



# **UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA**

### **PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

Propuesta de diseño en pavimentos rígidos con incorporación de fibra de micro polipropileno para aumentar la resistencia a flexión, en la Av. Huancaray, cuadra 1 a 6, Lima

#### **TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

#### **AUTOR(ES)**

Julon Zambrano, Liliana Esmely  
Zarate Bartolo, Brighithe Fabiola

0000-0001-5780-9044  
0000-0002-3663-8140

#### **ASESOR(ES)**

Campos De La Cruz, Fernando José

0000-0002-7827-2861

**Lima, 12 de marzo de 2024**

## **Dedicatoria**

Esta investigación está dedicado a nuestros padres por formarnos como somos hoy en día, les debemos muchos de nuestros logros, incluido este. Ya que, en todo el transcurso de nuestra carrera nos motivaron para lograr nuestras aspiraciones.

## **Agradecimientos**

A nuestra casa de estudio Universidad Aplicada de Ciencias Aplicadas por facilitarnos las instalaciones y servicios. Así mismos a los profesores de la carrera de Ingeniería Civil, por brindarnos sus conocimientos.

A nuestros padres, por su guía, comprensión y consejos brindados en el proceso de la investigación.

## Resumen

El objetivo de esta investigación es demostrar que la inclusión de microfibras de polipropileno puede conducir a mejoras en las propiedades mecánicas del pavimento rígido en la Av. Huancaray, específicamente en el tramo comprendido entre la Av. Ruiseñores y la Av. Colectora Industrial. Esta avenida experimenta un volumen de tráfico significativo, ya que funciona como una ruta alternativa a la carretera central, aunque no fue originalmente diseñada para soportar tal carga vehicular. Además, el estado de la capa asfáltica en la vía se encontraba en condiciones deficientes, lo que se confirmó mediante la evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI), que arrojó una calificación "mala" y requiere un rediseño.

Para ello se realizó el diseño de mezcla mediante el método del ACI con incorporación de 0.5%, 1% y 1.5% de microfibra de polipropileno del peso del cemento.

Luego se evaluó la resistencia de compresión y flexión mediante ensayos de laboratorio en vigas normalizadas, obteniendo resultados que con la incorporación de 1.5% de microfibra de polipropileno la resistencia aumenta en un 15% y 17% a comparación de la muestra convencional.

Por último, con los datos obtenidos de compresión y flexión se analizó la deformación total, tensión equivalente y tensión elástica normal mediante el software Ansys dando como resultado que con el 1.5% de microfibra la deformación es menor en un 30%.

Palabras claves: Pavimento rígido; microfibra de polipropileno; PCI; concreto; resistencia a la flexión; resistencia a la compresión.

Design proposal for rigid pavements with the incorporation of micro polypropylene fiber to increase flexural resistance, on Av. Huancaray, block 1 to 6, Lima

### **Abstract**

The objective of this research is to demonstrate that the inclusion of polypropylene microfibers can lead to improvements in the mechanical properties of the rigid pavement on Av. Huancaray, specifically in the section between Av. Ruiseñores and Av. Colectora Industrial. This avenue experiences a significant volume of traffic, as it functions as an alternative route to the central highway, although it was not originally designed to support such vehicular load. Additionally, the condition of the asphalt layer on the road was in poor condition, which was confirmed by the Pavement Condition Index (PCI) evaluation, which returned a "poor" rating and required redesign.

For this, the mix design was carried out using the ACI method with the incorporation of 0.5%, 1% and 1.5% of polypropylene microfiber by the weight of the cement.

Then the compression and bending resistance was evaluated through laboratory tests on normalized beams, obtaining results that with the incorporation of 1.5% of polypropylene microfiber the resistance increases by 15% and 17% compared to the conventional sample.

Finally, with the data obtained from compression and flexion, the total deformation, equivalent tension and normal elastic tension were analyzed using the Ansys software, resulting in 30% less deformation with 1.5% microfiber.

**Keywords:** Rigid pavement; micro polypropylene fiber; PCI; concrete; flexural strength; compressive strength.

# u20181a449\_Julon Zambrano, Liliana Esmely\_Propuesta de diseño en pavimentos rígidos con incorporación de fibra de micro polipropileno para aumentar la resistencia a flexión, en la Av. Huancaray, cuadr

## ORIGINALITY REPORT

13%

SIMILARITY INDEX

12%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="https://repositorioacademico.upc.edu.pe">repositorioacademico.upc.edu.pe</a> Internet Source	6%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet Source	3%
3	<a href="https://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Internet Source	1%
4	<a href="https://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Internet Source	1%
5	<a href="https://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Internet Source	<1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Student Paper	<1%
7	<a href="https://biblioteca.itson.mx">biblioteca.itson.mx</a> Internet Source	<1%
8	<a href="https://upc.aws.openrepository.com">upc.aws.openrepository.com</a> Internet Source	<1%

## Tabla de contenido

<b>Capítulo I – Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Formulación del problema .....	3
1.3. Estado del arte .....	3
1.4. Justificación e importancia .....	9
1.5 Hipótesis y objetivo .....	10
1.5.1 Hipótesis.....	10
1.5.2 Objetivo de la investigación .....	10
1.6 Limitaciones .....	11
<b>Capítulo II – Marco teórico .....</b>	<b>12</b>
2.1 Pavimentos vehiculares .....	12
2.1.1 Pavimento flexible.....	12
2.1.2 Pavimento rígido .....	14
2.2 Concreto.....	15
2.2.1 Propiedades del concreto.....	15
2.2.2 Componentes .....	16
2.2.3 Propiedades del concreto en estado fresco y consolidado .....	21
2.3 Dowels en pavimentos rígidos .....	22
2.4 Refuerzos de fibra .....	23
2.4.1 Definición .....	23
2.4.2 Clasificación de fibras .....	24
2.5 Método PCI.....	26
2.5.1 Definición.....	26
2.5.2 Tipos de fallas según el método PCI .....	27
2.6 Modelado computacional de un pavimento computacional .....	28
2.6.1 Método de elementos finitos (MEF) .....	28

2.6.2 <i>Software ansys</i> .....	28
<b>Capítulo III – Metodología</b> .....	<b>29</b>
3.1 Generalidades .....	29
3.2 Información de campo .....	29
3.2.1 <i>Fallas en la zona de estudio</i> .....	30
3.3 Análisis con el método PCI.....	33
3.4 Diseño de mezcla con el método ACI .....	39
3.4.1 <i>Diseño de mezcla para la losa estándar:</i> .....	39
3.4.2 <i>Diseño de mezcla para el pavimento con fibra de refuerzo</i> .....	40
3.5 Ensayo a flexión de vigas normalizadas .....	41
3.6 Ensayo a compresión de cilindros .....	43
3.7 Análisis con el software ansys .....	46
<b>Capítulo IV – Análisis de los resultados</b> .....	<b>49</b>
4.1 Método de PCI .....	49
4.2 Ensayo de flexión .....	49
4.3 Ensayo de compresión .....	50
<b>Capítulo V – Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>53</b>
5.1 Conclusiones .....	53
5.2 Recomendaciones .....	54
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	<b>55</b>
<b>Anexo(s)</b> .....	<b>64</b>

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b>	<i>Resultados del ensayo a flexión de vigas normalizadas a los 7, 14, 21 y 28 días. ..</i>	42
<b>Tabla 2</b>	<i>Resultados del ensayo de compresión de cilindros a los 7, 14, 21 y 28 días.....</i>	45
<b>Tabla 3</b>	<i>Resultados del análisis computacional.....</i>	51

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Estructura del pavimento flexible</i> .....	13
<b>Figura 2</b> <i>Distribución de capas del pavimento rígido</i> .....	14
<b>Figura 3</b> <i>Requerimientos del agua para la mezcla</i> .....	17
<b>Figura 4</b> <i>Granulometría del agregado fino</i> .....	18
<b>Figura 5</b> <i>Granulometría del agregado grueso</i> .....	18
<b>Figura 6</b> <i>Rangos de clasificación del PCI</i> .....	26
<b>Figura 7</b> <i>Método de aplicación del índice de condición del pavimento</i> .....	27
<b>Figura 8</b> <i>Tipos de fallas según el método del PCI</i> .....	27
<b>Figura 9</b> <i>Zona de estudio</i> .....	30
<b>Figura 10</b> <i>Croquis de la zona de estudio</i> .....	30
<b>Figura 11</b> <i>Falla piel de cocodrilo</i> .....	31
<b>Figura 12</b> <i>Bache en la carpeta asfáltica</i> .....	32
<b>Figura 13</b> <i>Fisuras transversales</i> .....	32
<b>Figura 14</b> <i>Ábaco de la falla piel de cocodrilo</i> .....	34
<b>Figura 15</b> <i>Ábaco de la falla de huecos</i> .....	34
<b>Figura 16</b> <i>Ábaco de corrugación</i> .....	35
<b>Figura 17</b> <i>Ábaco de fisuras transversales</i> .....	35
<b>Figura 18</b> <i>Tabla del cálculo del PCI</i> .....	36
<b>Figura 19</b> <i>Ábaco "Caminos y estacionamientos: asfalto"</i> .....	37
<b>Figura 20</b> <i>Análisis de la segunda muestra</i> .....	37
<b>Figura 21</b> <i>Análisis de la tercera muestra</i> .....	38
<b>Figura 22</b> <i>Análisis de la cuarta muestra</i> .....	38
<b>Figura 23</b> <i>Diseño de mezcla para pavimentos estándar</i> .....	40
<b>Figura 24</b> <i>Diseño de mezcla para pavimentos con fibra de refuerzo</i> .....	40
<b>Figura 25</b> <i>Ensayo de flexión en vigas normalizadas</i> .....	41
<b>Figura 26</b> <i>Prueba de flexión en vigas normalizadas a los 28 días</i> .....	43
<b>Figura 27</b> <i>Ensayo de compresión</i> .....	44
<b>Figura 28</b> <i>Pruebas de compresión en probetas a los 28 días</i> .....	46
<b>Figura 29</b> <i>Deformación Total</i> .....	47
<b>Figura 30</b> <i>Estrés equivalente</i> .....	48
<b>Figura 31</b> <i>Deformación elástica normal</i> .....	48

<b>Figura 32</b> <i>Líneas tendencias del ensayo a flexión</i> .....	49
<b>Figura 33</b> <i>Línea tendencia de los ensayos de compresión</i> .....	50
<b>Figura 34</b> <i>Línea tendencia de la máxima deformación</i> .....	52
<b>Figura 35</b> <i>Primera hoja de riesgo para pavimento flexible mediante PCI</i> .....	64
<b>Figura 36</b> <i>Ábaco de piel de cocodrilo de la primera muestra</i> .....	65
<b>Figura 37</b> <i>Ábaco de la falla hueco de la primera muestra</i> .....	65
<b>Figura 38</b> <i>Ábaco de corrugación de la primera muestra</i> .....	66
<b>Figura 39</b> <i>Ábaco caminos y estacionamientos: asfalto de la primera muestra</i> .....	66
<b>Figura 40</b> <i>Segunda hoja de riesgo para pavimento flexible mediante PCI</i> .....	67
<b>Figura 41</b> <i>Ábaco de piel de cocodrilo de la segunda muestra</i> .....	68
<b>Figura 42</b> <i>Ábaco de la falla hueco de la segunda muestra</i> .....	68
<b>Figura 43</b> <i>Ábaco de fisuras transversales de la segunda muestra</i> .....	69
<b>Figura 44</b> <i>Ábaco caminos y estacionamientos: asfalto de la segunda muestra</i> .....	69
<b>Figura 45</b> <i>Tercera hoja de riesgo para pavimento flexible mediante PCI</i> .....	70
<b>Figura 46</b> <i>Ábaco de piel de cocodrilo de la tercera muestra</i> .....	71
<b>Figura 47</b> <i>Ábaco de la falla hueco de la tercera muestra</i> .....	71
<b>Figura 48</b> <i>Ábaco de fisuras transversales de la tercera muestra</i> .....	72
<b>Figura 49</b> <i>Ábaco caminos y estacionamientos: asfalto de la tercera muestra</i> .....	72
<b>Figura 50</b> <i>Cuarta hoja de riesgo para pavimento flexible mediante PCI</i> .....	73
<b>Figura 51</b> <i>Ábaco de piel de cocodrilo de la cuarta muestra</i> .....	74
<b>Figura 52</b> <i>Ábaco de la falla hueco de la cuarta muestra</i> .....	74
<b>Figura 53</b> <i>Ábaco de fisuras transversales de la cuarta muestra</i> .....	75
<b>Figura 54</b> <i>Ábaco caminos y estacionamientos: asfalto de la cuarta muestra</i> .....	75
<b>Figura 55</b> <i>Pesaje del cemento</i> .....	76
<b>Figura 56</b> <i>Pesaje del agregado fino</i> .....	76
<b>Figura 57</b> <i>Pesaje del agregado fino para la mezcla adicionada</i> .....	77
<b>Figura 58</b> <i>Pesaje del cemento para la mezcla adicionada</i> .....	77
<b>Figura 60</b> <i>Mezcla para las probetas sin incorporación de fibra</i> .....	78
<b>Figura 59</b> <i>Elaboración de la primera viga sin fibra</i> .....	78
<b>Figura 61</b> <i>Desencofrado de la muestra 2 sin fibra</i> .....	79
<b>Figura 62</b> <i>Curado de las probetas con agua con cal</i> .....	79
<b>Figura 63</b> <i>Secado de las probetas para que sean ensayadas en la primera semana</i> .....	80
<b>Figura 64</b> <i>Ensayo de la muestra 1 sin fibra</i> .....	81

<b>Figura 65</b> <i>Ensayo de la viga normalizada sin fibra</i> .....	81
<b>Figura 67</b> <i>Viga normalizada con fibra al 0.5%</i> .....	82
<b>Figura 66</b> <i>Viga normalizada con fibra al 1%, sin grietas evidentes</i> .....	82
<b>Figura 68</b> <i>Comparación de dos vigas normalizadas, ambas con incorporación de fibra</i> .....	83
<b>Figura 69</b> <i>Medición de la longitud y el diámetro de la probeta cilíndrica</i> .....	83
<b>Figura 70</b> <i>Probeta cilíndrica sin fibra después del ensayo de compresión</i> .....	84
<b>Figura 71</b> <i>Muestra cilíndrica sin incorporación de fibra</i> .....	84
<b>Figura 72</b> <i>Muestra cilíndrica con incorporación de fibra al 0.75%</i> .....	85
<b>Figura 73</b> <i>Probeta cilíndrica con incorporación de fibra al 1%</i> .....	85
<b>Figura 74</b> <i>Ventana del Ansys Workbench</i> .....	86
<b>Figura 75</b> <i>Ventana de datos de ingeniería</i> .....	86
<b>Figura 76</b> <i>Creación de la geometría</i> .....	87
<b>Figura 77</b> <i>Asignación de las conexiones de los elementos</i> .....	87
<b>Figura 78</b> <i>Enmallado de las geometrías</i> .....	88
<b>Figura 79</b> <i>Análisis de la deformación total</i> .....	88
<b>Figura 80</b> <i>Análisis de la deformación elástica normal</i> .....	89
<b>Figura 81</b> <i>Análisis del estrés equivalente</i> .....	89
<b>Figura 82</b> <i>Análisis de la deformación de la viga con concreto normal</i> .....	90
<b>Figura 83</b> <i>Deformación de la viga de concreto con fibra al 0.75%</i> .....	90
<b>Figura 84</b> <i>Deformación de la viga de concreto con fibra al 1%</i> .....	91
<b>Figura 85</b> <i>Deformación de la viga de concreto con fibra al 1.5%</i> .....	91

## Capítulo I – Introducción

### 1.1 Generalidades

Según el Proyecto Especial de Infraestructura de transporte Nacional (PROVIAS, 2018), actualmente las infraestructuras de las redes viales del Perú son deficientes. Así mismo indica que:

Previo al fenómeno del "Niño Costero", el 94% de la Red Vial Nacional pavimentada se encontraba en buenas condiciones. Sin embargo, tras este evento, el indicador ha disminuido y actualmente se sitúa en un 87%. En cuanto a la Red Vial Departamental, solo un poco más del 20% de su longitud total está en condiciones adecuadas, debido a la insuficiencia de recursos por parte de los gobiernos regionales para su mantenimiento. Esto se traduce en que la mayor parte de esta red se encuentra en estados de conservación regular y deficiente. En cuanto a la Red Vial Vecinal, que abarca aproximadamente 107,000 km. de vías inventariadas, se estima que el 78% de ellas se encuentran en mal estado.

