del transporte.

Ilustración 21: Vista lateral del núcleo 2.



Nota: Vista lateral del núcleo 2 después del ensayo de tracción indirecta.

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Ilustración 22: Vista superior del núcleo 2



Nota: Vista superior del núcleo 2 después del ensayo a tracción directa.

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Ilustración 23: Vista frontal del núcleo 2.



Nota: Vista frontal del núcleo 2 después del ensayo a tracción directa.

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NUCLEOS DE HORMIGÓN ASTM C 39/ C 39M

UBICACIÓN: Calle Teodoro Alvarado Oleas

ORDEN No.: 001

CONTRATISTAS: Campos y Moscoso

DESCRIPCIÓN: Extracción de núcleos en pavimento rígido

Tabla 9: Resistencia a la Comprensión de Núcleos de Hormigón ASTM C 39/ C 39M

Núcleo n°	Origen	Fecha de extracción	Fecha de rotura	Edad (Días)	Masa (g)	Densidad (kg/m ³)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Factor de corrección	Carga de rotura (KN)	Resistencia a la compresión		Tipo de rotura
												(kg/cm ²)	(Mpa)	
1	1 11-06-2024 Avenida 1B NE 0+0210	21/6/2024	24/6/2024	3	1323.8	2148	141.0	74.60	4371	1.00	164.90	384.7	37.75	3
							141.0	74.60	4371					
2	1 11-06-2024 Avenida 1C NE 0+0462	21/6/2024	24/6/2024	3	1298.2	2106	141.0	74.60	4371	1.00	147.30	343.6	33.72	3
							141.0	74.60	4371					
3	1 11-06-2024 MARTINEZ QUEROLO 0+0660	21/6/2024	24/6/2024	3	1312.4	2130	141.0	74.60	4371	1.00	141.40	329.9	32.37	3
							141.0	74.60	4371					

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Análisis de Resultados

La tabla 9 muestra los resultados de un ensayo de núcleos de hormigón según la norma ASTM C39/C39M. Aquí están los detalles y su significado:

Detalles de los núcleos

- ✚ Núcleo n°: Identificación del núcleo.
- ✚ Origen: Ubicación específica de donde se extrajo el núcleo.
- ✚ Fecha de extracción: 21/06/2024.
- ✚ Fecha de rotura: 24/06/2024.
- ✚ Edad (Días): Tiempo desde la fabricación hasta la rotura del núcleo.
- ✚ Masa (g): Peso del núcleo.
- ✚ Densidad (kg/m³): Densidad del hormigón.
- ✚ Longitud (mm): Altura del núcleo.
- ✚ Diámetro (mm): Diámetro del núcleo.
- ✚ Área (mm²): Área de la sección transversal del núcleo.
- ✚ Factor de corrección: Ajuste necesario por la relación de aspecto del núcleo.
- ✚ Carga de rotura (KN): Fuerza máxima aplicada hasta la rotura del núcleo.
- ✚ Resistencia a la compresión ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ y MPa): Medida de la resistencia del hormigón bajo compresión.
- ✚ Tipo de rotura: Clasificación del tipo de fallo o rotura del núcleo.

Observaciones de la tabla

- Los núcleos provienen de diferentes ubicaciones, todas extraídas el mismo día.
- La resistencia a la compresión varía entre 32.37 MPa y 37.75 MPa.
- Las densidades están en un rango cercano (2129 a 2148 kg/m³).
- El tipo de rotura se clasifica como 3 en todos los casos.
- Este tipo de tabla es fundamental para evaluar la calidad y la resistencia del hormigón en estructuras existentes, permitiendo asegurar su adecuación a los estándares requeridos.

4.2.3. TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA)

Tabla 10: Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) Tramo Dr. Teodoro Alvarado Oleas

TRAMO Dr. Teodoro Alvarado Oleas					
TIPO DE VEHICULO	IMDS	TIEMPO DE RECORRIDO (MIN)	TIEMPO DE RECORRIDO (HORAS)	DISTRIB. %	VELOCIDAD PROMEDIO
Autos	60	27	0,45	37,97%	18,76
Camioneta SUV	18	28	0,47	11,39%	18,09
Camioneta	30	24	0,40	18,99%	21,11
Furgonetas	20	29	0,50	12,66%	16,89
Buses (escolares/publico)	25	30	0,50	15,82%	16,89
Camión 2E	5	30	0,50	3,16%	16,89
Camión 3E	0	-	-	0,00%	0,00
Camión 4E	0	-	-	0,00%	0,00
Trayler	0	-	-	0,00%	0,00
TOTAL IMD	158	-	-	100,00%	100,00%

Vehículos Ligeros	14,49
Vehículos Pesados	16,89

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Análisis de Resultados

Esta tabla proporciona datos sobre el tráfico vehicular en el tramo 1 - E1, clasificados por tipo de vehículo.

Análisis de la Tabla

- 1. Tipo de Vehículo:** Diferentes categorías de vehículos que transitan el tramo, incluyendo autos, camionetas SUV, camionetas, furgonetas, buses (escolar/público), y camiones de distintas configuraciones (2E, 3E, 4E, tráilers).
- 2. IMD (Índice Medio Diario):** Cantidad promedio de vehículos que transitan el tramo por día.
 - Autos: 60
 - Camioneta SUV: 18
 - Camioneta: 30
 - Furgonetas: 20
 - Bus (escolar/público): 25
 - Camión 2E: 4
 - Camión 3E, 4E, Tráiler: 0 (No se registraron en este tramo)
- 3. Tiempo de Recorrido (minutos y horas):** Tiempo que toma recorrer el tramo para cada tipo de vehículo.
 - Para autos, camionetas SUV, camionetas, y furgonetas, el tiempo es de 30 minutos (0.50 horas).
 - Para buses, es de 25 minutos (0.42 horas).
 - Para los camiones, no hay datos de tiempo de recorrido.
- 4. Distribución (%):** Porcentaje del total de vehículos que corresponde a cada tipo.
 - Autos: 38.22%
 - Camioneta SUV: 11.46%
 - Camioneta: 19.11%
 - Furgonetas: 12.74%
 - Bus: 15.92%

- ✚ Camión 2E: 2.55%
- ✚ Camión 3E, 4E, Tráiler: 0%

5. Velocidad Promedio (km/h): Velocidad media de los vehículos en el tramo.

- ✚ Vehículos ligeros (autos, SUV, camionetas, furgonetas): 16.89 km/h
- ✚ Vehículos pesados: No hay datos de velocidad para camiones ya que no se registraron en este tramo.