A menudo, en las actividades diarias, se puede notar el deterioro de los pavimentos en las calles de Lima. Estos problemas tienden a pasar desapercibidos, ya que las autoridades lo consideran irrelevante. Este deterioro se debe a diferentes factores como errores en el proceso de diseño y construcción. Cabe resaltar que, al momento de llevar a cabo el diseño de un pavimento, se planifican cuidadosamente las acciones para prevenir las posibles grietas, fisuras y otras patologías que puedan surgir. A pesar de seguir rigurosamente este proceso, pueden persistir fallas en el pavimento debido a diversos factores, como la duración de su vida útil, la falta de mantenimiento o prácticas inadecuadas en su uso (Leiva Sotomayor, 2020). Además, Chirinos y Cuervo (2021) dicen que los pavimentos tienen baja resistencia a la flexión y al exponerse a cargas de vehículos desarrollan crecimiento de grietas en las capas superiores. Con el tiempo, la misma sección se extiende hasta la capa inferior del pavimento, permitiendo la

entrada de agua. Esto conduce a una rápida degradación de la vía y a un mayor gasto en cuanto a mantenimiento. Además, también se reduce el confort y la seguridad en la circulación de vehículos.

La investigación tiene relevancia social, debido a que la infraestructura vial juega un papel fundamental en el desarrollo y funcionamiento de la economía nacional, generando diversos beneficios económicos y sociales. Mantener de manera adecuada esta infraestructura es crucial para preservar y potenciar dichos beneficios. Adicionalmente, esta inversión contribuye a fortalecer la industria nacional en sus procesos de producción, distribución y comercialización, incrementando su productividad y competitividad. Por esta razón, surge la necesidad de innovar y buscar soluciones que ayuden a mitigar estas fallas en los pavimentos, para lograr que los pavimentos cumplan con el tiempo de vida útil a las que fueron diseñadas.

En la actualidad, la solución convencional para abordar el problema de la baja resistencia a la flexión del concreto implica el uso de mallas de acero corrugado para reforzar la losa o el aumento del grosor del concreto sin refuerzo. No obstante, recientemente se están realizando investigaciones nacionales e internacionales que confirman que la incorporación de microfibras de polipropileno en el concreto mejora significativamente su capacidad de resistencia a la flexión, proporcionar una mayor ductilidad y tenacidad al material, al mismo tiempo que reduce la formación de fisuras (Vargas & Yataco, 2020). Esto garantiza que el pavimento cumpla con los niveles de uso a lo largo de su vida útil, y al mismo tiempo requiere menos tiempo y costos de preparación en comparación con la aplicación convencional de refuerzos en pavimentos. Por ello, las principales razones de la baja resistencia a la flexión de los pavimentos en las avenidas de Lima son el diseño inadecuado del pavimento, la falta de flexibilidad y la falta de mantenimiento. Esto provoca que el pavimento se deteriore y, a la larga, se manifiesta en grietas, permitiendo que el agua ingrese a la capa de concreto subyacente, lo que a su vez reduce su resistencia cuando es expuesto a sobrecargas vehiculares.

## **1.2 Formulación del problema**

¿De qué manera se puede aumentar la resistencia a la flexión en los pavimentos rígidos, en los tramos de avenidas en Lima?

## **1.3. Estado del arte**

Con el paso de los años, la investigación y los avances tecnológicos han generado la creación de nuevos materiales que presentan mejoras sustanciales en cuanto a la durabilidad y el desempeño de los pavimentos de concreto. A medida que la demanda y la frecuencia de carga en carreteras y otras estructuras siguen en constante aumento, surge la imperiosa necesidad de perfeccionar el rendimiento y asegurar una mayor longevidad en estos sistemas (Morán & Huerta, 2020).

En el estudio de Hussain et al. (2020), se incorporaron fibras de acero, fibras de vidrio y fibras de polipropileno en proporciones equivalentes al 1% del volumen total de la mezcla con el objetivo de mejorar las propiedades del concreto. Como resultado, se observó que las fibras de acero resultaron ser más efectivas que las de vidrio y polipropileno, al aumentar la resistencia a la compresión en un rango del 10-12%, la resistencia a la flexión en un rango del 51-56%, y la durabilidad tanto en el concreto ordinario como en el de alta resistencia. Sin embargo, al realizar un análisis costo-beneficio, se concluyó que el uso de fibras de acero no resulta económico en comparación con las fibras de vidrio y polipropileno. Por lo tanto, se sugiere que el concreto con fibras de polipropileno puede mejorar significativamente las condiciones de carga y la vida útil del concreto, al mismo tiempo que se presenta como una opción económicamente viable.

En la investigación de Praveen et al. (2020) utilizaron fibras de acero y cenizas volantes para reforzar el concreto. El resultado principal fue que después de agregar un 3% de fibras, la

plasticidad del suelo cambió significativamente y se convirtió en un suelo no plástico. Además, el refuerzo de fibra de acero puede proporcionar un costo menor y no requiere de un diseño en especial, por lo que se pueden lograr importantes ahorros de costos.

En el estudio de Miranda y Rado (2019) se propuso el uso de concretos reforzados con fibras de acero y cemento puzolánico en la construcción de pavimentos rígidos en la región de Apurímac. Se llevaron a cabo pruebas de compresión con diferentes mezclas de concreto que contenían diversas cantidades de fibra y relaciones de agua-cemento, y se obtuvo un rango de resultados entre 315 y 325 kg/cm<sup>2</sup>, lo que demostró la eficacia de incorporar las fibras en el concreto.

En el estudio de Chirinos y Cuervo (2021) se introdujeron fibras sintéticas de polipropileno con el propósito de mitigar la contracción del concreto. Este proceso involucró la elaboración del diseño de la mezcla utilizando diversos métodos, seguido de la realización de ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión. El resultado principal reveló que, al aumentar la cantidad de fibras en la mezcla de concreto, se produjo una disminución en el tamaño de las fisuras debidas a la contracción. Además, se observaron modificaciones en las propiedades mecánicas, específicamente en la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto, las cuales aumentaron de 210 kg/cm<sup>2</sup> a 237,4 kg/cm<sup>2</sup> gracias a la inclusión de fibras sintéticas de polipropileno reciclado y polipropileno virgen.

La investigación de Morán y Huerta (2020), evidenció que la inclusión de fibras de acero tipo Dramix 4D en pavimentos rígidos conlleva una mejora en las características mecánicas del sistema estructural de la carretera. Los resultados indican que la introducción de estas fibras de acero contribuye a mejorar las propiedades mecánicas del sistema estructural, en gran medida gracias a su módulo elástico y su resistencia a la tracción. Además, se constató un incremento en la capacidad de la matriz adhesiva para resistir la formación de fisuras cuando se somete a tensiones en forma de tracción, flexión y compresión.

En el estudio de Mishutin et al. (2021), se investigó el comportamiento del agrietamiento por contracción en pavimentos de hormigón. Para lograrlo, se realizaron cambios en varios factores de la composición del concreto, como la cantidad de cemento Portland, la inclusión de fibras de polipropileno, la adición de metacaolín y el uso de aditivos tipo policarboxilato. Se observó que la resistencia a la flexión del concreto aumentó significativamente, pasando de 1.2 - 1.4 MPa a aproximadamente 8.5 - 9.3 MPa, lo que resultó en un concreto para pavimentos rígidos altamente resistente y duradero, capaz de resistir mejor las heladas y reducir el desgaste. Es importante destacar que la incorporación de las fibras de polipropileno requiere un aumento en la relación agua/cemento para mantener la manejabilidad necesaria de la mezcla.

En el estudio de Mundher et al. (2021), se investigó el comportamiento del agrietamiento por contracción en el pavimento, empleando cuatro variables diferentes, que incluyeron la cantidad de cemento, humo de sílice, fibras de acero y fibras de polipropileno. Como resultado, se observó que las fibras de polipropileno redujeron de manera significativa el ancho de las grietas en las muestras de anillos, con una disminución de aproximadamente un 425.5%. Además, la incorporación de polipropileno logró reducir el ancho de las grietas por debajo de los límites considerados aceptables en comparación con una mezcla que tenía la misma cantidad de cemento.

En la investigación de Lau et al. (2020), se utilizaron fibras de acero para ayudar a controlar el crecimiento de grietas y mejorar el rendimiento ante la fatiga. El resultado es una resistencia a la fatiga significativamente mejorada, lo que maximiza la vida útil de los pavimentos rígidos y reduce la disipación de energía por ciclo.

En el artículo de Shen et al. (2020), se estudiaron los efectos y mecanismos de tres fibras, basalto (BF), fibra de poliéster (PF) y fibra de lignina (LF), sobre el comportamiento del pavimento con una mezcla asfáltica de escoria de acero. Los resultados muestran que después de agregar fibra, la resistencia al agrietamiento de la mezcla asfáltica aumenta y mejora la

tenacidad. Además, al añadir fibras se aumenta la rugosidad, mejorando así las propiedades antideslizantes de la mezcla asfáltica.

En la investigación de Hesami et al. (2016), se demostró que la incorporación de fibras de acero en la producción de concreto cauchutado resulta en un incremento de la resistencia a la flexión. Se observó un aumento del 20% en la resistencia a la flexión. No obstante, se encontró que a medida que se aumenta el contenido de caucho, la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de edad disminuye, ya que se espera que el agregado de caucho tenga una capacidad de resistencia menor en comparación con otros agregados y, además, la adhesión entre el caucho reciclado y la pasta de cemento también se reduce.

El estudio de Aguirre (2021), se exploró la mejora de la resistencia del concreto simple a los esfuerzos de flexión y compresión mediante la adición de fibras de acero. Para llevar a cabo esto, se llevaron a cabo pruebas de laboratorio en muestras de concreto fresco y se emplearon distintos métodos para medir aspectos como el asentamiento, la temperatura y la densidad (peso unitario). Tras la realización de los ensayos, se obtuvieron resultados que indicaron un incremento en la resistencia de  $378.96 \text{ kg/cm}^2$ , y el módulo de rotura aumentó de  $38.90 \text{ kg/cm}^2$  a  $59.12 \text{ kg/cm}^2$ .

La investigación de Hassan et al. (2020), se incorporó fibras de vidrio a pavimentos asfálticos reciclados. Para ello se incorporó un 0.12% de fibras, aumentando significativamente la resistencia al agrietamiento de la mezcla asfáltica. Asimismo, se llegó a la conclusión que al agregar más fibra se reduce las propiedades del craqueo de la mezcla. Sin embargo, la mezcla que contenía 0.18% de fibra aún superó a la mezcla de control en términos de resistencia al agrietamiento.

El estudio de Abdulaziz et al. (2019), se llevó a cabo con el objetivo de producir concreto reforzado con caucho utilizando fibras de acero para mejorar su resistencia a la flexión. Después de realizar pruebas de rendimiento mecánico y de fatiga en el concreto reforzado con

caucho y fibras de acero (SFRRuC), se observó que la incorporación de fibras de acero al concreto condujo a un aumento del 20% en su resistencia a la compresión. Al mismo tiempo, se constató que el rendimiento a la flexión y el módulo elástico del concreto se mantuvieron prácticamente sin cambios. Además, la combinación de fibras de acero y caucho mejoró las capacidades de tracción del SFRRuC.

En la investigación de Allistair et al. (2020), utilizaron refuerzos de malla de fibra de carbono para reducir las grietas reflectantes en capas de asfalto ya que el refuerzo de malla no afecta el proceso de iniciación de grietas sino más bien el proceso de propagación de grietas. Los resultados mostraron que casi todas las muestras reforzadas con malla de fibra de carbono tenían una mejor resistencia al agrietamiento por fatiga, con una mejora de más del 100% en comparación con las muestras de control.

En el estudio de Xin et al. (2019), se planteó la investigación de un diseño de mezcla asfáltica con partículas de tamaño reducido (STP) con el objetivo de controlar las grietas en la superficie del pavimento. Como resultado principal, se determinó que el contenido óptimo de fibra era del 0.27%, y la relación ideal entre asfalto y piedra fue del 8.1%. Además, se observó que la prueba SMA-II con una elevada cantidad de asfalto modificado con caucho mostró una mayor capacidad para adaptarse a la deformación y una mayor densidad de energía de deformación por flexión en comparación con la mezcla SMA-I convencional. Por último, se demostró la ventaja económica de la vida útil de la capa delgada de mezcla asfáltica STP en comparación con la capa delgada tradicional.

La investigación de Dávila (2022), se centró en la creación de un concreto ecológico diseñado para su uso en pavimentos rígidos, en el que se empleó polvo de vidrio reciclado como sustituto parcial tanto del agregado fino como del cemento. Como resultado, se determinó que la mezcla que incluía una sustitución del 15% de cemento y un 10% de agregado fino mostraba un mejor desempeño en flexión, alcanzando un valor de  $m_r = 47.91 \text{ kg/cm}^2$ , lo que representó un

incremento del 10% en comparación con la mezcla de concreto convencional. Además, se logró una reducción de costos del 4%, equivalente a 8.50 soles/m<sup>3</sup> en comparación con el concreto tradicional, y se obtuvo una disminución de más del 10% en la contaminación de la superficie de rodadura construida con losas de concreto.

La investigación de Mahapara y Gyanendra (2021), tuvo como objetivo principal reducir la producción de cemento y sustituirlo parcialmente por un concreto geopolimérico elaborado a partir de residuos ricos en sílice y alúmina, utilizando materiales como ceniza volante, escoria de alto horno y subproductos de arroz. Como resultado principal, se observó un incremento en el módulo de elasticidad a medida que aumentaba la densidad de las muestras, logrando alcanzar valores de 49.552 MPa y 45.651 MPa. Además, se obtuvieron mayores resistencias a la flexión a los 7, 28 y 90 días de curado.

#### **1.4. Justificación e importancia**

Actualmente esta es una de las vías más usadas ya que la carretera central está cerrada por tramos debido a la construcción del metro 2 de Lima. Así mismo cabe mencionar que dicha vía fue construida antes, por lo que no está diseñada para soportar demasiada carga vehicular. Debido a esta sobrecarga, el pavimento flexible presenta un estado de deterioro a temprana edad, como fallas por corrugación y grietas por fatiga, haciendo que los peatones se vean obligados a cruzar la vía con sumo cuidado para evitar tropezar en las prominencias generadas por la corrugación.

La investigación propuesta se enfoca en el desarrollo de un pavimento rígido con incorporación de microfibras de polipropileno con el propósito de mejorar su resistencia a la flexión y, por ende, extender su vida útil. Esta forma de refuerzo confiere al pavimento la capacidad necesaria para soportar diversas cargas, gracias a su amplio módulo de rotura. Además, este enfoque resulta en una solución más económica, ya que implica menores costos de mantenimiento. Es importante destacar que el costo promedio de estas microfibras se sitúa en aproximadamente S/.25 por 600 gramos. Por último, la incorporación de estas microfibras contribuye a la sostenibilidad medioambiental, al reducir la cantidad de cemento requerida en la construcción del pavimento, lo que, a su vez, disminuye las emisiones de gases contaminantes asociadas a la fabricación del cemento, que constituyen aproximadamente el 7% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>.

## **1.5 Hipótesis y objetivo**

### ***1.5.1 Hipótesis***

La incorporación de microfibras de polipropileno en pavimentos rígidos incrementa la resistencia a flexión hasta en un 37%. Estos resultados se validan simulando el comportamiento mecánico en el software ANSYS. Además, aumenta la resistencia a la compresión en un 56%.

### ***1.5.2 Objetivo de la investigación***

#### **1.5.2.1 Objetivo general:**

Elaborar una propuesta para aumentar la resistencia a la flexión en pavimentos rígidos en la Av. Huancaray, cuadra 1 a 6, mediante la incorporación de fibras de micro polipropileno.

#### **1.5.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar el estado de la vía estudiada mediante el método PCI.
- Diseñar la mezcla con incorporación de fibra de polipropileno y determinar el diseño de mezcla correspondiente.
- Realizar ensayos de compresión y flexión y determinar el comportamiento mecánico.
- Determinar la máxima resistencia deformación de las muestras diseñadas mediante el software ANSYS.

## **1.6 Limitaciones**

- Los resultados de la investigación no se aplicaron in situ. Es decir, la construcción de un pavimento mejorado con microfibra de polipropileno en la Av. Huancaray, porque es una obra pública y no se cuenta con los permisos necesarios.
- En ambos tipos de diseños solo se realizaron pruebas de resistencia a compresión y flexión porque son las principales variables para considerar al establecer objetivos.
- Diseño de un pavimento rígido, ya que solo se centra en el diseño de la mezcla con diferentes porcentajes de fibra.

## Capítulo II – Marco teórico

### 2.1 Pavimentos vehiculares

El pavimento es una estructura multicapa construida sobre la calzada con el propósito de absorber y distribuir las fuerzas producidas por los vehículos, lo que contribuye a aumentar la seguridad y el confort del tránsito vehicular (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [ MTC], 2013).