Observaciones

Predominancia de Autos: Los autos representan el mayor porcentaje del tráfico con un 38.22%, seguidos por las camionetas con un 19.11%.

Velocidad Uniforme: Todos los vehículos ligeros tienen la misma velocidad promedio de 16.89 km/h, lo que sugiere que las condiciones del tramo afectan de manera similar a estos tipos de vehículos.

Presencia Baja de Camiones: Solo se registra un pequeño porcentaje (2.55%) de camiones 2E, sin presencia de camiones más grandes en este tramo específico.

Conclusiones

La mayoría del tráfico en este tramo está compuesta por vehículos ligeros (autos, SUV, camionetas y furgonetas).

La velocidad promedio relativamente baja puede indicar congestión o condiciones del tramo que limitan la velocidad.

La falta de camiones grandes podría sugerir restricciones para vehículos pesados o una menor demanda de transporte pesado en esta ruta. Estos puntos te permitirán proporcionar una visión clara y detallada del comportamiento del tráfico en el tramo 1 - E1 durante tu exposición.

4.2.3.1. Composición del tráfico

Tabla 11: Composición del tráfico vehicular.

TIPO DE VEHICULO		LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	TPDS
AC	Autos	60	71	67	79	77	65	47	67
AC	Camioneta SUV	18	23	28	31	39	25	11	25
AP	Camioneta	30	33	35	41	36	37	19	33
AP	Furgonetas	20	18	24	19	24	14	7	18
B2	Buses (escolares/publico)	25	17	21	27	33	17	11	22
2DB	Camión 2E	5	2	5	7	6	2	1	4

TDP 168 VEH/DIA

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Tabla 12: Factor de crecimiento de un periodo de diseño 1 a 20 años.

Periodo de diseño	Factor de crecimiento
1	1,00
2	2,03
3	3,08
4	4,15
5	5,26
6	6,39
7	7,55
8	8,74
9	9,95
10	11,20
11	12,48
12	13,80
13	15,14
14	16,52
15	17,93
16	19,38
17	20,86
18	22,39
19	23,95
20	25,54

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Ilustración 24: Gráfica factor de crecimiento de un periodo de diseño de 1 a 20 años.



Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

El gráfico y la tabla que muestras representan el *factor de crecimiento* a lo largo de un período de 20 años, con valores que aumentan de manera significativa, lo que indica un deterioro progresivo de la estructura de un pavimento rígido.

Descripción del deterioro en un pavimento rígido a lo largo de 20 años:

Primeros años (1-5 años): El pavimento sufre un deterioro inicial relativamente lento, con un aumento en el factor de crecimiento que oscila entre 1,00 y 5,26. Durante esta etapa, el pavimento puede estar mostrando señales mínimas de desgaste, como fisuras menores o desgaste superficial.

Años intermedios (6-10 años): El deterioro se acelera, y el factor de crecimiento aumenta significativamente, alcanzando 11,20 en el año 10. Aquí, los daños podrían incluir fisuras más profundas, desprendimientos de material superficial, y la aparición de baches.

Años finales (11-20 años): El deterioro se vuelve más pronunciado y acelerado, con el factor de crecimiento aumentando de 12,48 a 25,54. En esta etapa, el pavimento probablemente ha alcanzado un estado crítico de desgaste, con posibles fallos estructurales, grandes áreas de material desprendido, y una pérdida significativa de funcionalidad y seguridad.

Este tipo de gráfico y análisis son útiles para la planificación del mantenimiento y la rehabilitación de pavimentos, ayudando a prever cuándo será necesario realizar reparaciones mayores o reemplazar el pavimento para mantener la seguridad y funcionalidad del camino

Análisis de RESULTADOS

1. Sumatoria Total de Vehículos por Semana:

- ✓ Autos: 466 vehículos
- ✓ Camioneta SUV: 175 vehículos
- ✓ Camioneta: 231 vehículos
- ✓ Furgonetas: 126 vehículos
- ✓ Buses (escolares/público): 151 vehículos
- ✓ Camión 2E: 28 vehículos
- ✓ Total General: 1,177 vehículos

2. TPDA Anual (Tránsito Promedio Diario Anual):

- ✓ Autos: 24,298.57 vehículos/año
- ✓ Camioneta SUV: 9,125 vehículos/año
- ✓ Camioneta: 12,045 vehículos/año
- ✓ Furgonetas: 6,570 vehículos/año
- ✓ Buses (escolares/público): 7,873.57 vehículos/año
- ✓ Camión 2E: 1,460 vehículos/año
- ✓ Total General: 61,372.14 vehículos/año

Esto significa que, en promedio, se espera que pasen alrededor de 61,372 vehículos al año por esta ubicación, considerando los diferentes tipos de vehículos.

4.2.4. Procedimiento para el Diseño de pavimentos rígidos

$$\text{Log } W_{18} = Z_R S_O + 7.35 \log (D + 1) - 0.06 + \frac{\log \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log \left[\frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right]} \right]$$

- W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.
- Z_R = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.
- S_O = Desvío estándar de todas las variables.
- D = Espesor de la losa del pavimento en pulgadas.
- ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.
- P_t = Serviciabilidad final.
- S'_c = Módulo de rotura del concreto en psi.
- J = Coeficiente de transferencia de carga.
- C_d = Coeficiente de drenaje.
- E_c = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.
- k = Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro), en pci $\left(\frac{\text{psi}}{\text{pulg}} \right)$.