#### 2.1.1 *Pavimento flexible*

Saucedo (2010) describe al pavimento flexible como una capa de asfalto que proporciona una superficie de rodadura. La carga del vehículo se distribuye a la subyacente a través de la fricción y de las propiedades cohesivas de las partículas del material, y la capa de asfalto se encoge bajo pequeñas deformaciones de la capa subyacente sin dañar su estructura.

El pavimento flexible está compuesto por las siguientes capas:

#### **SUBRASANTE**

Montalvo (2015) describe a la subrasante como una capa de terreno natural donde se construye el pavimento. teniendo como principal función servir la base uniforme para que dicha estructura pueda apoyarse. Es por ello por lo que el suelo natural debe ser compactado y estabilizado correctamente, y en el caso de que se utilice material de relleno, este debe cumplir con las características solicitadas por la industria de la construcción.

## SUBBASE

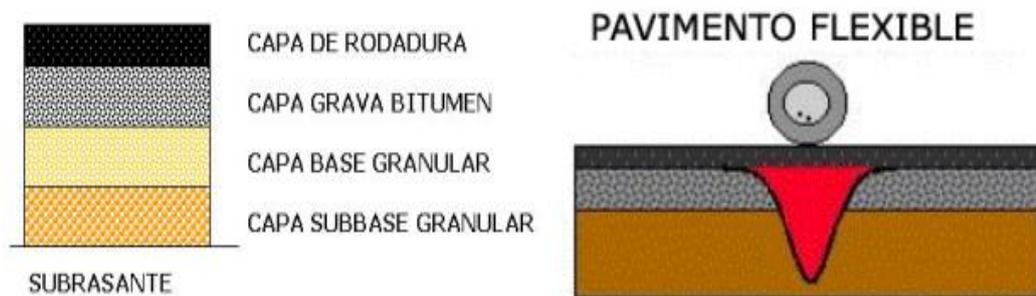
Montalvo (2015) nos dice que es la capa que va directamente encima de la subrasante y debajo de la calzada. Puede estar hecho de materiales granulométricos o hidráulicos, proporciona una superficie uniforme sobre la que se colocan las capas de hormigón. Es importante que la subbase permita el libre drenaje del agua para que pueda ingresar a los desagües subterráneos a través de las juntas en el concreto superior.

## CARPETA DE RODADURA

Finalmente, está la etapa superior conocida como carpeta de rodadura, la cual está en contacto directo con el tráfico y las condiciones climáticas. Asimismo, actúa como el principal elemento estructural que soporta las cargas del tráfico, distribuyéndolas hacia los niveles inferiores y asegurando una superficie uniforme y de alto confort para los vehículos que lo transiten.

### Figura 1

*Estructura del pavimento flexible*



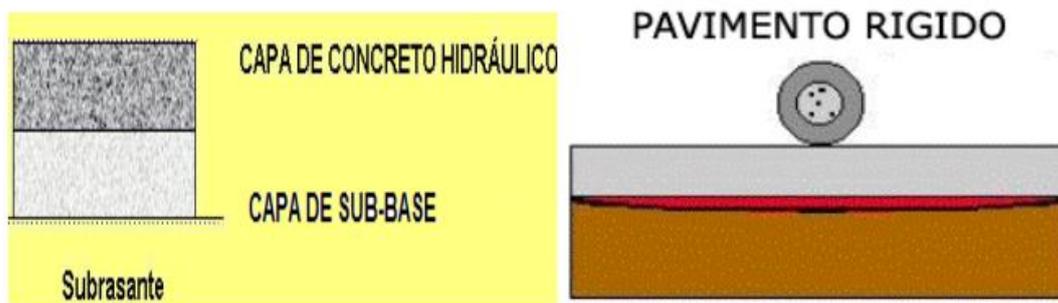
*Nota.* De “Clasificación y diseños de Pavimentos”, por V. Saucedo, 2010. (<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/529/A5.pdf>)

### 2.1.2 Pavimento rígido

El pavimento rígido es un pavimento cuyo elemento principal es una losa de hormigón hidráulico, en el que la carga de los vehículos se distribuye a la capa subyacente a lo largo de la superficie de la losa y en todas las losas adyacentes, trabajando juntamente con la losa que soporta la carga. A diferencia de otros tipos de pavimento, el pavimento rígido no tiene la capacidad de flexionarse, ya que la capa subyacente se deforma sin experimentar una falla estructural (MTC, 2013).

**Figura 2**

*Distribución de capas del pavimento rígido*



*Nota.* De “Clasificación y diseños de Pavimentos”, por V. Saucedo, 2010. (<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/529/A5.pdf>)

#### 2.1.2.1 Propiedades del pavimento rígido

##### **Resistencia a la flexión**

La resistencia a la flexión es una de las medidas a la resistencia que tiene el concreto ante la tracción. Esta se determina mediante el ensayo del módulo de rotura (mr), el ensayo se realiza en una viga de 150 mm×150 mm×500 mm, establecida por la American Society for Testing and Materials (ASTM, 2002) y alcanza su resistencia a los 28 días.

## **2.2 Concreto**

Se sostiene que:

El hormigón se define como una mezcla de proporciones de cemento, agua, áridos y en ocasiones aditivos que tienen propiedades plásticas y moldeables antes del fraguado. Al solidificarse, adquiere una consistencia dura con propiedades aislantes y resistentes ante grandes cargas (Sánchez, 2001).

El concreto pasa por etapas donde consolida y desarrolla las propiedades según los requerimientos de la industria de la construcción. Primero, se establece un estado plástico, en esta etapa la mezcla se hidrata y forma una pasta que recubre el agregado. Esta etapa es de gran importancia para el transporte y vertido del hormigón ya que tiene una mejor trabajabilidad.

La siguiente etapa es la solidificación inicial, que marca el inicio del fraguado y endurecimiento de la mezcla a ligeras tensiones que producen las deformaciones. Por último, entra en la etapa de fraguado final el concreto está completamente endurecido. En esta etapa, solo una fuerza excesiva origina daños al concreto.

### ***2.2.1 Propiedades del concreto***

Asimismo, Sánchez (2001), describe las propiedades que influyen en el diseño de concreto, tales como:

#### **2.2.1.1 Módulo de rotura ( $m_r$ ).**

El módulo de ruptura se evalúa midiendo la resistencia a la flexión de una viga de concreto sometida a una carga aplicada a un tercio de su longitud soportada.

Esta prueba sigue las normas estandarizadas establecidas por las ASTM (2002).

#### **2.2.1.2 Módulo de Elasticidad del concreto ( $E_c$ ).**

La relación entre el módulo de elasticidad del concreto y su módulo de ruptura es significativa, y esta última medida establecidas por la ASTM (2022).

### **2.2.2 Componentes**

El concreto es un material adaptable con características que pueden cambiar según la combinación de sus ingredientes. En su estado fresco, muestra una plasticidad que lo hace manejable y moldeable, y a medida que se endurece durante el proceso de fraguado, desarrolla una elevada resistencia a la compresión gracias a la reacción química entre agua/cemento (Pasquel, 1998).

#### **2.2.2.1 Cemento portland**

El cemento portland es un tipo de cemento ampliamente utilizado en la industria de la construcción. Proviene a partir de la mezcla de la piedra caliza y arcilla, los cuales provienen de las canteras y se trituran para obtener una mezcla homogénea. Además, el cemento es denominado “hidráulico” debido a su capacidad de fraguar y endurecer al estar en contacto con el agua. Es importante destacar que existen distintos tipos de cemento portland los cuales se adaptan a diversas necesidades de la construcción y las condiciones ambientales (Kosmatka Steven et al., 2004).

#### **2.2.2.2 Agua**

El agua juega un papel esencial en la vida útil del concreto. Desde el principio, el agua inicia la reacción de hidratación en las partículas de cemento, proporcionando la trabajabilidad necesaria durante el fraguado y a lo largo del tiempo durante el proceso de curado. Por lo tanto, es crucial cumplir con las especificaciones de la Norma Nacional Intertec 339.088, que prohíbe la presencia de niveles significativos de cloruros o sulfatos en el agua, ya que estos compuestos pueden ser perjudiciales para la calidad del concreto (Salazar, 2004).

### Figura 3

#### Requerimientos del agua para la mezcla

DESCRIPCIÓN	LIMITES PERMISIBLES
Sólidos en suspensión	5000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Carbonatos y bicarbonatos alcalinos	1000 ppm máximo
Sulfatos	600 ppm máximo
Cloruros	1000 ppm máximo
PH	Entre 5.5 y 8.0

*Nota:* De “Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland”, por Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual, INDECOPI, (2019). (<https://es.scribd.com/document/445076889/NTP-339-088-aguas>)

#### 2.2.2.3 Agregados

Los principales agregados utilizados para la elaboración del concreto son gravas o piedras trituradas. Los agregados constituyen el 60% y 75% del volumen total del concreto, lo que implica que ejercen una influencia significativa en sus características y propiedades (Kosmatka Steven et al., 2004): Los agregados se dividen en función de su dimensión; aquellos que atraviesan la malla número 4 se consideran finos, mientras que los que quedan retenidos se catalogan como agregados gruesos. Para asegurar la calidad de los agregados, es esencial cumplir con los requisitos establecidos por INDECOPI (2018).

**Figura 4***Granulometría del agregado fino*

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa (%)</b>
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No.16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	05 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

*Nota:* De “Especificaciones normativas para agregados en concreto”, por INDECOPI, 2014.  
<https://es.slideshare.net/hersacs/ntp-400-037-2014especificacionesagregados>

**Figura 5***Granulometría del agregado grueso*

TMN (mm)	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25 mm	19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
90 a 37.5	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
63 a 37.5		100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
50 a 25			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
50 a 4.75			100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
37.5 a 19				100	90 a 100	20 a 55	0 a 5		0 a 5				
37.5 a 4.75				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
25 a 12.5					100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
25 a 9.5					100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
25 a 4.75					100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
19 a 9.5						100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
19 a 4.75						100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
12.5 a 4.75							100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
9.5 a 2.36								100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
12.5 a 9.5								100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
4.75 a 1.18									100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

*Nota:* De “Especificaciones normativas para agregados en concreto”, por INDECOPI, 2014.  
<https://es.slideshare.net/hersacs/ntp-400-037-2014especificacionesagregados>

Los agregados son típicamente hallados en fuentes naturales como canteras y ríos, donde son extraídos y preparados para su uso en la mezcla de concreto. Además de los agregados naturales, existen también agregados artificiales, como la ceniza de alto horno, la sílice amorfa y el concreto reciclado, que son subproductos de diversas industrias de fabricación.

#### **2.2.2.4 Aditivos:**

Se incorporan al concreto con el propósito de mejorar sus características en su estado recién mezclado o después de consolidarse.

Estos aditivos se categorizan de acuerdo con su función, que incluye:

##### **Aditivos acelerantes**

Estos aditivos aceleradores reducen el tiempo requerido para que la mezcla endurezca, lo que proporciona un margen adicional para su transporte y colocación. A pesar de que estos aditivos son útiles para lograr una resistencia temprana durante el proceso de fraguado, también conllevan a una disminución en la resistencia que el concreto puede alcanzar a los 28 días.

##### **Aditivos incorporadores de aire**

Ayudan a prevenir la formación de grietas en el concreto debido al ciclo de congelación y descongelación, logrando esto mediante la inclusión de cavidades o espacios vacíos en la mezcla de concreto.

### **Aditivos plastificantes**

El aditivo tiene un impacto directo en la proporción entre el agua y el cemento en el concreto, lo que resulta en una reducción del agua requerida para la mezcla. Como consecuencia de este efecto, se mejora la manejabilidad del concreto en su estado fresco y se incrementa la resistencia ante esfuerzos de compresión que se alcanza durante el proceso de endurecimiento.

### **Aditivos impermeabilizantes**

Por lo general, se emplean en la construcción de obras hidráulicas. Esta categoría de aditivos se distingue por su uso habitual de reductores de agua, los cuales tienen como objetivo reducir la permeabilidad al disminuir la proporción de agua en relación con el cemento y al disminuir los espacios capilares en la mezcla (Pasquel, 1998).

### **Aditivos retardantes**

Extienden el período de manejabilidad de la mezcla de concreto en su estado plástico, lo que permite trabajar con ella durante un lapso más prolongado. Estos aditivos suelen emplearse en situaciones como la fundición de grandes volúmenes de concreto, en el transporte de concreto premezclado desde una planta de producción y en condiciones climáticas cálidas.

### ***2.2.3 Propiedades del concreto en estado fresco y consolidado***

El concreto presenta diversas propiedades en su estado no endurecido, previas a su consolidación. Estas propiedades incluyen:

#### **Trabajabilidad**

La trabajabilidad se refiere a la facilidad o dificultad de manipular la mezcla en su estado plástico, ya sea durante la etapa de mezcla, transporte o colocación. Factores clave que la afectan incluyen la pasta, la cantidad de agua y la proporción adecuada entre los componentes gruesos y finos, que en su mejor equilibrio permiten un movimiento fluido y natural de la masa de concreto. Por lo general, esta fase se ve influenciada por los aditivos que pueden alterar el tiempo antes del endurecimiento, la fluidez y la maleabilidad de la mezcla. La trabajabilidad del concreto no se mide mediante un estándar específico, suele ser determinada por el constructor según las necesidades del proyecto (Pasquel, 1998).

#### **Segregación**

Por lo general, la densidad de la pasta en comparación con la de los agregados finos es apenas un 20% menor al de los agregados gruesos (en el caso de agregados normales). Esto, combinado con su viscosidad, permite que los agregados gruesos queden suspendidos y se integren en la matriz del concreto. Sin embargo, si hay un exceso de agua en la mezcla, esta propiedad se ve comprometida, lo que resulta en la sedimentación de los agregados gruesos en el fondo y en la salida del agua hacia la superficie, lo que a su vez ocasiona la pérdida parcial o total de las propiedades del concreto una vez que ha endurecido (Pasquel, 1998).

## **Resistencia a la compresión**

El concreto, se forma como resultado de la reacción química entre el agua y el cemento, logra una resistencia a la compresión considerablemente alta, siendo este su atributo principal en comparación con su resistencia a la flexión o tracción. Para garantizar el desarrollo adecuado de la resistencia del concreto en los 28 días posteriores a su vertido, es esencial cumplir con las regulaciones y procedimientos establecidos en la normativa peruana durante las etapas de mezclado, transporte y vertido del concreto, además de llevar a cabo el proceso de curado adecuado de los elementos construidos.

### **2.3 Dowels en pavimentos rígidos**

Son componentes preconstruidos que constan de una estructura de cesta fabricada mediante soldadura eléctrica, con pasadores soldados en un solo lado para asegurar que estos elementos estén posicionados en el centro de la altura del tablero. Los pasadores son utilizados para resolver la transferencia de carga de las placas de soporte que están en contacto con el suelo, como carreteras, senderos, aceras en áreas urbanas y superficies industriales.

Entre las ventajas más destacadas que presentan se encuentran las siguientes:

#### **Seguridad:**

Evitan que los bordes de las juntas de pavimentos rígidos se agrieten debido al flujo de cargas.

#### **Precisión en la construcción:**

La canasta mantiene una alineación y posición precisas de las varillas.

**Resistencia al vertido:**

Son fuertes, resistentes y ayudan a resistir el vertido del hormigón.

**Ahorra tiempo y dinero:**

Son elementos prefabricados listos para ser puestos en uso, de fácil instalación y que pueden alargar la vida útil de tu pavimento durante muchos años.

**2.4 Refuerzos de fibra****2.4.1 Definición**

La ASTM (2019), describe a los refuerzos de fibra como hebras finas y alargadas, organizadas en forma de haces, mallas o trenzas, compuestas de materiales tanto naturales como sintéticos, que pueden ser incorporadas en el concreto en su estado fresco.

La fibra se utiliza para reforzar el concreto en su estado fresco, otorgándole la capacidad de resistir esfuerzos de compresión, tensión, flexión y corte de manera significativamente superior en comparación con el uso de refuerzo tradicionales mediante barras o mallas de acero. Además, aporta mejoras a las propiedades de la mezcla, como su plasticidad, tenacidad y resistencia al fuego, entre otros beneficios.

### **2.4.2 Clasificación de fibras**

Asimismo, el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA 2016), establece que las fibras se clasifican por:

#### **Capacidad estructural:**

##### **Estructurales**

Se pueden incorporar en los cálculos de la estructura debido a su aporte a la resistencia en combinación con el concreto, y su utilización puede llevar a reemplazar parcial o totalmente la armadura tradicional. La capacidad de la estructura depende de las características y propiedades, siendo la fibra metálica la elección más frecuente en esta circunstancia.