4.2.4.1. Datos para el cálculo de un Pavimento Rígido

Tabla 13: Datos para calcular un Pavimento Rígido

Transito promedio diario	TPD	168	Veh/día
Tasa de crecimiento	r	2,5	%
Periodo de diseño	t	20	años
CBR de Subrasante	CBR	8	%
Temperatura Media anual promedio	TMAP		°C
Días promedio que llueve en la zona		77	días
Ancho de carril	C	8	m
Resistencia a la compresión de concreto	F'c	350	Kg/cm ²

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Tabla 14: Resultados para determinar el factor camión, n° de ESALs y Total de ESALSD (W18)

	Tipo de Vehículo	N° veh/día	N° veh/ año	Factor Dirección	Factor distribución	Factor de crecimiento	Factor Camión	n° de ESALs
AC	Autos	67	24455	50%	100%	25,54	0,000873	272,6073854
AC	Camioneta SUV	25	9125	50%	100%	25,54	0,000873	101,7191737
AP	Camioneta	33	12045	50%	100%	25,54	0,000873	134,2693092
AP	Furgonetas	18	6570	50%	100%	25,54	0,000873	73,23780503
B2	Buses (escolares/público)	22	8030	50%	100%	25,54	5,326369	546281,9989
2DB	Camión 2E	4	1460	50%	100%	25,54	4,607660	85921,80928
TOTAL DE ESALD (W18)								632785,6418

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

4.2.4.2. Determinación del Parámetro K

Análisis de Resultados

El parámetro K es el módulo de reacción de la subrasante o coeficiente de balasto, se lo obtiene con cualquiera de estas dos fórmulas, pero va a depender del valor del CBR de la subrasante:

Si el CBR de la subrasante es menor o igual que el 10% sea aplica dicha fórmula:

$$K = 2,55 + 52,5 \log(CBR) ; \text{ para } CBR \leq 10\%$$

Si este CBR es mayor que 10% se aplica esta:

$$K = 46 + 9,08 [\log(CBR)]^{4,34} ; \text{ para } CBR \geq 10\%$$

Tabla 15: Valores de K en Capa Granular no tratada y Capa estabilizada con cemento hidráulico.

K Subrasante	Valores de K			
	Capagranular no Tratada			
	10 cm	15	22,5	30
MPa/m	MPa/m	MPa/m	MPa /m	MPa /m
20	23	26	32	38
40	45	49	57	66
60	64	66	76	90
80	87	90	100	117
K Subrasante	Capa estabilizada con cementante hidráulico			
	10 cm	15	20	25
	MPa/m	MPa/m	MPa/m	MPa /m
20	60	80	105	135
40	100	130	185	230
60	140	190	245	-

Fuente: Base de Datos de Guía AASHTO 93, (1993)

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

En nuestros datos tenemos que el valor del CBR de la subrasante es de 8% es decir menos que el 10% por lo tanto aplicando esta primera ecuación: $K = 2,55 + 52,5 \log(CBR)$; *para CBR ≤ 10%*, reemplazando estos datos obtendremos un $K=49,96$ Mpa/m.

Tabla 16: Análisis de Resultados Determinación del Parámetro K

K	$2.55 + 52.5 \log (CBR)$	
K	49,96	Mpa/m
NUEVO K	57,47	Mpa/m
ESPESOR DE LA CAPA	15	cm

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Se consideró una capa granular, seguidamente elegimos el espesor de la capa como podemos ver podemos en la tabla 14 considerando una capa de 15 cm y automáticamente aquí obtenemos un nuevo parámetro k en este caso de 57.47 Mpa/m.

4.2.4.3. Módulo Elástico y Módulo de Rotura

Análisis de Resultados

el módulo de elasticidad del concreto sabemos que es un parámetro particularmente importante para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado la predicción de este valor se puede efectuar a partir de la resistencia a la compresión o flexo-tracción a través de correlaciones.

Formula del módulo elástico que vamos a utilizar:

$$E_c = 57000\sqrt{f'c} \quad (f'c \text{ en PSI})$$

El módulo de rotura o resistencia a la flexo-tracción en los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es que se introduce este parámetro en la ecuación Guía AASHTO 93

Fórmula módulo de rotura que se implementa:

$$M_r = a \sqrt{f'c} \quad (\text{Valores en } \frac{Kg}{cm^2})$$

Tal como se muestra en la tabla 17 nuestro análisis de datos al reemplazar la fórmula del módulo elástico se determinó que 27749,26 Mpa es nuestro valor de Modulo elástico, y el módulo de rotura es de 5,51 MPa.

Tabla 17: Análisis y Resultados del Módulo Elástico y Módulo De Rotura

Resistencia a la compresión de concreto	F'c	350	Kg/cm2
Modulo elástico	27749,26	Mpa	
Módulo de Rotura	5,51	Mpa	

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

4.2.4.4. Determinación del Índice de Serviciabilidad Inicial y Final para el Proyecto: ΔPSI

Análisis de Resultados

- Índice de serviciabilidad Inicial (P_0)

AASHTO recomienda un valor inicial de 4.5 para el índice de serviciabilidad (P_0) en pavimentos rígidos.

- Índice de serviciabilidad Final P_t

(P_t), representa el punto en el que el pavimento deja de cumplir con los estándares de comodidad y seguridad, variando según la importancia de la vía.

Tabla 18: Serviciabilidad final P_t para tipos de caminos

Tipo de camino	Serviciabilidad final P_t
Autopistas	3,00
Carreteras	2,50
Calles comerciales e industriales	2,25
Calles residenciales y estacionamientos	2,00

Fuente: Base de Datos de Guía AASHTO 93, (1993)

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

- $\Delta PSI =$ Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño = $P_0 - P_t$

Tabla 19: Resultados Índice de Serviciabilidad Inicial y Final para el Proyecto: Δ PSI

Índice de Serviciabilidad Inicial (Po)		
Tipo de pavimento	Pavimento Rígido	4,5

Índice de Serviciabilidad final (Pt)		
TIPO DE VIA	Calles comerciales e industriales	2,25
	Po=	4,5
	Pt=	2,25
	ΔPSI= Po- Pt	2,25

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

4.2.4.5. DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE DRENAJE (Cd)

Análisis de Resultados

Las condiciones de drenaje representan la probabilidad de que la estructura bajo la losa de concreto mantenga agua libre o humedad por un cierto tiempo, en general el tipo de drenaje depende de la permeabilidad de las capas de subbase, también del tipo de subrasante de las condiciones climáticas del grado de precipitaciones entre otros factores en este caso.

Para determinar el porcentaje de humedad de acuerdo a los días que llueve en nuestra zona del proyecto que según nuestros datos fue de 77 días convirtiéndolo estos 77 días en porcentaje tendríamos un únicamente que dividir entre 365 días del año y tenemos 21%.

Tabla 20: Determinación de los coeficientes de drenaje

HUMEDAD	77 días
Porcentaje	21%
drenaje	regular
Cd	0,95

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

La tabla 20 de la Guía AASHTO 93 clasifica las características del drenaje en función del tiempo que tarda el agua en ser eliminada y la exposición a grados de humedad próxima a la saturación.

Las categorías son:

- Excelente: drenaje rápido, poca exposición a humedad
- Bueno: drenaje moderado, exposición a humedad moderada
- Regular: drenaje promedio, exposición a humedad promedio
- Pobre: drenaje lento, exposición a humedad alta
- Muy malo: drenaje muy lento, exposición a humedad muy alta

En nuestro caso, con un drenaje regular, se obtiene un coeficiente de drenaje de 0.95 para un porcentaje de tiempo entre el 5% y el 25% en el que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación. Esto significa que el drenaje es promedio y el pavimento está expuesto a humedad durante un porcentaje moderado del tiempo.

Tabla 21: Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación				Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
	Menos de 1%	1 % - 5 %	5 % - 25 %	más del 25%	
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1,10	2 horas
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1,00	1 día
Mediano	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0,90	1 semana
Malo	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0,80	1 mes
Muy malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0,70	el agua no evacua

Fuente: Base de Datos de Guía AASHTO, (1993)

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

4.2.4.6. Determinación del nivel de confiabilidad (r)

Análisis de Resultados

La determinación del nivel de confiabilidad es un paso importante en el diseño de pavimentos, ya que permite cuantificar la variabilidad de los materiales y considerar un factor de seguridad para el tránsito previsto durante el período de diseño. Tal como se muestra en la tabla 22 Clasificación Funcional del nivel de confiabilidad (r), la Guía AASHTO 93 proporciona un nivel de confiabilidad en función de la clasificación funcional de la vía, el ámbito de la vía, que puede ser urbano o rural.

Tabla 22: Clasificación Funcional del nivel de confiabilidad (r).

Clasificación Funcional	R(%)	
	Urbano	Rural
Autopistas - Carreteras importantes	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias Principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Base de Datos de Guía AASHTO, (1993)

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

En nuestro caso de estudio, hemos seleccionado "Arterias principales" en un ámbito urbano, lo que te da un nivel de confiabilidad del 90%. Esto significa que estás considerando un nivel de seguridad alto para el diseño del pavimento, con un margen de error del 10%.

El rango de 80% a 99% se considera adecuado para arterias principales en ámbito urbano, por lo que el valor de 90% es un buen punto de partida para tu diseño.

Tabla 23: Resultados del nivel de confiabilidad (r)

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	Arterias Principales
ÁMBITO	Urbano
R	90%

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

4.2.4.7. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE FRACTIL DE LA LEY NORMAL CENTRADA (Zr)

Análisis de Resultados

La determinación del Valor de Fractil de la Ley Normal Centrada (Zr) es un paso importante en el diseño de pavimentos. Este valor depende del nivel de confiabilidad seleccionado, que en nuestro caso es del 90%.

La tabla de valores de Zr corresponde a diferentes porcentajes de confiabilidad, desde el 50% hasta el 99.99%. Tal como se muestra en la tabla 24 Determinación del Valor de Fractil de la Ley Normal Centrada (Zr), la Guía AASHTO 93

Tabla 24: Determinación del Valor de Fractil de la Ley Normal Centrada (Zr)

CONFIABILIDAD R (%)	(ZR)
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,647
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Fuente: Base de Datos de Guía AASHTO, (1993)

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

El valor de Zr se utiliza para calcular la carga de tránsito y la vida útil del pavimento, considerando la variabilidad de los materiales y la incertidumbre en la predicción del tránsito. Para un nivel de confiabilidad del 90%, el valor de Zr corresponde a una desviación estándar normal de -1.282.

Con un Zr de -1.282, se está considerando un nivel de seguridad alto para el diseño del pavimento, lo que significa que estás siendo conservador en un diseño y considerando un margen de error para cubrir posibles imprecisiones en la predicción del tránsito

Tabla 25: Resultados del Valor De Fractil De La Ley Normal Centrada (Zr)

Zr	-1,282
-----------	---------------

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

4.2.4.8. Determinación del error normal combinado (So)

Análisis de Resultados

La determinación del error normal combinado (So) es otro paso importante en el diseño de pavimentos. Este valor representa la variabilidad inherente en la construcción y materiales del pavimento.

La *tabla 26: Error normal combinado (So) en proyectos de pavimentos*, de la Guía AASHTO 93 proporciona valores de So en función del tipo de pavimento y si se trata de una construcción nueva o sobre capas existentes. En este caso, se seleccionó una construcción nueva de pavimento rígido, por lo que el valor de So correspondiente es 0.35, tal como se demuestra en la tabla 27.

Este valor de So se utiliza para calcular la carga de tránsito y la vida útil del pavimento, considerando la variabilidad en la construcción y materiales. Un valor de So de 0.35 indica una moderada variabilidad en la construcción y materiales del pavimento rígido. Con este valor de So, puedes calcular la carga de tránsito y la vida útil del pavimento, utilizando las fórmulas y procedimientos establecidos en la Guía AASHTO 93.

Tabla 26: Error normal combinado (So) en proyectos de pavimentos

Proyecto de Pavimento	So	
	Flexible	Rígido
	0,40 - 0,50	0,30 - 0,40
Construcción nueva	0,45	0,35
Sobrecapas	0,50	0,40

Fuente: Base de Datos de Guía AASHTO 93, (1993)

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

Tabla 27: Resultados del Error normal combinado (So)

Proyecto de Pavimento	Construcción nueva
So	0,35

Elaborado por: Campos y Moscoso (2024)

4.2.4.9. Determinación del coeficiente de transferencia de carga (J)

Análisis de Resultados

La determinación del coeficiente de transferencia de carga (J) es un parámetro crucial en el diseño de pavimentos rígidos de concreto, ya que expresa la capacidad de la estructura para transmitir cargas entre juntas y fisuras.