##### **No estructurales**

Añaden al concreto características adicionales, como la capacidad de reducir la formación de fisuras debidas a la contracción, fortalecer la resistencia al fuego y mejorar su capacidad para resistir esfuerzos. Las fibras más frecuentemente empleadas en este contexto suelen ser las de vidrio y polipropileno.

##### **Por su naturaleza**

Hoy en día, se emplean concretos que incorporan refuerzos a base de fibras, ya sea de acero, sintéticas, de vidrio o vegetales, entre otras opciones. Estas aplicaciones se orientan a diversos propósitos, que incluyen la mejora de la resistencia a la tracción, el incremento de la resistencia a la fatiga y a impactos, así como la reducción de los efectos de la retracción.

#### **2.4.2.1 Fibras sintéticas**

##### **MICROFIBRAS**

Las microfibras se utilizan con el propósito de disminuir la formación de grietas en el concreto, en particular en aplicaciones como pavimentos y soleras, o para mejorar la resistencia al fuego. Estas fibras suelen tener un módulo de elasticidad muy bajo y una alta capacidad de alargamiento antes de romperse, lo que significa que no contribuyen a la función estructural, pero sí ayudan a mejorar el control sobre la exudación y la segregación en el concreto.

##### **MACRO-FIBRAS:**

Las macrofibras, como las de poliolefina, pueden proporcionar apoyo estructural, y tienen longitudes que varían entre 20 mm y 60 mm. Son competitivas debido a su resistencia química ante varios tipos de agresiones, y requieren una menor cantidad que las fibras metálicas. No obstante, su desventaja radica en su bajo módulo de elasticidad, lo que implica que necesitan experimentar una deformación considerable para alcanzar su capacidad resistente completa. Como resultado, en situaciones de deformaciones reducidas, su contribución a nivel estructural es mínima.

## 2.5 Método PCI

### 2.5.1 Definición

El Índice de Condición del Pavimento (PCI) es aplicable para la evaluación tanto de pavimentos flexibles como rígidos. Su desarrollo tuvo como objetivo proporcionar una métrica que refleje la integridad y el estado superficial del pavimento, permitiendo así determinar las necesidades de mantenimiento y reparación en función de la condición real del pavimento. Este índice se expresa en una escala numérica que va desde cero (0) para indicar un pavimento deteriorado hasta cien (100) para señalar un pavimento en óptimas condiciones, y su clasificación se representa en la Figura 6.

**Figura 6**

*Rangos de clasificación del PCI*

RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL PCI	
Rango	Clasificación
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muy bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
25 - 10	Muy malo
10 - 0	Fallado

*Nota.* De "Pavement Condition Index (PCI)", por R. Vásquez, 2010 (<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>).

La evaluación del pavimento implica una inspección visual a lo largo de la sección de carretera en cuestión, considerando el tipo, la gravedad y la cantidad de defectos presentes en la superficie. Además, el método proporciona "resultados estimados" para determinar el impacto en el pavimento de cada combinación de categoría, gravedad y cantidad.



## **2.6 Modelado computacional de un pavimento computacional**

### **2.6.1 Método de elementos finitos (MEF)**

Los métodos de elementos finitos se implementan mediante programas de computadora y se basan en modelos informáticos de materiales o diseños. Estos modelos se ajustan y analizan con el objetivo de obtener resultados particulares. Se emplean en la creación de nuevos productos y en la optimización de productos o estructuras ya existentes. Este enfoque de diseño es más eficiente que los métodos tradicionales, que implican construir y probar cada prototipo, lo que puede resultar costoso.

### **2.6.2 Software ansys**

#### **2.6.2.1 Proceso de realización de un cálculo en ansys**

##### **PRE-PROCESO:**

En primer lugar, se definen los materiales que se usan sobre la base de sus constantes y cada elemento a usar debe tener un material.

En segundo lugar, se debe establecer el modelo, para ello se constituye la geometría del problema con líneas, áreas o volúmenes. Esta parte es opcional debido que estos elementos pueden provenir de otras aplicaciones de diseño. Por último, se genera la malla sobre la base de puntos o nodos. Esta malla es creada usando la herramienta de generación automática.

##### **PROCESO:**

Lo primero que se hizo es la aplicación de cargas, esta se aplica en los bordes de los nodos y elementos. Se manejan valores como fuerza, tracción, desplazamiento y rotación. Una vez que se aplique las cargas se obtendrá los valores del problema.

##### **POSTPROCESO:**

En este punto se visualizan los resultados, como puede ser la geometría deformada.

## **Capítulo III – Metodología**

### **3.1 Generalidades**

En esta parte del proyecto se desarrollan los diseños para aumentar la resistencia a compresión y flexión del pavimento rígido. Para ello se realizó una evaluación y un análisis del estado actual del tramo de la vía estudiada. Como segundo paso se describe el estado actual de la vía mediante el método PCI. Con los datos recopilados anteriormente se determina que el pavimento flexible actual está fallado, por lo cual se debe diseñar un nuevo pavimento. Para este caso se diseñó un pavimento rígido bajo los lineamientos del ACI. Después, se realizaron los ensayos de laboratorio compresión y flexión con porcentajes de 0.75%, 1.0% y 1.50% de microfibra de polipropileno. Finalizado los ensayos, se analizan los resultados se verifica si la compresión y flexión del concreto aumenta. Sabiendo que la resistencia del concreto ha aumentado, se procede a realizar los análisis estructurales en el modelo computacional Software Ansys para determinar la máxima deformación que puede soportar la viga de concreto. Finalmente, se analiza los resultados tanto de laboratorio como del modelo computacional para verificar si se tiene como resultado el mismo porcentaje de fibra.

### **3.2 Información de campo**

La zona de estudio es una de las avenidas más importantes del distrito de Santa Anita, debido a que es la vía alterna a la carretera central. Tiene aproximadamente un kilómetro de largo y cuenta con dos carriles que son separados por una ciclovía. La vía es de alto tránsito, ya que transitan desde buses interprovinciales o camiones de carga pesada hasta mototaxis. La mayor cantidad de fallas se encuentran en los primeros 500 metros (tomando en cuenta que el inicio está en la Av. Ruiseñores). Las fallas más representativas son las corrugaciones o desplazamientos que se encuentran en un estado crítico, así mismo

se pueden encontrar fallas de piel de cocodrilo, baches en estado inicial y crítico, fisuras transversales y fallas de rodadura en un nivel severo.

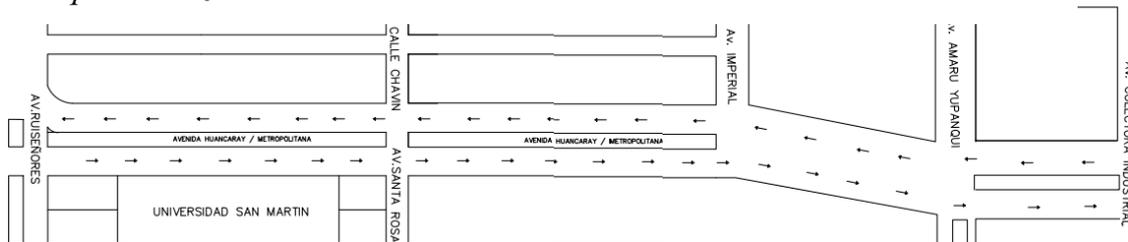
**Figura 9**

Zona de estudio



**Figura 10**

*Croquis de la zona de estudio*

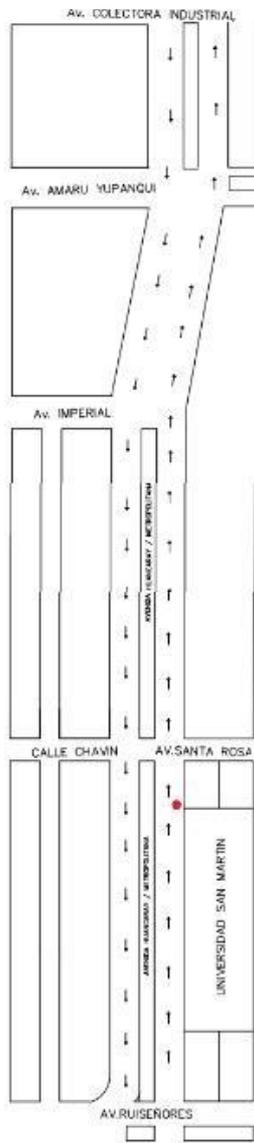


### 3.2.1 Fallas en la zona de estudio

En la figura 11 se observa la falla piel de cocodrilo, con un nivel de severidad avanzado. Esta falla tiene una longitud de aproximadamente un metro y está en la intersección de la Av. Huancaray con la Av. Santa Rosa. Además, en la figura 12 se observa un bache en la carpeta asfáltica. Así mismo, en la figura 13 se evidencia las fallas transversales que existen en todo lo largo de la zona estudiada.

**Figura 11**

*Falla piel de cocodrilo*



**Figura 12**

*Bache en la carpeta asfáltica*



**Figura 13**

*Fisuras transversales*



### 3.3 Análisis con el método PCI

Para realizar el análisis de la avenida mediante el método del PCI, se escogieron 4 muestras en todo el largo de la avenida, con el fin de promediar y verificar que el pavimento ese encuentra en estado fallado.

Para este caso solo se analizó paso a paso una muestra de la avenida, ya que siempre se sigue el mismo procedimiento. La primera muestra está en la intersección de la Av. Huancaray con la Av. Santa Rosa y tiene una longitud de 30.50 metros y 7.50 metros de ancho aproximadamente.

Se debe tener en cuenta que este método contiene 3 niveles de severidad que son: Baja (L), Media (M) y Alta (H); y 19 tipos de fallas para pavimento flexible, de las cuales se escogieron 4 ya que son las que existen en la muestra analizada.

1: grieta piel de cocodrilo

5: corrugación

10: grietas longitudinales y transversales

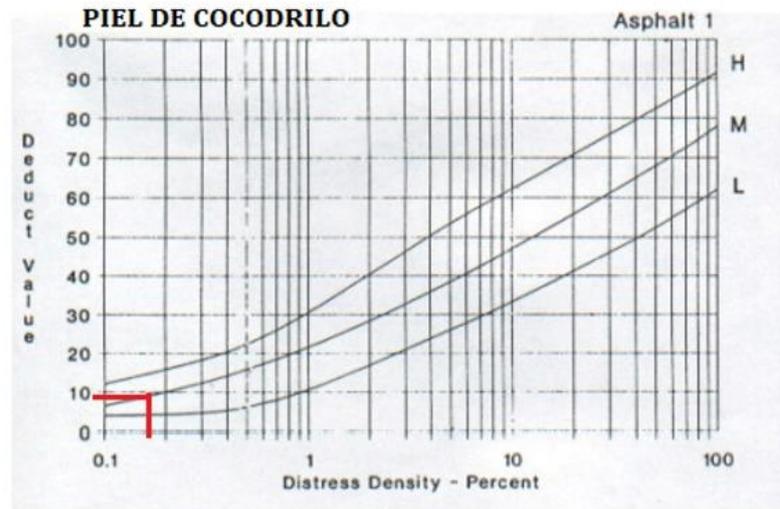
13: baches

Teniendo ya definidas las fallas existentes, con la ayuda de los ábacos del PCI se procede a deducir su valor, que tienen un rango de 0 a 100. Al deducir los valores se clasifica según el nivel de severidad de las fallas.

Al tener solo 4 tipos de fallas, solo se utilizan 4 ábacos ya que cada ábaco pertenece a un tipo de falla distinto.

**Figura 14**

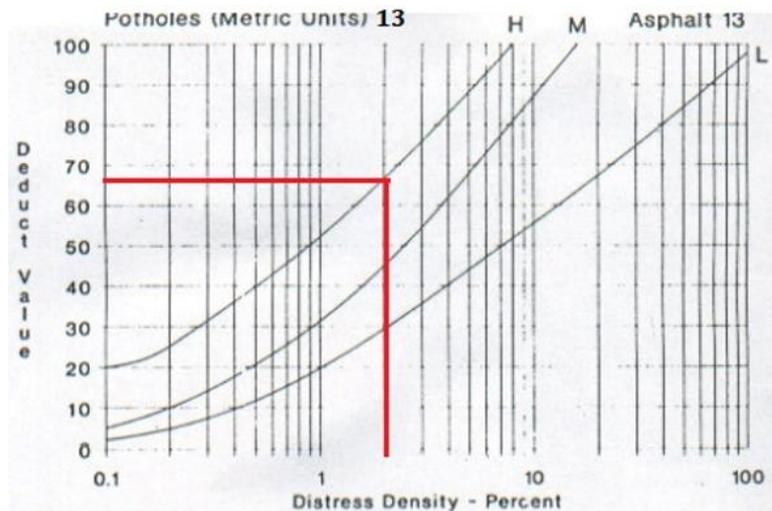
*Ábaco de la falla piel de cocodrilo*



*Nota.* Elaborado a partir de "Pavement Condition Index (PCI)", por R. Vásquez, 2010 (<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>).

**Figura 15**

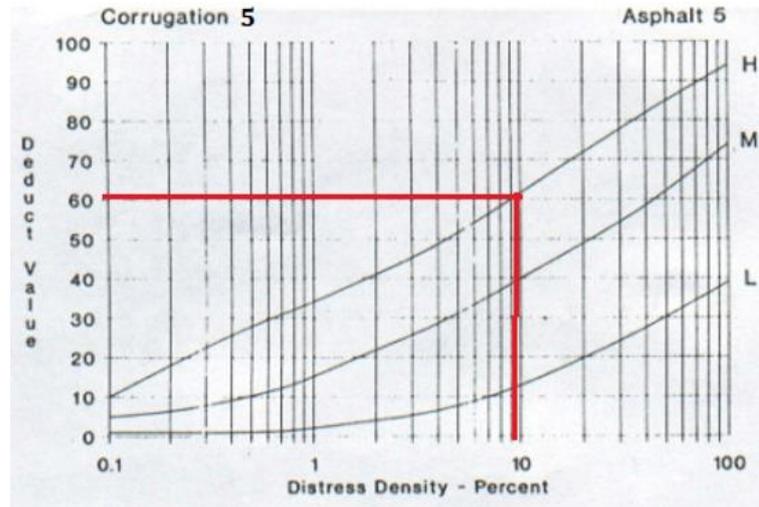
*Ábaco de la falla de huecos*



*Nota.* Elaborado a partir de "Pavement Condition Index (PCI)", por R. Vásquez, 2010 (<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>).

**Figura 16**

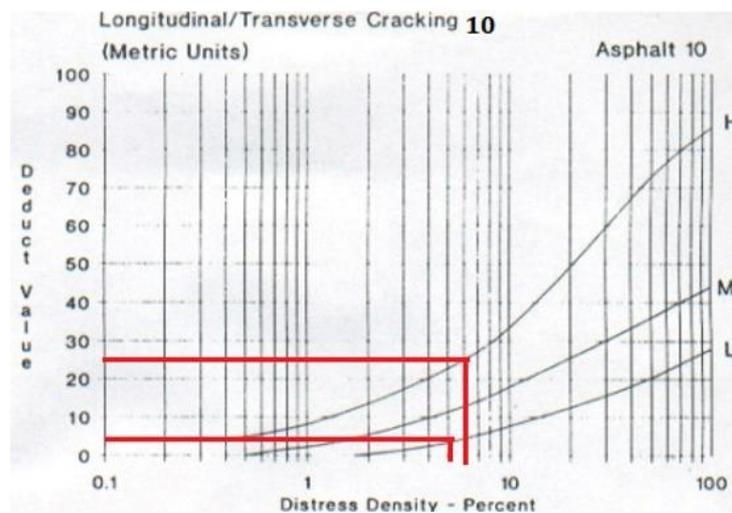
*Ábaco de corrugación*



*Nota.* Elaborado a partir de “Pavement Condition Index (PCI)”, por R. Vásquez, 2010 (<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>).

**Figura 17**

*Ábaco de fisuras transversales*



*Nota.* Elaborado a partir de “Pavement Condition Index (PCI)”, por R. Vásquez, 2010 (<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>).

Una vez que se conoce el total de la severidad de las fallas se procede a completar la tabla del cálculo del PCI. Esta tabla proporciona los valores de las densidades y el valor deducido de cada falla. Una vez que se conoce el máximo del valor deducido se puede sacar los demás valores deducidos los cuales se ordenan de mayor a menor. Para obtener el valor de VDT se suman todos los valores deducidos. El “q” es el número de deducción superior a 2 puntos, el cual se encuentra en el ábaco “Caminos y estacionamientos: asfalto”, el cuál sirve para obtener el valor de deducción corregido (VDC).