La tabla de la Guía AASHTO 93 proporciona valores de J en función de varios factores, incluyendo:

- Tipo de pavimento
- Existencia y tipo de bermas (confinamiento lateral)
- Tipo de juntas (con pasadores, dowels, barras de transferencia o sin ellas)

Tabla 28: Determinación del coeficiente de transferencia de carga (J)

Pavimento	J	
	Juntas	
	C/Pasadores	S/Pasadores
Confinado Lateralmente	2,70	4,20
No Confinado Lateralmente	3,20	4,40

Fuente: Base de Datos de Guía AASHTO 93, (1993)

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

En este caso, se seleccionó:

- Juntas con dowels (barras de transferencia)
- Pavimento confinado lateralmente (con bermas)

Lo que corresponde a un coeficiente de transferencia de carga (J) de 2.70.

Este valor de J se utiliza para calcular la capacidad de carga del pavimento y la distribución de esfuerzos en la estructura. Un valor de J de 2.70 indica una buena capacidad de transferencia de carga entre juntas y fisuras.

Las bermas, como mencionas, tienen varios propósitos:

- Proporcionar soporte de borde a la calzada del pavimento
- Asistir a los vehículos en problemas
- Incrementar la seguridad
- Prevenir la erosión de las capas inferiores
- Pueden ser de concreto, asfalto o materiales granulares.

Tabla 29: Resultados Determinación del coeficiente de transferencia de carga (J)

Juntas	Con Pasadores
Pavimento	Confinado Lateralmente
J	2,70

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

4.2.4.9.1. Dowels

Los pasadores o "dowels" son elementos críticos en la construcción de pavimentos rígidos, ya que permiten la transferencia de cargas entre paños adyacentes a través de las juntas. Su diseño debe considerar tanto la dilatación del concreto como la transferencia de cargas a través del pasador, para asegurar una funcionalidad óptima de la junta (Solano Cahuaya y Espinosa Nieto, 2021).

Es un componente prefabricado que facilita la construcción de pavimentos rígidos. Compuesto por una canastilla metálica soldada que mantiene en su lugar barras de acero, llamadas pasadores, en un solo lado. Este diseño permite que los pasadores se inserten en el concreto sin obstáculos y mantengan su posición exacta durante el vertido. De esta manera, garantiza una alineación precisa y una transferencia de cargas efectiva, resistiendo la presión y el peso del concreto. Su uso simplifica el proceso de construcción y asegura una mayor durabilidad en los pavimentos rígidos.

Tabla 30: Dowels - Beneficios y Aplicaciones

DOWELS

BENEFICIOS

Seguridad	Previenen la rotura de bordes en juntas por el flujo de cargas.
Precisión constructiva	Mantienen la alineación exacta de las barras durante la construcción.
Resistencia en el vaciado	Su solidez permite soportar el vaciado del hormigón sin deformaciones.
Eficiencia económica	Son elementos prefabricados, fáciles de instalar, y reducen la mano de obra.

APLICACIONES

- ✓ Pavimentos en infraestructuras viales (vías, carreteras, avenidas) y aeroportuaria.
- ✓ Pisos de helipuertos y pisos industriales.
- ✓ Áreas de estacionamiento con alto tráfico (Pacios y playas de parqueo).

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

4.2.4.10. Cálculo del Espesor de la Losa para el Pavimento (D)

Análisis de Resultados

Se aplicó la ecuación de la Guía AASHTO 93 para calcular el espesor de la losa de concreto para el pavimento. La ecuación tiene varias variables que han ido calculando en los pasos anteriores.

Para despejar la variable "d" (espesor del pavimento), hemos utilizado un método iterativo en Excel, asumiendo un valor inicial de 250 mm y ajustándolo hasta que la diferencia entre los dos miembros de la ecuación sea igual a cero.

El resultado final es un espesor de 190,53 mm, que redondeas a 19,05 cm = 20 cm. Este valor es el espesor mínimo requerido para la losa de concreto, considerando las cargas y condiciones de diseño especificadas.

Recuerda que es importante considerar un valor redondeado y mayor al calculado para asegurarte de que el pavimento tenga una capacidad de carga adecuada y una vida útil prolongada.

Tabla 31: Resultados de los datos obtenidos del pavimento

W18	632785,6418
Zr	-1,282
So	0,35
D	190,52 mm
ΔPSI	2,25
Pt	2,25
Mr	4,26 MPa
Cd	0,95
J	2,70
Ec	21495,20 MPa
K	57,47 MPa/m
Dconcreto	19,05 = 20 cm

Elaborado por: Campos y Moscoso, (2024)

CONCLUSIONES

1. En conclusión, el estudio del agrietamiento en el pavimento fue fundamental para identificar las causas subyacentes y patrones de desarrollo de grietas, permitiendo desarrollar estrategias efectivas para mejorar la durabilidad y seguridad de la infraestructura vial. Al comprender los factores que contribuyen al agrietamiento, se pueden identificar la influencia de las cargas con su respectivo incremento exponencial, teniendo un crecimiento lineal, en el deterioro de la vía para su respectivo periodo de diseño de 20 años. Se determinó que la capa de rodadura hecha de pavimento rígido tuvo un deterioro del 25,5% a lo largo de su vida útil.
2. Análisis de la influencia de las cargas de los vehículos en la deformación del pavimento duro Dr. La calle Teodoro Alvarado Oleas muestra que cargas repetidas y de alta intensidad influyen fuertemente en la deformación y agrietamiento del pavimento. Los datos obtenidos muestran que la superficie de la carretera se deforma significativamente en condiciones de tráfico intenso, enfatizando la necesidad de ajustar los parámetros de diseño para soportar las cargas vehiculares esperadas, como el incremento de la resistencia del hormigón, se tenía un valor de 210 kg/cm² pero se aumentó a de 350 kg/cm², dando así un espesor de losa de concreto para nuestro pavimento de 19,05 cm = 20 cm y una sub-base granular de 15 cm. Las mejoras en el diseño de los pavimentos, como el refuerzo con materiales más resistentes y una mejor distribución de la carga, son esenciales para mejorar la durabilidad y funcionalidad de las calles en cuestión.
3. La evaluación de la resistencia de núcleos de pavimento duro utilizando la mecánica de materiales muestra que la capacidad del núcleo para soportar la carga se ve afectada por la calidad del hormigón y las condiciones de curado. Los resultados obtenidos indicaron que la resistencia de algunas muestras fue menor a la esperada, indicando posibles defectos en la mezcla o proceso constructivo. Estos resultados

resaltan la importancia de seguir las especificaciones de ingeniería y controlar cuidadosamente los parámetros de fabricación para garantizar la integridad estructural del pavimento. La implementación de mejoras en la calidad del concreto y los procedimientos de construcción puede aumentar significativamente la durabilidad y el ciclo de vida de los pavimentos nivelados.

4. En conclusión, el diseño óptimo del recubrimiento duro en la calle Teodoro Alvarado Oleas se logró mediante un análisis exhaustivo de las condiciones del tránsito, carga vehicular y características del suelo. La combinación de hormigón de alta resistencia y estructuras de refuerzo adecuadas mejora significativamente la durabilidad y rendimiento de los pavimentos. Un diseño con espesor mejorado y supervisión efectiva de la calidad durante la construcción, junto con el uso de Dowels para transferir cargas entre paños adyacentes, garantizando una infraestructura vial duradera y eficiente. En el caso de nuestro pavimento se determinó un espesor de 20 cm en la losa de concreto con Dowels ya que su coeficiente de transferencia de carga que se implemento fue de 2,70 con dando así con pasadores y un confinado lateralmente, determinando después las dimensiones en los pasadores de: diámetro de 1" longitud dl pasador de 41 cm y una separación entre barras de 30 cm y dimensiones en las barras de anclajes en juntas longitudinal de: un diámetro de anclaje de $\frac{1}{2}$ ", una longitud de anclaje d 76 cm y una separación entre barras de 76 cm. Esto se logra mediante una alineación precisa, transferencia de cargas efectiva y resistencia a la presión y peso del concreto, lo que reduce las grietas y asegura una vida más larga y eficiencia de la infraestructura vial.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar la evaluación básica para resolver problemas de diseño. El duro pavimento de la calle Teodoro Alvarado Oleas requiere de un cuidado para asegurar un diseño duradero y eficaz. La primera recomendación es realizar un análisis exhaustivo de las muestras de núcleos recolectadas del pavimento existente. Este análisis debe incluir pruebas de resistencia a la compresión, mediciones del espesor del concreto y evaluaciones de la calidad del material. Las inspecciones deben identificar posibles fenómenos patológicos como grietas, degradación del material y defectos estructurales. Estos datos determinarán la integridad estructural del pavimento actual y proporcionarán información importante para desarrollar soluciones de pavimento rígido para abordar las deficiencias identificadas.
2. La segunda recomendación es realizar un estudio integral de tráfico y carga en el Dr. Calle Teodoro Alvarado Oleas. Esto incluye evaluar los volúmenes de tráfico, los tipos de vehículos y las cargas por eje que afectan la carretera. Esta información es esencial para dimensionar correctamente su nueva superficie dura. A partir de los datos de tráfico, se debe calcular la capacidad portante requerida del pavimento, teniendo en cuenta factores como el crecimiento esperado del tráfico y las condiciones climáticas.
3. Con estos parámetros se deben diseñar pavimentos que resistan no sólo las condiciones actuales sino también las futuras, asegurando una larga vida útil y un mínimo mantenimiento. Además, es muy importante elegir materiales de calidad y utilizar las mejores prácticas de construcción. Los materiales para la nueva cubierta dura deben seleccionarse en función de los resultados del análisis central y las especificaciones de carga. El proyecto debe incluir una mezcla de concreto con suficientes propiedades de resistencia y durabilidad, así como técnicas constructivas que aseguren la adecuada colocación y compactación de los materiales. Se recomienda implementar estrictos

procedimientos de control de calidad durante la construcción para evitar defectos que puedan afectar el desempeño del pavimento.

4. Finalmente, se recomienda un mantenimiento preventivo y un programa de monitoreo continuo para superficies duras nuevas. Aunque el diseño y la construcción son de alta calidad, los pavimentos requieren una inspección periódica para que cualquier problema que surja pueda identificarse y solucionarse antes de que ocurran fallas importantes. Un programa de mantenimiento debe incluir una evaluación periódica del estado del pavimento, reparación de grietas y otros daños menores, y mantenimiento de la superficie para garantizar su funcionalidad y apariencia. Implementar un programa de mantenimiento efectivo no sólo extenderá la longevidad de su pavimento, además garantizará que funcione de manera óptima en el tiempo, beneficiando a los usuarios de la vía y a las autoridades responsables de su gestión.

Bibliografía

AASHTO 93 . (1993).

Barrera Bello, C. A. (2022). *Propuesta de un modelo de negocio para la producción y comercialización de mortero modificado en su agregado fino por bagazo de caña de azúcar*. BOGOTÁ.
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/1db7fce7-cc97-49d3-bb99-c715fb60a67f/content>

Barrientos Ayma, S. (2021). *Propiedades físicas y mecánicas del concreto $f'c=210$ kg/cm² en pavimentos rígidos con adición de almidón de cebada*, Cusco 2021. LIMA NORTE, PERÚ.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/64582/Barrientos_AS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Beltrán Vela, D. (2020). *Evaluación de los factores que pueden afectar la apariencia de una superficie de concreto texturizada por medio de lavado abrasivo (sandblasting)*. Bogot, Colombia.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78275>

Caballero Livia, M. (2018). *Efectos de las fibras metálicas en el concreto simple aplicado a losas de pisos industriales*, Lima 2017. LIMA, PERÚ.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/56899/Caballero_LML-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cardoza-Zambrano, M., Palomino Cadena, K., y Angulo-Blanquissett, G. (July de 2019). <https://doi.org/10.25213/2216-1872.16>

Cerón Calderón, J. (2023). *Efecto de las fibras pet recicladas como refuerzo del concreto en el comportamiento mecánico de las estructuras de pavimento rígido*. BOGOTÁ D.C.
<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/812f546a-e701-4bd7-a55f-99ac0134d182/content>