Una vez que se sabe cuál es el máximo valor del VDC, se procede a efectuar la ecuación del PCI. Para este caso el valor del PCI es 8 indicando que la sección del pavimento analizado esta fallado.

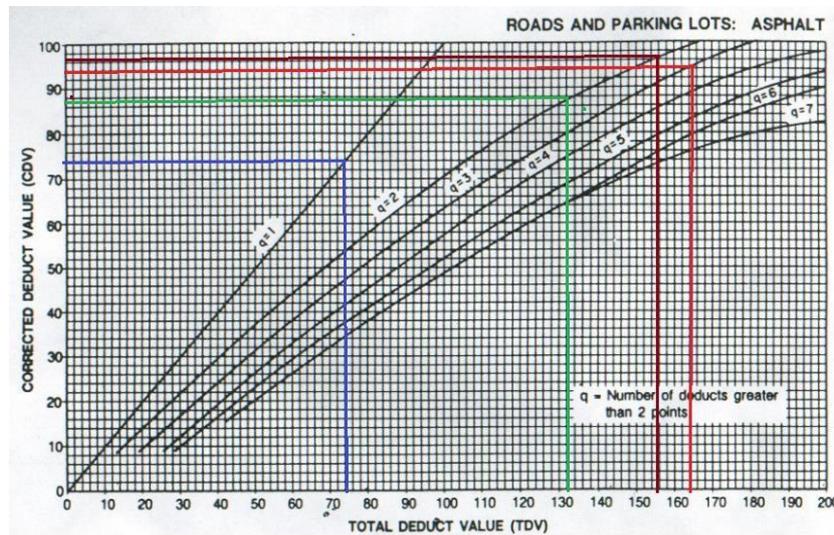
### Figura 18

Tabla del cálculo del PCI

CÁLCULO DEL PCI							
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido			
1	M	1.84	0.80%	10			
5	H	21.40	9.36%	60			
13	H	4.50	1.97%	68			
10	L	11.90	5.20%	5			
10	H	10.50	4.59%	25			
Número máximo de valor deducido es 68. Por lo que el número máximo de VD será 3.94							
Número	Valores deducidos				VDT	q	VDC
1	68	60	25	9.4	162.40	4	96
2	68	60	25	2	155.00	3	94
3	68	60	2	2	132.00	2	86
4	68	2	2	2	74.00	1	72
						<b>Max VDC</b>	<b>96</b>
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO						PCI = 100 – Max.VDC	
RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL PCI						<b>FALLADO</b>	

**Figura 19**

Ábaco "Caminos y estacionamientos: asfalto"



Nota. Elaborado a partir de "Pavement Condition Index (PCI)", por R. Vásquez, 2010 (<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>).

En las Figuras 20, 21 y 22 se muestran las 3 muestras restantes con su respectivo rango de clasificación.

**Figura 20**

Análisis de la segunda muestra

CÁLCULO DEL PCI								
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducto	Número máximo de valor deducto es 25 Por lo que el número máximo de VD será 7.88			
1	M	7.10	1.14%	25.0				
13	M	1.50	0.24%	10				
13	L	1.00	0.16%	5				
10	M	22.30	3.58%	13				
Número	Valores deductos				VDT	q	VDC	
1	25	13	10	4.4	52.40	4	30	
2	25	13	10	4.4	52.40	4	31	
3	25	13	10	4.4	52.40	4	32	
4	25	13	10	4.4	52.40	4	33	
5	25	13	10	4.4	52.40	4	34	
6	25	13	10	2	50.00	3	34	
7	25	13	2	2	42.00	2	34	
8	25	2	2	2	31.00	1	36	
						<b>Max VDC</b>	<b>36</b>	
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO						PCI = 100 – Max. VDC		64
RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL PCI						<b>BUENO</b>		

**Figura 21**

*Análisis de la tercera muestra*

CÁLCULO DEL PCI									
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	Número máximo de valor deducido es 52. Por lo que el número máximo de VD será 5.41				
1	H	12.00	2.95%	48					
1	L	10.80	2.65%	20					
10	H	8.50	2.09%	19					
10	M	11.00	2.70%	10					
10	L	10.40	2.55%	5					
13	H	3.70	0.91%	52					
13	M	2.50	0.61%	25					
Número	Valores deducidos				VDT	q	VDC		
1	52	48	25	20	7.79	152.79	6	78	
2	52	48	25	20	7.79	152.79	5	78	
3	52	48	25	20	2	147.00	4	82	
4	52	48	25	2	2	129.00	3	74	
5	52	48	2	2	2	106.00	2	76	
6	52	2	2	2	2	60.00	1	58	
							<b>Max VDC</b>	<b>82</b>	
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO							PCI = 100 – Max.VDC		18
RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL PCI							<b>MUY MALO</b>		

**Figura 22**

*Análisis de la cuarta muestra*

CÁLCULO DEL PCI									
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	Número máximo de valor deducido es 35. Por lo que el número máximo de VD será 6.96				
1	M	15.30	3.09%	35					
1	L	7.00	1.41%	15					
13	M	1.30	0.26%	35					
13	L	11.50	2.32%	15					
10	H	20.70	4.18%	25					
10	M	10.40	2.10%	5					
Número	Valores deducidos								VDT
1	35	25	15	4.8	79.80	7	36		
2	35	25	15	4.8	79.80	6	40		
3	35	25	15	4.8	79.80	5	40		
4	35	25	15	4.8	79.80	4	46		
5	35	25	15	2	77.00	3	48		
6	35	25	2	2	64.00	2	49		
7	35	2	2	2	41.00	1	42		
							<b>Max VDC</b>	<b>49</b>	
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO							PCI = 100 – Max.VDC		51
RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL PCI							<b>MALO</b>		

Teniendo calculado el índice de condición de pavimento de cada muestra, se procede a calcular el promedio, para verificar si el pavimento está dañado.

$$PCI = \frac{4 + 64 + 18 + 51}{4} = 34.25 \text{ (MALO)}$$

### 3.4 Diseño de mezcla con el método ACI

#### 3.4.1 Diseño de mezcla para la losa estándar:

Conforme al diseño de la calzada, la resistencia de diseño de la mezcla es  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup>. Las pautas de uso y la consistencia del cono de Abrams (slump) están estrechamente vinculadas a la reducción de la probabilidad de fisuración causada por la contracción plástica. Los pavimentos tienen una mayor área de exposición, lo que los hace más susceptibles a los efectos de la luz solar, la humedad, el viento y otros factores. Por lo tanto, para la piedra, se sugiere emplear un slump de 1 pulgada o la categoría Huso 57 por las siguientes razones:

Primero, para evitar el agrietamiento por contracción plástica, para losas de pavimento, los agregados menores a H57, como el huso de 3/4" o de 67, requieren más mortero para cubrir la superficie del agregado, por lo que el contenido de cemento aumenta. Posteriormente viene la posibilidad de agrietamiento debido a la contracción plástica. En segundo lugar, debido al menor consumo de cemento, se mejora la resistencia al desgaste. Finalmente, resistencia a la flexión: la piedra de 1" o una mezcla de Huso 57 tiene mejor resistencia a la flexión que las piedras más pequeñas. De manera similar al asentamiento, se recomienda utilizar un asentamiento de 3" para el drenaje a través del equipo de pavimentación. Si se considera un asentamiento mayor, se produce una mayor pérdida de agua cuando comience el forjado, lo que aumenta la probabilidad de grietas. El diseño considerado está mostrado en la figura 23.

**Figura 23***Diseño de mezcla para pavimentos estándar*

<b>DISEÑO MEZCLA PARA PAVIMENTOS ESTÁNDAR</b>			
<b>F'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Slump</b>	<b>Huso</b>	<b>Cemento</b>
350	4"	57	Tipo I

**3.4.2 Diseño de mezcla para el pavimento con fibra de refuerzo**

Además de la cantidad de fibra a incorporar, que se basa en el peso del cemento (en este caso, 0.75%, 1% y 1.5%), se producen variaciones en el diseño de las mezclas para pavimentos con y sin fibras. Principalmente, esto implica un aumento en el valor del asentamiento (Slump). A medida que se añaden fibras sintéticas a la mezcla, la trabajabilidad disminuye. Por lo tanto, es necesario incrementar el asentamiento, a fin de lograr el nivel de compactación deseado cuando se vierte en el punto estructural. Por ejemplo, si se necesita un asentamiento de 4 pulgadas en la base de la estructura, el concreto debe tener un asentamiento inicial de 6 pulgadas en la fábrica para alcanzar el asentamiento requerido de 4 pulgadas cuando se incorpora la fibra en el lugar de trabajo. Esto es cómo se adapta el diseño de la mezcla de un pavimento que utiliza microfibra de polipropileno.

**Figura 24***Diseño de mezcla para pavimentos con fibra de refuerzo*

<b>DISEÑO MEZCLA PAVIMENTO CON FIBRA DE REFUERZO</b>				
<b>F'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Slump</b>	<b>Huso</b>	<b>Cemento</b>	<b>Fibra (%)</b>
350	6"	57	Tipo I	0.75%, 1% y 1.5%

### 3.5 Ensayo a flexión de vigas normalizadas

En el ensayo estandarizado de flexión en vigas, se empleó un molde de prisma con dimensiones de 6" × 6" × 20", el cual se sometió a pruebas de flexión de forma semanal hasta el día 28. Estas muestras fueron previamente marcadas en tercios para luego aplicar la carga de manera continua. Para llevar a cabo este proceso, se siguieron las pautas establecidas en la norma NTP 339.087, titulada "Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto".

#### Figura 25

*Ensayo de flexión en vigas normalizadas*



Previo a la realización de los análisis de laboratorio, se aseguró que las viguetas cumplieran con el adecuado proceso de curado. Asimismo, se verificó que la máquina universal estuviera debidamente calibrada y equipada con un sistema operativo que permitiera un control preciso de la velocidad de la carga aplicada. Los resultados obtenidos tras la ejecución de los ensayos se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1***Resultados del ensayo a flexión de vigas normalizadas a los 7, 14, 21 y 28 días*

Nombre	Refuerzo	Dosificación	Edad (días)	Carga máxima (kgf)	Módulo de Rotura (Mpa)	Promedio (Mpa)
M1	Sin refuerzo	0%	7	1531.68	24.96	35.29
M2			14	1815.67	29.59	
M3			21	2336.67	38.08	
M4			28	2976.98	48.51	
M1	Con refuerzo	0.75%	7	1800.78	29.35	41.40
M2			14	2200.76	35.86	
M3			21	2900.65	47.27	
M4			28	3258.86	53.11	
M1	Con refuerzo	1.0%	7	2900.53	45.11	55.98
M2			14	3200.54	52.16	
M3			21	3786.65	60.08	
M4			28	4086.65	66.60	
M1	Con refuerzo	1.50%	7	2100.76	34.23	47.27
M2			14	2500.65	40.75	
M3			21	3200.76	52.16	
M4			28	3800.56	61.96	

## Figura 26

*Prueba de flexión en vigas normalizadas a los 28 días*



### 3.6 Ensayo a compresión de cilindros

Para los ensayos a compresión se utilizaron cilindros de 15×20 cm, las cuales fueron ensayadas semanalmente. Estas muestras fueron marcadas en sus tercios previamente para proceder a aplicar la carga de manera continua. Para ello, se tuvo consideraciones establecidas por INDECOPI (2015) donde se especifica el procedimiento estándar para evaluar la resistencia a la compresión.

## **Figura 27**

### *Ensayo de compresión*



De igual manera, se aseguró de que los cilindros estuvieran adecuadamente curados. Se verificó también la correcta calibración de la máquina universal y la disponibilidad de un sistema operativo para controlar la velocidad de las cargas aplicadas. Los resultados obtenidos tras la ejecución de los ensayos se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2***Resultados del ensayo de compresión de cilindros a los 7, 14, 21 y 28 días*

<b>Nombre</b>	<b>Refuerzo</b>	<b>Dosificación</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>Carga máxima (kgf)</b>	<b>Esfuerzo a compresión (Mpa)</b>
M1	Sin refuerzo	0%	7	122.78	42.93
M2			14	139.42	48.75
M3			21	136.74	55.55
M4			28	149.32	63.76
M1	Con refuerzo	0.75%	7	150.13	52.49
M2			14	161.65	56.52
M3			21	172.28	62.76
M4			28	185.83	72.87
M1	Con refuerzo	1.0%	7	242.91	69.64
M2			14	254.47	79.64
M3			21	268.69	87.99
M4			28	275.92	99.65
M1	Con refuerzo	1.50%	7	164.65	57.56
M2			14	175.92	61.51
M3			21	183.51	72.87
M4			28	196.05	83.76

## Figura 28

*Pruebas de compresión en probetas a los 28 días*



### 3.7 Análisis con el software Ansys

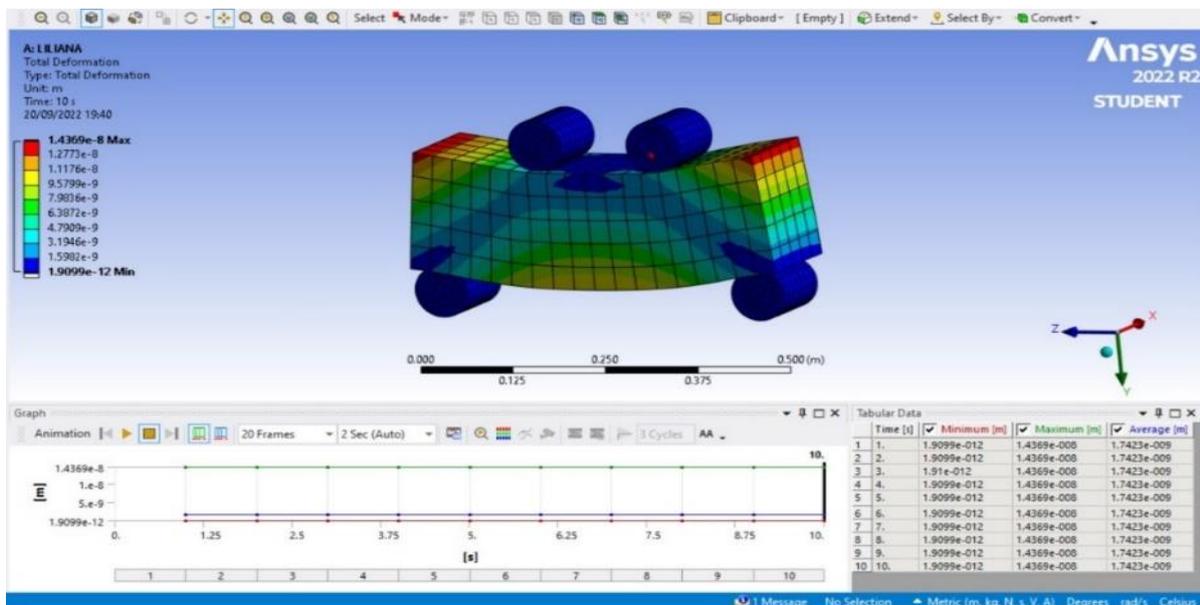
Para realizar en análisis con el software Ansys, se tuvieron en cuenta los siguientes pasos para poder obtener una correcta simulación en el programa.

Para efectuar los ensayos en el programa computacional, primero se abre el Ansys Workbench, donde se busca la opción “sistema de análisis” y se da clic en sistema estructural estático. Una vez elegido el análisis estructural, se procede a colocar el nombre del archivo, el cual es “Liliana”. Después, se coloca los materiales que se van a utilizar (concreto y acero estructural) en la opción datos de ingeniería. El programa por defecto coloca los valores de las propiedades de cada material elegido. Con los datos establecidos, se crea la geometría (para este proyecto la geometría es una viga con cuatro apoyos, dos en los extremos de la parte inferior y los otros dos en la parte superior). Con la geometría

lista, se procede hacer el modelamiento, en donde primero se asigna el tipo de material para cada elemento (los círculos son de acero y la viga es de concreto). Después, se asigna las conexiones, donde se ve el contacto que tiene las barras de acero y la viga de concreto. Posteriormente, se realiza el enmallado junto con la asignación de la estructura estática (fuerza y desplazamiento remoto en las barras de acero). Finalmente se selecciona los análisis estructurales (deformación total, estrés equivalente, deformación elástica normal) se da clic en la opción solucionar y el programa los calcula.