- Chapalvay Aulla, E. S., y Pazmiño Reyes, M. I. (2022). Diseño y análisis de la deformación, resistencia del concreto asfáltico en caliente utilizando roca volcánica. vermiculita, PET como agregados. Ecuador: Guayaquil: ULVR, 2022. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4997>
- Chaves Pabón, S., y Castellanos Guerrero, W. (2020). Efecto del envejecimiento de mezclas asfálticas en el ciclo de vida del pavimento desde el aspecto técnico y ambiental. *17*, 7-23. Revista Vínculos. <https://geox.udistrital.edu.co/index.php/vinculos/article/view/16227/15831>
- Ferrer Esquivel , E., y Soliz Díaz , S. (2020). Material reciclado y reducción del agrietamiento en pavimentos rígido. Perú. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/27041/Ferrer%20Esquivel%20Eloiza%20Vanessa_Soliz%20D%c3%adaz%20Sandra%20Eloisa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Flores Bolaños, R., y Toro Jaramillo, C. (2 de febrero de 2024). Cálculo de curvas de fragilidad de estructuras de hormigón armado de un piso alto con vigas banda y cubierta liviana en residencias ubicadas en vía a la Costa, Guayaquil – Ecuador. Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/22749>
- Gavilanes Pérez, S. (Marzo de 2023). Evaluación de las vías urbanas en el cantón ambato del sector comprendido entre la avenida real audiencia de quito, avenida bolivariana, avenida galo vela y calle sócrates. Ambato, ECUADOR: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37506/1/Tesis%20I.C.%201702%20-%20Gavilanes%20P%c3%a9rez%20Susana%20Daniela.pdf>
- Giordani , C., y Leone , D. (2018). Pavimentos. *Pavimentos*. ARGENTINA. <https://docplayer.es/67943552-Pavimentos-docentes-ing-claudio-giordani-ing-diego-leone-1o-ano-ingenieria-civil-comision-02-turno-tarde.html>
- Guayanlema Sinaluisa, J. C., y Ruiz Huaraca, R. M. (2024). Evaluación de las principales condiciones físicas e hidráulicas del pavimento rígido existente en

la vía Pallatanga-Cumandá. 17. Riobamba, Ecuador.
http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/13097/1/Guayanlema%20S.%20Jhonnatan%20C.%3b%20Ruiz%20H%2c%20Rene%20M.%282024%29_Evaluaci%3%b3n%20de%20las%20principales%20condiciones%20f%3%adsicas%20e%20hidr%3%a1ulicas%20del%20pavimento%20r%3%adgido.pdf

Guerra Chayña, P., y Guerra Ramos, C. (Septiembre de 2020). Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible. 20, 121-140. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2020000200008

Huamán Contreras, A., Murga Tirado, C., Massa Palacios, L., y Olivera Chura, A. (21 de junio de 2023). Ciclo de vida del pavimento orientado a su agrietamiento y mantenimiento. 4(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.47797/llamkasun.v4i1.117>

Inforcivil. (12 de septiembre de 2023). Componentes de la Estructura del Pavimento de la Carretera. <https://inforcivil.com/componentes-de-la-estructura-del-pavimento-de-la-carretera/>

Llerena Torrejón, L., y Ticlla Sánchez, J. C. (19 de Noviembre de 2020). Estudio y Evaluación del concreto permeable en un pavimento rígido según la Norma ACI 522R-10. Lima.
https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3561/Luis_Tra_bajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mancheno Guallichico , M., y Salazar Pozo, B. (2021). Diseño de Hormigón Permeable de Alta Resistencia, con Adición de Aditivo Espumante y Perlas de Poliestireno Expandido, para la aplicación en Pavimentos. Quito.
<https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/d77c4792-e72a-4e2a-b82f-992c66e1eb57/content>

Mantilla Carpio, E. (2023). TIPOLOGÍA DE ESPACIO PÚBLICO ABIERTO RESILIENTE ANTE INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL. GUAYAQUIL, ECUADOR.
<http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/6054/1/T-ULVR-4934.pdf>

Martínez Quinto, J., y Osorio Guerra, N. (2023). *DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO CON CONCHA DE COCO Y HORMIGON.*
<http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/6156>

Monsalve Tabares , K., Rodriguez Villamizar, A., Torrado Barreto, F., y Vergara Cala, J. (2022). Patologías de la estructura vial del pavimento Rígido.
<https://www.formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/75/47>

Murga Tirado, C. E., Flores Benites, A., Vasquez Salazar, A. G., y Vilcahuaman Tadeo, R. (17 de Noviembre de 2023). Mejora del Rendimiento de Pavimentos Rígidos mediante el Uso de Métodos Modernos en la Optimización de Capas. 3(3). PERÚ.
<https://www.journal.gnosiswisdom.pe/index.php/revista/article/view/65/62>

Navarrete Sánchez, E. (13 de Septiembre de 2021). Empleo de la prueba “ideal” para el control del agrietamiento en mezclas asfálticas.
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/17465/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-418.pdf>

Navarro Perez, A. (2020). Diagnóstico de las Patologías en estructuras y condición de la superficie de rodadura en Pavimentos de la Avenida Cusco del Distrito de San Juan Bautista, Provincia de Huamanga, Departamento Ayacucho - 2019. AYACUCHO, PERÚ.
https://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13032/21193/CONCRETO_PATOLOGIAS_PAVIMENTO_PCI_SEVERIDAD_NAVARRO_PEREZ_ADRIAN_ALBERTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

NEVI-12-MTOP. (2013). Clasificación funcional de las vías en base al TPDAd. 2, A. QUITO. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf

Ospina Gomez, J. (2021). Avances tecnológicos para la autorreparación de grietas para materiales de construcción de pavimentos rígidos. Bogotá, Colombia.
<https://repositorio.uan.edu.co/server/api/core/bitstreams/2d48a732-32bf-4eab-97af-f536852d54b4/content>

- Padilla Peña, S., y Triana, C. (2022). Comparación de los resultados de ensayos destructivos y no destructivos en especímenes cilíndricos de concreto en condiciones ideales de laboratorio. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/4aaaf157-a480-4eee-a762-94df9fd84d94/content>
- Palacio Garcia, A. (2021). Estudio para la rehabilitación de pavimentos rígidos analizando el grado de deterioro debido a las acciones físicas químicas y ambientales utilizando la técnica de hormigón granallado. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Guayaquil: ULVR, 2021. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4234>
- Palacio Garcia, A. (2021). Estudio para la rehabilitación de pavimentos rígidos analizando el grado de deterioro debido a las acciones físicas químicas y ambientales utilizando la técnica de hormigón granallado. GUAYAQUIL: Guayaquil: ULVR, 2021. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/4234>
- Paredes, N., y Silva, A. P. (2024). Propuesta comparativa de las propiedades mecánicas entre un pavimento rígido tradicional y uno adicionando fibras metálicas. GUAYAQUIL, ECUADOR: Guayaquil: ULVR, 2024. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/7240>
- Pazmiño Chiluzza, H., y Sanipatín Chiluzza, M. (29 de mayo de 2024). Características físicas e hidráulicas del pavimento rígido existente en la vía Balbanera – Pallatanga en la provincia de Chimborazo. Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/13077>
- Pozo Olvera, C. M. (2022). Pavimento rígido optimizado tcp aplicado en las vías. GUAYAQUIL, ECUADOR. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/5404/1/T-ULVR-4394.pdf>
- Pucha Aguinza, P., y Zárate Torres, B. (2020). Evaluación superficial de pavimentos rígidos en carreteras mediante ortoimágenes obtenidas mediante un vehículo aéreo no tripulado. ECUADOR. <https://doi.org/https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6599>

Quintos Calluchi, A. (2020). Propiedades mecánicas del concreto adicionando vidrio y PET reciclado en el uso de pavimentos rígidos, Lima 2019. LIMA, PERÚ.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50881/Quintos_CAD-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ramírez Galindo, H. (2022). Inspección visual de afectaciones y daños en el pavimento rígido de la vía calle 81 sur entre carrera 14 hasta carrera 5 del barrio gran yomasa localidad de usme. Bogotá D.C, Colombia.
<https://repositorio.uan.edu.co/server/api/core/bitstreams/d8e35ece-f5e3-4145-89bc-d20e0efc4bde/content>

Requejo Díaz, D., y Villanueva López, A. (2021). Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto utilizando caucho reciclado, aditivo plastificante y microsilíce en pavimentos rígidos. CHICLAYO, PERÚ.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84671>

Rivera Hernández, L., y Viteri Toscano, P. (8 de septiembre de 2023). Propuesta de un falso túnel atirantado como solución a deslizamientos en la carretera Cuenca - Molleturo. Guayaquil, Ecuador.
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/21865>

Sanipatín Chiluiza, M. (2024). *Características físicas e hidráulicas del pavimento rígido existente en la vía Balbanera – Pallatanga en la provincia de Chimborazo.* Riobamba, Ecuador.
http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/13077/1/Sanipat%c3%adn%20Ch.%2c%20Michael%20R.%282024%29_Caracter%c3%adsticas%20f%c3%adsticas%20e%20hidr%c3%a1ulicas%20del%20pavimento%20r%c3%adgido%20existente%20en%20la%20v%c3%ada%20Balbanera%20%282%29.pdf

Solano Cahuaya, L., y Espinosa Nieto, L. (2021). Análisis comparativo del diseño de espesor de la capa de rodadura de pavimentos rígidos según las metodologías. Lima.
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/20303/SOLANO_ESPINOZA_ZAPATA_ZEVILLANOS_MOGOLLON_ANALISIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Solís Vásquez, D., y Zhunio Minchala, B. (2022). Alternativas de diseño de la vía Tulipe-Las Tolas (longitud 6 km) en la parroquia de Gualea, cantón Quito, provincia de Pichincha. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/71a5846a-4327-47c7-a521-0ba5de0d5549>
- Terán Amen, A., y García Barzola, A. (2022). El pavimento flexible y el método whitetopping en comparación al método tradicional para la rehabilitación de la vía principal del recinto Barranca de la ciudad de Samborondón. Guayaquil, Ecuador: Guayaquil: ULVR, 2022. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5372>
- Toribio Huamani, D. R., y Ugaz Arenas, J. A. (2021). Evaluación del concreto reforzado con fibras de acero recicladas para mejorar las propiedades de un pavimento rígido. LIMA, PERÚ. https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/8860/toribio_hdr-ugaz_aja.pdf
- Vargas G., I., y Villegas, J. (2023). Estudio Patológico y de Metodología para la intervención de la estructura de pavimento rígido de la malla vial en el municipio de Iquira - Huila. Bogotá. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/51792/2023villegasjorge%2cvargasisaias.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vásquez Agip , J. (2020). Comparación entre el diseño de pavimento rígido y flexible reforzados con geomalla biaxial en la pavimentación de la av. Perú de la ciudad de Chota- Cajamarca. Cajamarca, Perú. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3945>
- Vasquez Lazo, B. A. (2022). Diseño del pavimento rígido adicionando ceniza de cáscara de huevo en la avenida mi Próceres en Chilca 2022. LIMA, PERÚ. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/102368>
- Vela Ruiz, A., y Zegarra García, M. (2019). Diseño de pavimento rígido con fibra de acero para mejorar la resistencia del concreto en el diseño de la infraestructura

vial en los jirones José Olaya y Sevilla, Morales, 2018. TARAPOTO , PERÚ .
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/31406>

Zapata et al. (2021). Análisis del ciclo de vida en pavimentos: actualidad y perspectiva.
Analysis of the life cycle in pavements: current situation and perspective, vol. 3.
3. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/266/2662024009/>

Zea, P., y Escalante, S. (2024). Propuesta comparativa de las propiedades mecánicas entre un pavimento rígido tradicional y uno adicionando fibras metálicas. GUAYAQUIL. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/7240/1/T-ULVR-5505.pdf>

ANEXOS

Anexos 1: Compactación y preparado de terreno antes de fundir



Anexos 2: Desalojo de materiales



Anexos 3: Utilización de DOWEL para el pavimento a fundir



Anexos 4: Compactado de suelo previo al mejoramiento de terreno



Anexos 5: Limitación del área de trabajo.



Anexos 6: Vaciado de hormigón en el terreno con instalación de Dowels.



Anexos 7: Levantamiento y desalojo de paños afectados.



Anexos 8: Traslado de material pétreos