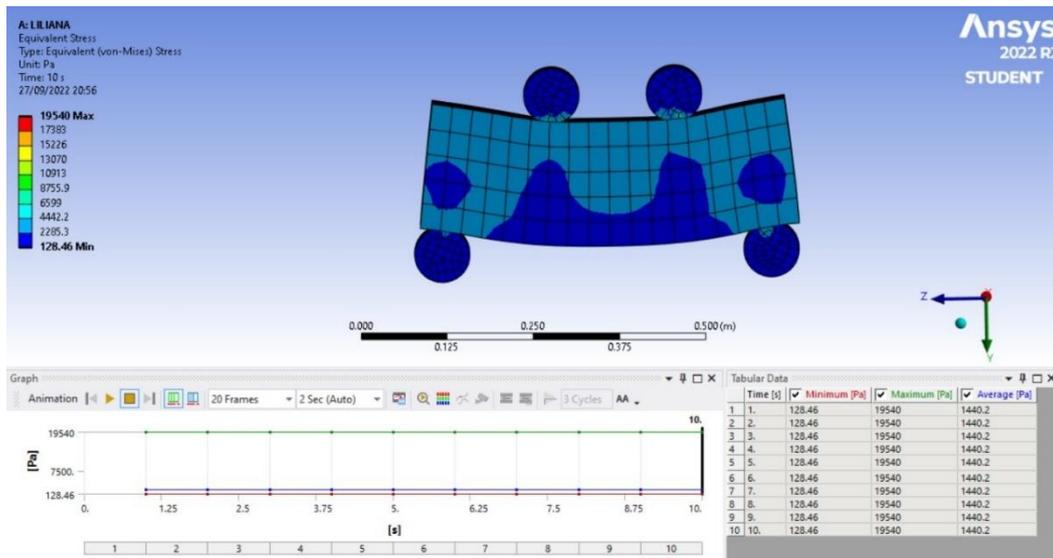
**Figura 29**

*Deformación Total*



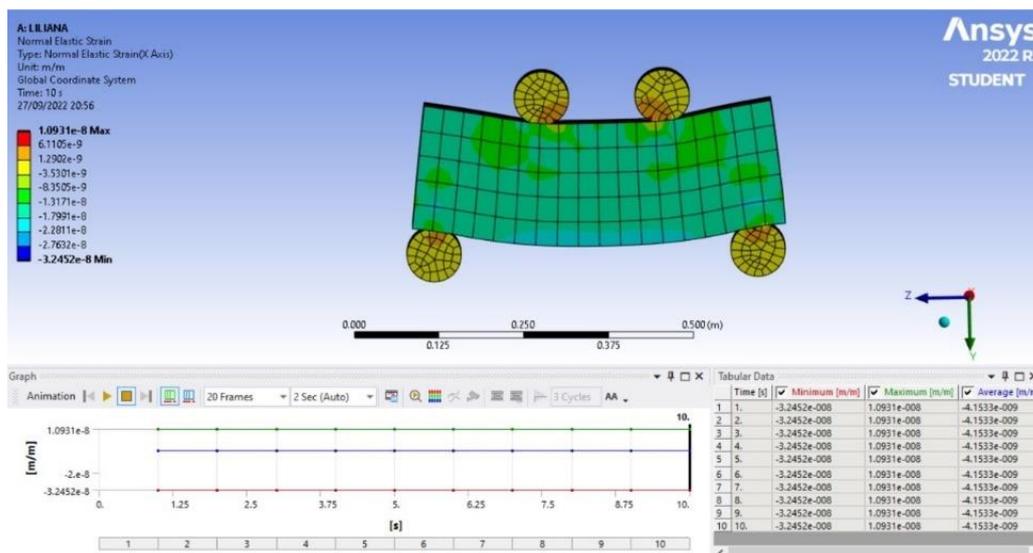
**Figura 30**

*Estrés equivalente*



**Figura 31**

*Deformación elástica normal*



## Capítulo IV – Análisis de los resultados

### 4.1 Método de PCI

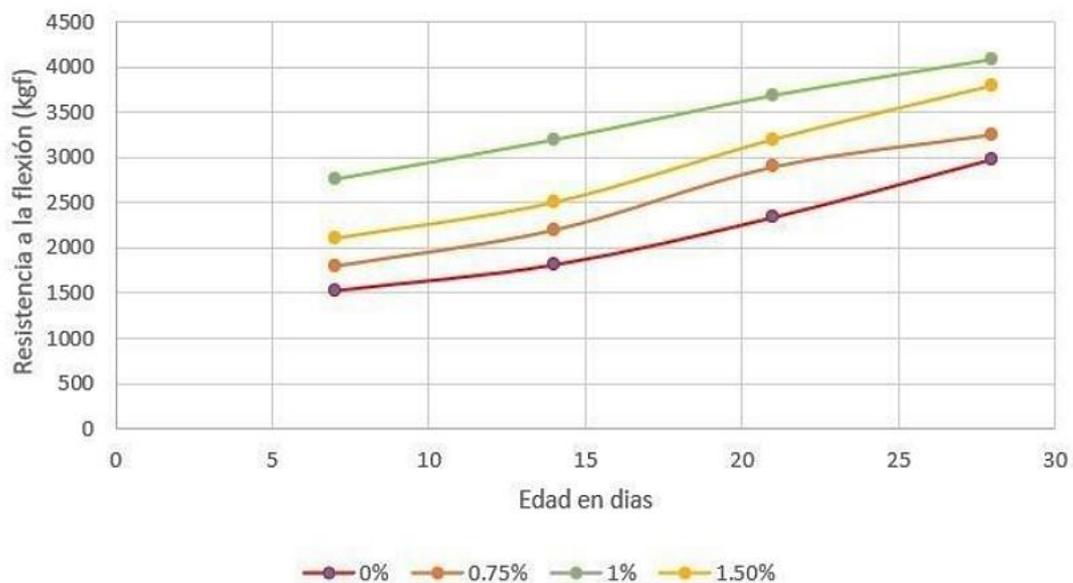
Con el método PCI, se evidencia que el pavimento de la avenida estudiada se encuentra en estado malo, ya que está en el rango de 25 – 40. Por lo que se debe de rediseñar el diseño del pavimento.

### 4.2 Ensayo de flexión

En la Figura 32, se presentan los resultados obtenidos tras la realización de los ensayos de flexión, correspondientes a cada variante de diseño empleada. Se puede observar que a medida que se incrementa el porcentaje de incorporación de fibra hasta el 1%, la resistencia a la flexión muestra una tendencia al alza. No obstante, una vez alcanzado el 1%, se registra una marcada disminución en la resistencia.

**Figura 32**

*Líneas tendencias del ensayo a flexión*

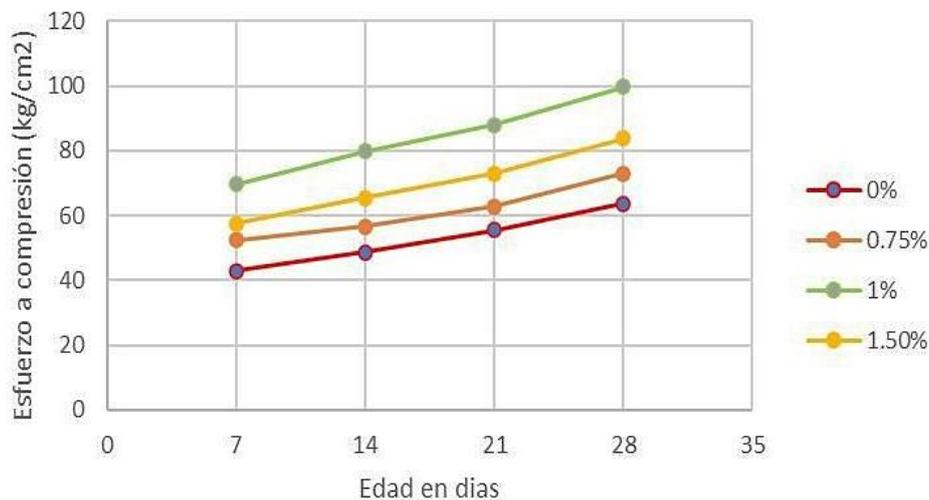


### 4.3 Ensayo de compresión

La figura 33 muestra los resultados obtenidos tras los ensayos de compresión a niveles de incorporación de fibras de 0, 0,75, 1 y 1,5%. Cabe resaltar que también se produce una línea de tendencia al aumento de la resistencia a la compresión, como en el caso de la flexión, ya que aumentando la dosis al 1% se obtienen mejores resultados frente a porcentajes superiores como 1,5%. La reducción de la resistencia es notable.

**Figura 33**

*Línea tendencia de los ensayos de compresión*



En resumen, los datos obtenidos tanto en las pruebas de compresión y flexión indican que la adición de un 1% de fibra mejora la resistencia más que el añadir un 1.5%. Esto se atribuye a que un porcentaje más alto de fibra en la mezcla provoca aglomeración de esta, afectando negativamente su desempeño.

#### 4.4 Software ansys

De los resultados obtenidos del análisis computacional para el concreto con y sin refuerzo, después de elaborar las 4 muestras configurando cada una con sus propiedades, se evidencia que la muestra de 1.5% de fibra obtiene una menor deformación (mm) en comparación a las demás muestras. Esto se debe a que las fibras de polipropileno actúan como un puente sobre las grietas evitando su prolongación por lo que se aumenta su rigidez.

No obstante, esta configuración de mezcla resulta menos adecuada en cuanto a las pruebas de compresión y flexión, debido a la aglomeración de fibras.

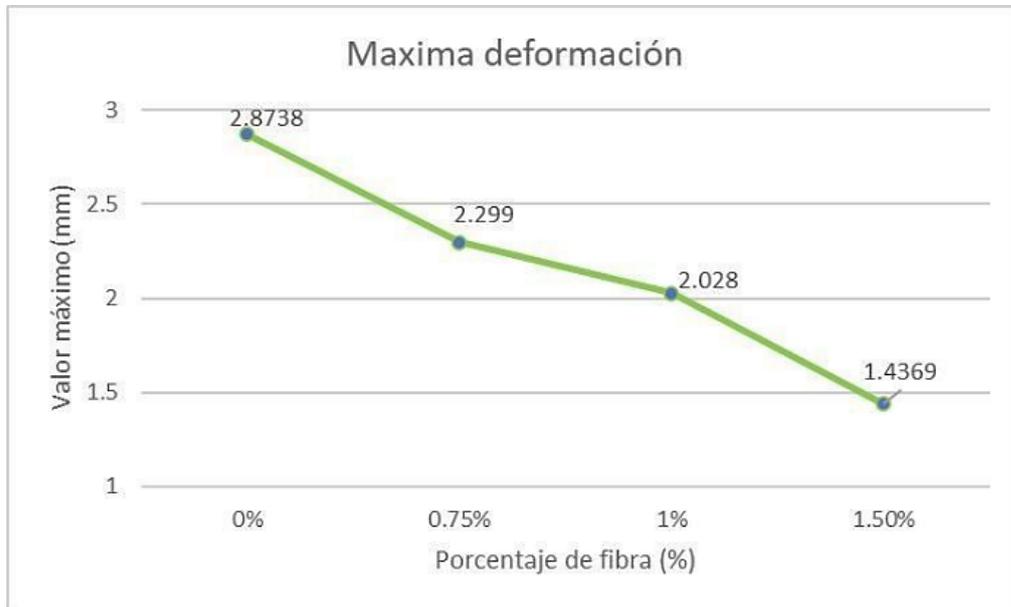
**Tabla 3**

*Resultados del análisis computacional*

Refuerzo	Dosificación	Valor máximo	Valor Mínimo
Sin refuerzo	0%	$2.8738 \times 10^{-8}$	$3.819 \times 10^{-12}$
Con refuerzo	0.75%	$2.299 \times 10^{-8}$	$3.055 \times 10^{-12}$
Con refuerzo	1.0%	$2.028 \times 10^{-8}$	$1.777 \times 10^{-12}$
Con refuerzo	1.5%	$1.4369 \times 10^{-8}$	$1.909 \times 10^{-12}$

**Figura 34**

*Línea tendencia de la máxima deformación*



## Capítulo V – Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

En la presente investigación se evaluó el estado de la vía mediante el método del PCI, dando como resultado que se encuentra fallado. Por lo que se sugiere que se debe realizar un nuevo diseño para que pueda soportar la sobre carga vehicular que actualmente tiene.

- En esta investigación, se llevó a cabo el diseño de una mezcla para pavimento rígido utilizando el método ACI y se incorporaron microfibras de polipropileno. La razón para incorporar estas fibras radica en su elevado módulo elástico y resistencia a la tracción, lo que mejora la capacidad de la matriz de concreto para resistir la formación de grietas bajo tensiones de tracción, flexión y compresión. Para el diseño de la mezcla reforzada, la principal variación en comparación con la mezcla no reforzada reside en el valor del asentamiento (Slump), ya que las fibras de polipropileno tienden a absorber agua, lo que afecta la trabajabilidad del concreto. La dosificación estimada consistió en una resistencia a la compresión  $f_c$  de 350 kg/cm<sup>2</sup>, un Slump de 6 pulgadas en la categoría Huso 57, cemento tipo I de la marca Cemento Sol, junto con la incorporación de fibras en proporciones del 0.75%, 1% y 1.5% con respecto al peso del cemento.
- Las propiedades mecánicas fueron evaluadas mediante pruebas de compresión y flexión. Durante este estudio, se llevaron a cabo estas pruebas de forma periódica cada 7 días hasta que se alcanzó la máxima resistencia a los 28 días. Se observó una mejora del 37% y 56% en comparación con el diseño estándar sin fibras al incorporar un 1% de microfibras de polipropileno. Es importante tener en cuenta que, en un diseño sin fibras de refuerzo, una vez que se alcanza la máxima resistencia, la

estructura se vuelve estructuralmente inutilizable más allá de ese punto. En cambio, en el diseño con fibras, cuando se llega al punto de primera falla, se permite un aumento en la capacidad de carga debido a la transferencia de esfuerzos producidos por las fibras, y la muestra no se desintegra por completo.

- En la presente investigación se evaluó la máxima deformación para las vigas con y sin refuerzo mediante el software Ansys. Dando como resultado que la viga de concreto con 1.5% ( $1.4369 \times 10^{-8}$ ) de fibra incorporada tiene menor deformación que la viga sin refuerzo ( $2.8738 \times 10^{-8}$ ).

## **5.2 Recomendaciones**

- Es aconsejable extender este estudio, explorando otras propiedades de las microfibras de polipropileno, como su longitud y configuración, y considerar su aplicación en diversos tipos de cemento.
- Se recomienda que investigaciones similares sobre el uso de microfibras de polipropileno se lleven a cabo en otros proyectos de construcción de carreteras, con el fin de proporcionar una mayor confiabilidad y contribuir a una mejor definición de la viabilidad de esta alternativa, además de mejorar los resultados en términos de rendimiento mecánico del pavimento.
- Se recomienda que en futuros estudios se propongan normas nacionales para el uso de fibras en fabricación de pavimentos de hormigón para su resistencia a la flexión y su capacidad de control de fisuras.
- Considerar el seguimiento periódico de los pavimentos reforzados con fibras para observar el comportamiento de las fibras en el hormigón midiendo la deflexión de la losa.

## Referencias bibliográficas

- Abdulaziz, A., Reyes, G., Figueiredo, F., Neocleous, K., Cristofe, A., Guadagnini, M., & Pilakoutas, K. (2019). Fatigue performance of flexible Steel fibre reinforced rubberised concrete pavements. *Engineering Structures*, 193. 170-183. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029618335879?via%3Dihub>
- American Society for Testing and Materials. (2002). *Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la flexión del hormigón (C78-02 – revisada el 2023)*. <https://pdfcoffee.com/astm-c-78-02-3-pdf-free.html>
- American Society for Testing and Materials. (2019). *Standard Specification for Steel, Sheet and Strip, Heavy-Thickness Coils, Hot-Rolled, Carbon, Structural, High-Strength Low-Alloy, and High-Strength Low-Alloy with Improved Formability, General Requirements for*. (Norma D3039 - revisada el 2023). <https://www.normsplash.com/Samples/ASTM/143986594/ASTM-A635-A635M-15-en.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2022). *Standard test method for static modulus of elasticity and poissons ratio of concrete in compression (C469M-22 - revisada el 2023)*. [https://www.astm.org/c0469\\_c0469m-22.html](https://www.astm.org/c0469_c0469m-22.html)

Aguirre, R. (2021). *Influencia de la fibra de acero como materiales de esfuerzo de concreto para reducir el espesor de pavimentos de mediano tránsito* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/654767#:~:text=El%20enfoco%20de%20estudio%20fue,los%20veintiocho%20d%C3%ADas%20de%20fraguado>

Allistair B., Parque D., Tri Ho M., & Jo-Soon K. (2020). Evaluation of resistance to fatigue cracking of asphalt concrete reinforced with fiber grating with reflection cracking rate calculation. *Construction and Building Materials*, 128. 77-87. <https://sciencedirect.upc.elogim.com/science/article/abs/pii/S095006181631354X?via%3Dihub>

Chirinos, K., & Cuervo, C. (2021). *Proposal to use recycled polypropylene synthetic fibers in the control of cracks generated by shrinkage in concrete pavements in Lima* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/654823>

Dávila, H. (2022). *Propuesta de un concreto para pavimentos rígidos con adición de polvo de vidrio en reemplazo parcial del cemento y agregado fino, afín de reducir la contaminación producida por la contaminación de la capa de rodadura en la Carretera Moyoc-Huanta, Tramo Allcomachay-Huanta departamento de Ayacucho*. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/659066>

Hassan, Z., Aliha, B., Alí, M., & Yasha S. (2020). Crack resistance of hot mix asphalt containing different percentages of reclaimed asphalt pavement and glass fiber.

*Construction and Building Materials*, 230. 117015.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819324572>

Hesami, S., Hikouei, I., & Emadi, S. (2016). Mechanical behavior of selfcompacting concrete pavements incorporating recycled tire rubber crumb and reinforced with polypropylene fiber. *Journal of Cleaner Production*, 133. 228-234.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261630347X>

Hussain, I., Ali, B., Akhtar, T., Sohail Jameel, M., & Safdar Raza, S (2020). Comparison of mechanical properties of concrete and design thickness of pavement with different types of fiber-reinforcements (steel, glass, and polypropylene). *Case Studies in Construction Materials*.

[https://www.researchgate.net/publication/343738775\\_Comparison\\_of\\_mechanical\\_properties\\_of\\_concrete\\_and\\_design\\_thickness\\_of\\_pavement\\_with\\_different\\_types\\_of\\_fiber-reinforcements\\_steel\\_glass\\_and\\_polypropylene](https://www.researchgate.net/publication/343738775_Comparison_of_mechanical_properties_of_concrete_and_design_thickness_of_pavement_with_different_types_of_fiber-reinforcements_steel_glass_and_polypropylene)

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.

(2014). *Especificaciones normativas para agregados en concreto*. [Fotografía].

<https://es.slideshare.net/hersacs/ntp-400-037-2014especificacionesagregados>

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad

Intelectual. (2015). *Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en probetas cilíndricas*. (NTP 339.034 – revisado el 2023). <https://doku.pub/documents/ntp-339034-metodo-de-ensayo-normalizado-para-la-determinacion-de-la-resistencia-a-la-compresion-del-concreto-en-muestras-cilindricas-408g7zr6o7qx>

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad

Intelectual. (2018). *Agregados para concreto. Requisitos (4ª ed.)*. Dirección de Normalización- INACAL. <https://es.scribd.com/document/509925124/NTP-400-037-2018>

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad

Intelectual. (2019). *Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland* [Fotografía]. <https://es.scribd.com/document/445076889/NTP-339-088-aguas>

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. (2016). *Hormigón con Fibra*. Madrid.

Kosmatka Steven, H., Kerkhoff, B., Panarese William, C., & Tenesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association.

[https://www.academia.edu/112956749/Dise%C3%B1o\\_y\\_Control\\_de\\_Mezclas\\_de\\_Concreto?uc-g-sw=33383752](https://www.academia.edu/112956749/Dise%C3%B1o_y_Control_de_Mezclas_de_Concreto?uc-g-sw=33383752)

Lau, C., Chegenizadeh, A., Htut, T., & Nikraz, H (2020), Performance of the Steel Fibre Reinforced Rigid Concrete Pavement in Fatigue. *Buildings*, 10. 18-27.  
[https://searchworks.stanford.edu/articles/edsgao\\_edsgcl.641905261](https://searchworks.stanford.edu/articles/edsgao_edsgcl.641905261)

Leiva, J. (2020). *Aplicación de la fibra de polipropileno macro sintética estructural para mejorar las propiedades del concreto en el pavimento rígido de la Av. Gerardo Unger, Los Olivos, Lima 2019*. [Tesis de licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Académico UCV.  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/48896/Leiva\\_SJH-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/48896/Leiva_SJH-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Mahapara A., & Gyanendra, S. (2021). Fatigue analysis of rice husk ash and sustainable geopolymeric concrete a base of basalt fibers in rigid pavements. *Materials today: Proceedings*, 45(6), 5014-5022.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321005411>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). *Especificaciones técnicas generales para construcción* (EG-2013).  
[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-01-13%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013).pdf)

Miranda, C., & Rado, M. (2019). *Propuesta de concretos reforzados con fibras de acero y cemento puzolánico para la construcción de pavimentos rígidos en la región de Apurímac*. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC.  
[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628106/Rado\\_MM.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628106/Rado_MM.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Mishutin, A., Kroviakov, S., Kryzhanovskyi, V., & Chintea, L. (2021). Fiber Reinforced concrete for rigid road pavements modified with polycarboxylate admixture and metakaolin. *Scientific paper*, 12 (23), 1-10. <http://e-gfos.gfos.hr/app/storage/protected/14-12-2021-09-14-41-egfos-2021-23-1.pdf>

Montalvo, M. (2015). *Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales*. [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Académico PUCP.  
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6117>

Morán, F., & Huerta, E. (2020). *Propuesta de mejora del comportamiento mecánico en pavimentos rígidos mediante la aplicación de fibra de acero en la vía av. los Héroes: tramo av. Miguel Iglesias y av. 26 de Noviembre*. [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico PUCP.  
[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655071/MoranC\\_F.pdf?sequence=3](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655071/MoranC_F.pdf?sequence=3)

Mundher A., Mohamed, S., & Qais, B. (2021). Effect polypropylene of fiber on drying shrinkage cracking of concrete pavement using response surface methodology. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 23 (03). 2520-0917.  
[https://www.researchgate.net/publication/351440531\\_EFFECT\\_POLYPROPYLENE\\_OF\\_FIBER\\_ON\\_DRYING\\_SHRINKAGE\\_CRACKING\\_OF\\_CONCRETE\\_PAVEMENT\\_USING\\_RESPONSE\\_SURFACE\\_METHODODOLOGY](https://www.researchgate.net/publication/351440531_EFFECT_POLYPROPYLENE_OF_FIBER_ON_DRYING_SHRINKAGE_CRACKING_OF_CONCRETE_PAVEMENT_USING_RESPONSE_SURFACE_METHODODOLOGY)

Pasquel, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú* (2a ed.). Colegio de Ingenieros del Perú.  
[https://www.academia.edu/36925573/ENRIQUE\\_PASQUEL\\_CARBAJAL\\_TOPICOS\\_DE\\_TECNOLOGIA](https://www.academia.edu/36925573/ENRIQUE_PASQUEL_CARBAJAL_TOPICOS_DE_TECNOLOGIA)

Praveen, G., Pandu, K., & Chandrabai, T. (2020). Improvement of California Bearing Ratio (CBR) Value Enhancement modified with steel fiber reinforced cement for pavement subgrade mixed with fly ash. *Materials today: Proceedings*. 19 (1). 639- 642.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320368267>

Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional. (2018). *Plan estratégico sectorial multiannual 2018-2026* (183-2022-MTC/01).  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4519841/Plan%20Estrat%C3%A9gico%20Sectorial%20Multianual%20%28PESEM%29%202018-2026.pdf?v=1683321452>

Salazar, A. (2004). *Síntesis de la tecnología del concreto. Una manera de entender a los materiales compuestos.* (4<sup>a</sup> ed.). Corporación Construir.

<https://es.scribd.com/document/352040643/Libro-Sintesis-de-La-Tecn-Del-Concreto>

Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (5a ed.). Bhandar editores.

[https://www.academia.edu/35759848/Tecnolog%C3%ADa\\_del\\_concreto\\_y\\_del\\_mortero\\_Diego\\_S%C3%A1nchez\\_De\\_Guzm%C3%A1n\\_Bhandar\\_Editores](https://www.academia.edu/35759848/Tecnolog%C3%ADa_del_concreto_y_del_mortero_Diego_S%C3%A1nchez_De_Guzm%C3%A1n_Bhandar_Editores)

Saucedo, A. (2010). *Concreto hidráulico permeable, una alternativa para la recarga de los mantos acuíferos del Valle de México.* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Académico UNAM.

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/529/A5.pdf>

Shen, A., Wu, H., Yang, X., He, Z., & Meng, J. (2020). Effect of Different Fibers on Pavement Performance of Asphalt Mixture Containing Steel Slag. *Journal of Materials in civil Engineering*, 32, 1021.

[https://searchworks.stanford.edu/articles/edsair\\_edsair.doi.....4274a77227f67b3756ac0b1d0505b808](https://searchworks.stanford.edu/articles/edsair_edsair.doi.....4274a77227f67b3756ac0b1d0505b808)

Vargas, G., & Yataco, A. (2020). *Efecto de las fibras de acero y polipropileno en la resistencia a la flexión del concreto para pavimentos rígidos*. [Tesis de licenciatura, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Académico URP.  
[https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/3678/CIV-T030\\_72636801\\_T%20%20%20YATACO%20BARREDA%20ALVARO%20GUSTA%20VO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/3678/CIV-T030_72636801_T%20%20%20YATACO%20BARREDA%20ALVARO%20GUSTA%20VO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Vásquez, R. (2010). *Pavement condition index (PCI) para pavimentos de asfaltos y de concretos en carretera* [Fotografía]. Universidad Nacional de Colombia.  
<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>

Xin, J., Pei, J., Akiyama, M., Li, R., Zhang, J., & Shao, L. (2019). A Study on the Design Method for the Material Composition of Small Particle-Size Asphalt Mixture for Controlling Cracks in Asphalt Pavement. *Applied Sciences* 9(10). 1988.  
<https://www.mdpi.com/2076-3417/9/10/1988>

## Anexo(s)

En el siguiente capítulo se presentan los elementos complementarios de la investigación, como fotografías, tablas y graficas.

### Anexo 1: Análisis mediante el método PCI

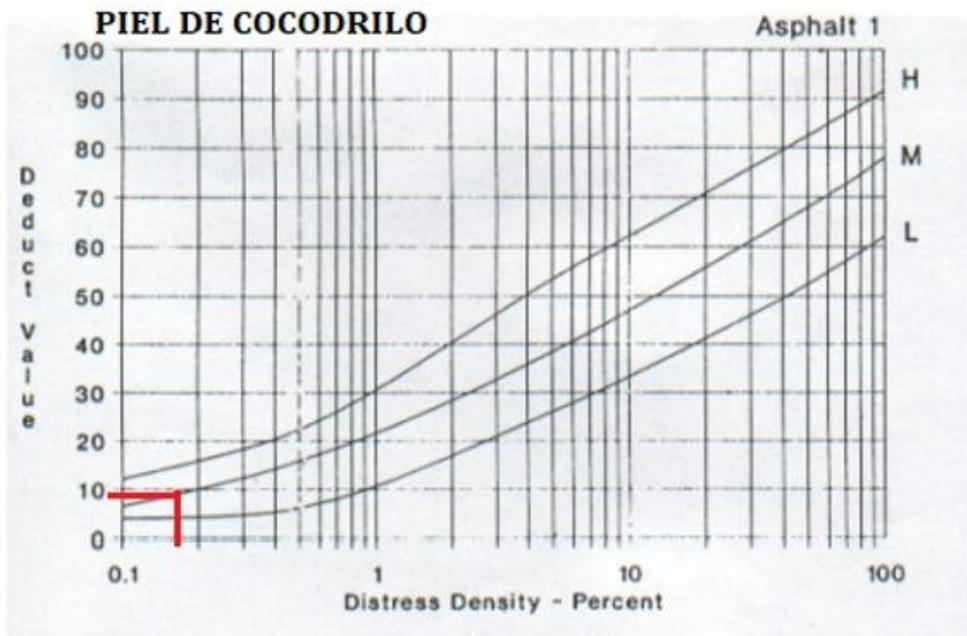
**Figura 35**

*Primera hoja de riesgo para pavimento flexible mediante PCI*

HOJA DE RIESGO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PCI										
LUGAR: Av. Huancaray, tramo Av. Ruiseñores y Av. Colectora Industrial					UNIDAD DE MUESTRA: 01					
SECCIÓN DE VÍA: Intersección de la Av. Huancaray con la Av. Colectora Industrial					ÁREA DE MUESTREO: 228.75 metros cuadrados					
EVALUADORES: Brighthe Zarate y Liliana Julón					FECHA DE EVALUACIÓN: 10-06-2022					
TIPOS DE FALLAS								DIAGRAMA		
1. Grietas piel de cocodrilo	6. Depresión	11. Parcheo y acometidas de servicio	16. Desplazamiento							
2. Exudación	7. Grietas de borde	12. Pulimientos y agregados	17. Grietas parabólicas o por deslizamiento							
3. Agrietamiento en bloque	8. Grietas de reflexión de junta	13. Huecos	18. Hinchamiento							
4. Abultamiento y hundimiento	9. Desnivel carril/berma	14. Cruce de vía ferrea	19. Meteorización/desprendimiento de agregados							
5. Corrugación	10. Grietas longitudinal/transversal	15. Ahuellamiento								
NIVEL DE SEVERIDAD	UNIDAD DE MUESTRA	NUMERO MAXIMO DE VD	INTERV. DE UNI DE M.							
Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{e^2 \times (N - 1) + \sigma^2}$	$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$		$i = \frac{N}{n} = 1$					
Media	M									
Alta	H									
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES								7.5		
		1		5		13		10		
	Cant.	Severidad	Cant.	Severidad	Cant.	Severidad	Cant.	Severidad		
	1.84	M	10.5	H	1.5	H	11.9	L		
			10.9	H	3	H	10.5	H		
TOTAL	BAJA							11.9		
	MEDIA	1.84								
	ALTA			21.4		4.5		10.5		
CÁLCULO DEL PCI										
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	Número máximo de valor deducido es 68. Por lo que el número máximo de VD será 3.94					
1	M	1.84	0.80%	10						
5	H	21.40	9.36%	60						
13	H	4.50	1.97%	68						
10	L	11.90	5.20%	5						
10	H	10.50	4.59%	25						
Número	Valores deducidos				VDT	q	VDC			
1	68	60	25	9.4	162.40	4	96			
2	68	60	25	2	155.00	3	94			
3	68	60	2	2	132.00	2	86			
4	68	2	2	2	74.00	1	72			
							Max VDC	96		
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO							PCI = 100 - Max. VDC		4	
RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL PCI							FALLADO			

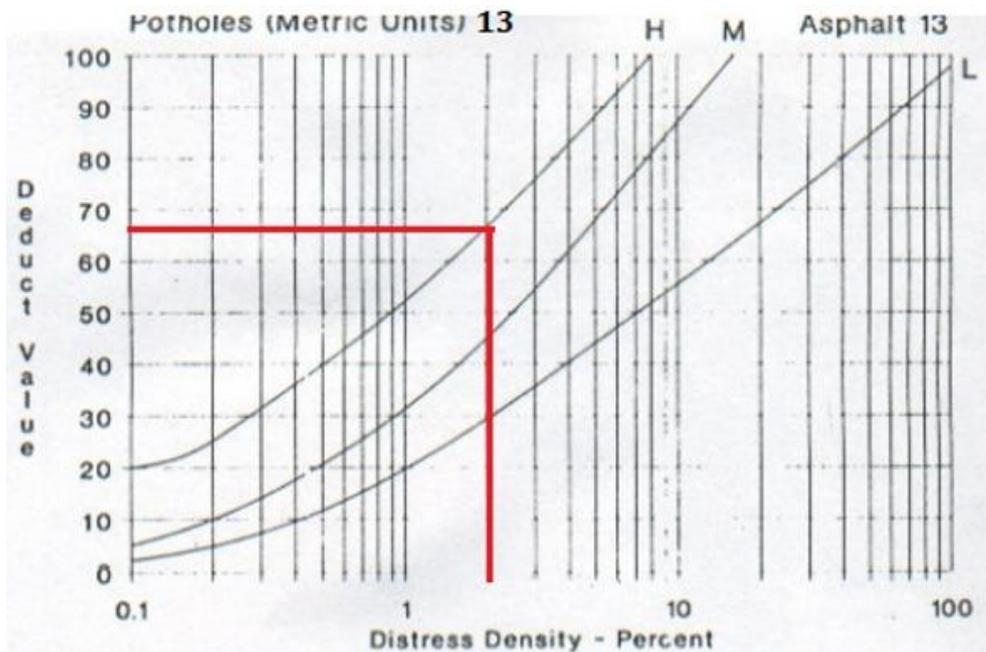
**Figura 36**

*Ábaco de piel de cocodrilo de la primera muestra*



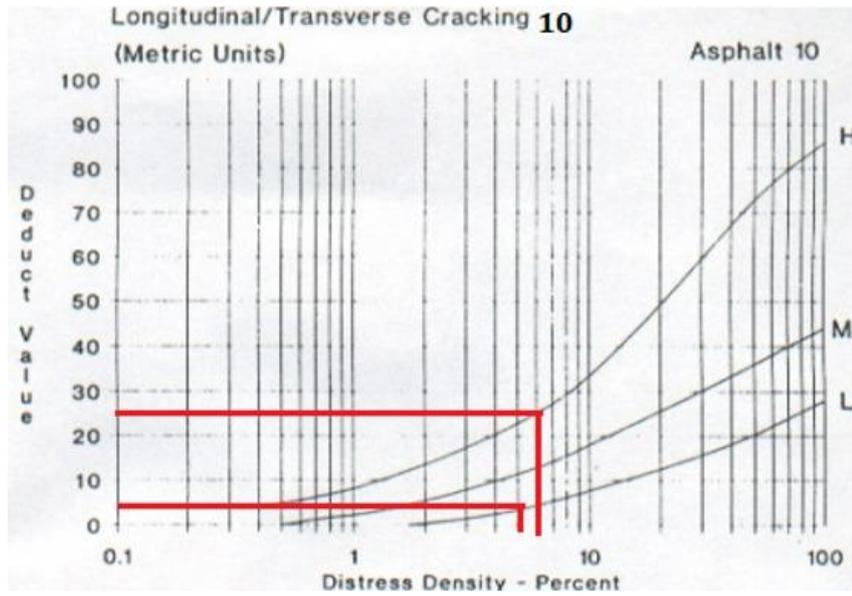
**Figura 37**

*Ábaco de la falla hueco de la primera muestra*



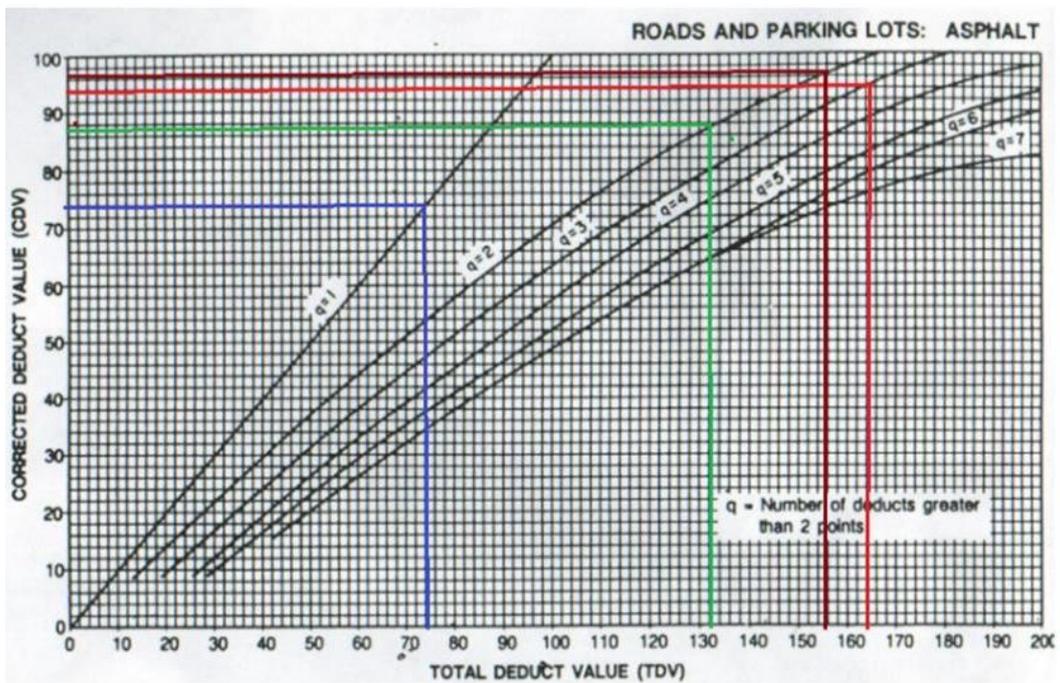
**Figura 38**

*Ábaco de corrugación de la primera muestra*



**Figura 39**

*Ábaco caminos y estacionamientos: asfalto de la primera muestra*



**Figura 40**

Segunda hoja de riesgo para pavimento flexible mediante PCI

HOJA DE RIESGO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PCI																							
LUGAR: Av. Huancaray, tramo Av. Ruiseñores y Av. Colectora Industrial					UNIDAD DE MUESTRA: 02																		
SECCIÓN DE VÍA: Av. Huancaray con Pasaje Portada del Sol					ÁREA DE MUESTREO: 662.6 metros cuadrados																		
EVALUADORES: Brighithe Zarate y Liliana Julón					FECHA DE EVALUACIÓN: 10-06-2022																		
<p style="text-align: center;"><b>TIPOS DE FALLAS</b></p> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 25%;">1. Grietas piel de cocodrilo</div> <div style="width: 25%;">6. Depresión</div> <div style="width: 25%;">11. Parcheo y acometidas de servicio</div> <div style="width: 25%;">16. Desplazamiento</div> <div style="width: 25%;">2. Exudación</div> <div style="width: 25%;">7. Grietas de borde</div> <div style="width: 25%;">12. Pulvimientos y agregados</div> <div style="width: 25%;">17. Grietas parabólicas o por deslizamiento</div> <div style="width: 25%;">3. Agrietamiento en bloque</div> <div style="width: 25%;">8. Grietas de reflexión de junta</div> <div style="width: 25%;">13. Huecos</div> <div style="width: 25%;">18. Hinchamiento</div> <div style="width: 25%;">4. Abultamiento y hundimiento</div> <div style="width: 25%;">9. Desnivel carril/berma</div> <div style="width: 25%;">14. Cruce de vía ferrea</div> <div style="width: 25%;">19. Meteorización/desprendimiento de agregados</div> <div style="width: 25%;">5. Corrugación</div> <div style="width: 25%;">10. Grietas longitudinal/transversal</div> <div style="width: 25%;">15. Ahuellamiento</div> </div>									<p style="text-align: center;"><b>DIAGRAMA</b></p>														
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b>		<b>UNIDAD DE MUESTRA</b>		<b>NUMERO MAXIMO DE VD</b>		<b>INTERV. DE UNI DE M.</b>																	
Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{e^2 \times (N - 1) + \sigma^2}$		$m_i = 1.00 + \frac{9}{98} (100 - HDV_i)$		$i = \frac{N}{n} = 1$																	
Media	M																						
Alta	H																						
<b>TIPOS DE FALLAS EXISTENTES</b>																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Rango</th> <th>Clasificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100 - 85</td><td>Excelente</td></tr> <tr><td>85 - 70</td><td>Muy bueno</td></tr> <tr><td>70 - 55</td><td>Bueno</td></tr> <tr><td>55 - 40</td><td>Regular</td></tr> <tr><td>40 - 25</td><td>Malo</td></tr> <tr><td>25 - 10</td><td>Muy malo</td></tr> <tr><td>10 - 0</td><td>Fallado</td></tr> </tbody> </table>		Rango	Clasificación	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Bueno	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10	Muy malo	10 - 0	Fallado	<b>1</b>		<b>13</b>		<b>10</b>	
		Rango	Clasificación																				
		100 - 85	Excelente																				
		85 - 70	Muy bueno																				
		70 - 55	Bueno																				
55 - 40	Regular																						
40 - 25	Malo																						
25 - 10	Muy malo																						
10 - 0	Fallado																						
Cant.	Severidad	Cant.	Severidad	Cant.	Severidad	Cant.	Severidad																
2.1	M			1.5	M	10.8	M																
5	M			1	L	11.5	M																
<b>TOTAL</b>		BAJA		1		MEDIA		7.1															
		ALTA		1.5		ALTA		22.3															

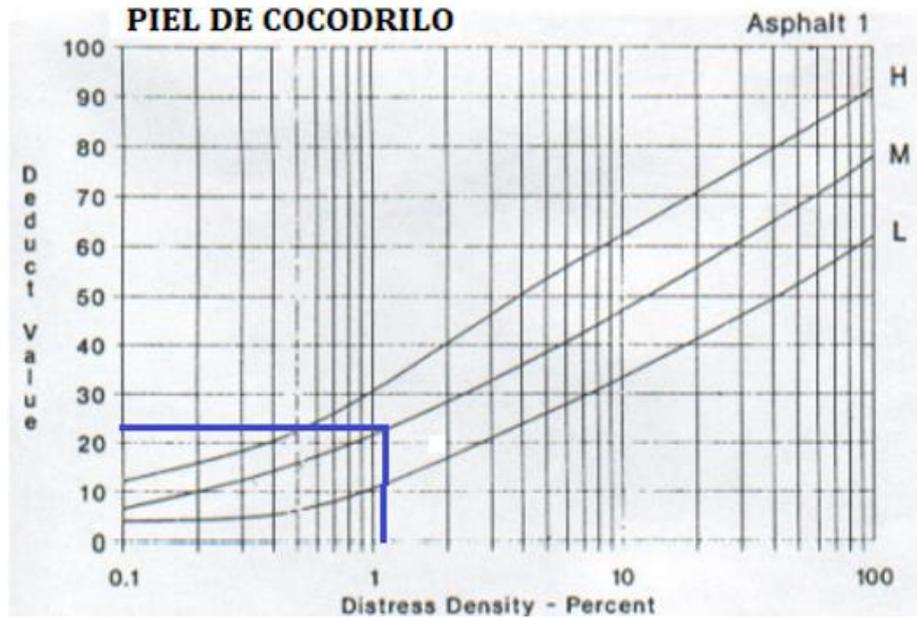
CÁLCULO DEL PCI				
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido
1	M	7.10	1.14%	25.0
13	M	1.50	0.24%	10
13	L	1.00	0.16%	5
10	M	22.30	3.58%	13

Número máximo de valor deducido es 25 Por lo que el número máximo de VD será 7.88

Número	Valores deducidos				VDT	q	VDC	
1	25	13	10	4.4	52.40	4	30	
2	25	13	10	4.4	52.40	4	31	
3	25	13	10	4.4	52.40	4	32	
4	25	13	10	4.4	52.40	4	33	
5	25	13	10	4.4	52.40	4	34	
6	25	13	10	2	50.00	3	34	
7	25	13	2	2	42.00	2	34	
8	25	2	2	2	31.00	1	36	
						<b>Max VDC</b>	<b>36</b>	
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO						PCI = 100 - Max.VDC		64
RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL PCI						<b>BUENO</b>		

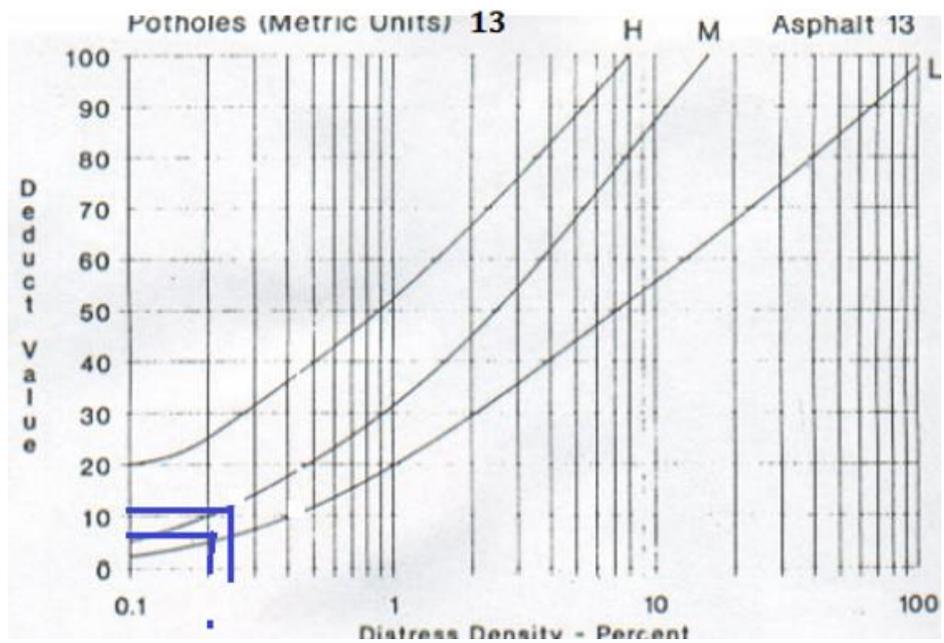
**Figura 41**

*Ábaco de piel de cocodrilo de la segunda muestra*



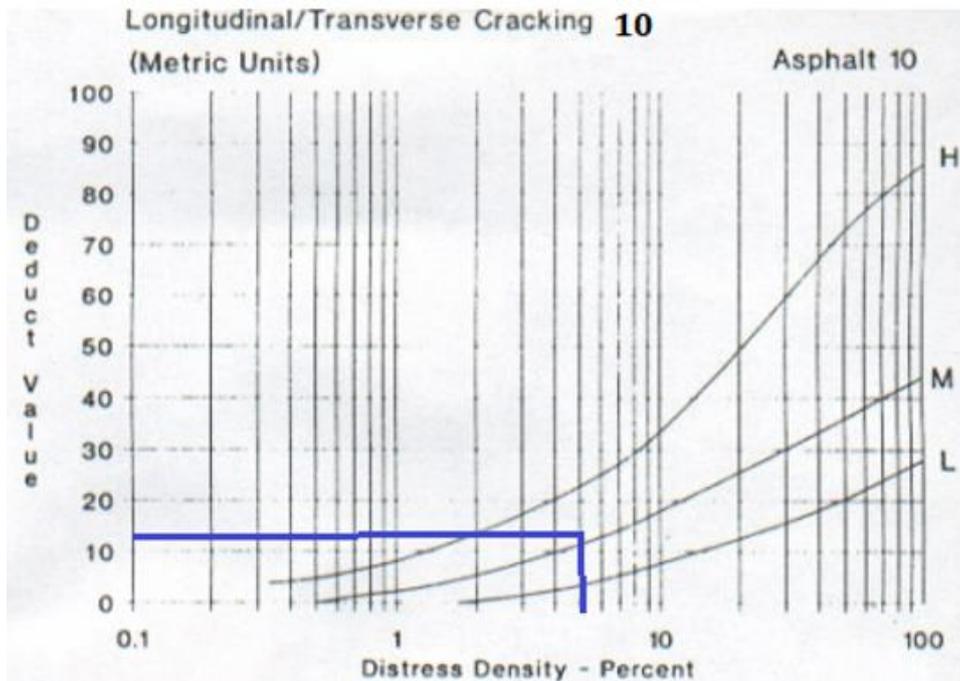
**Figura 42**

*Ábaco de la falla hueco de la segunda muestra*



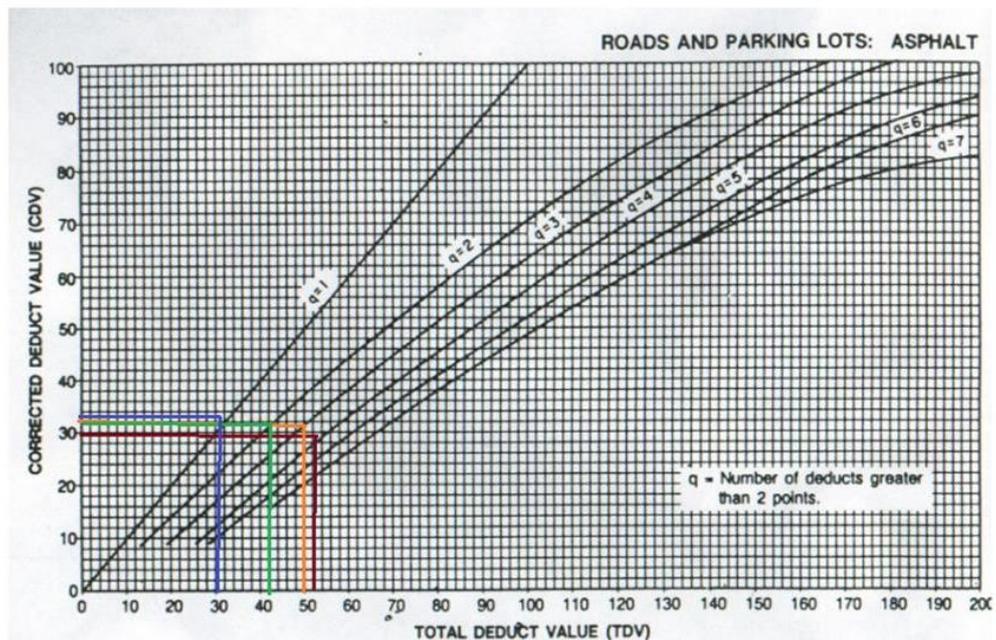
**Figura 43**

*Ábaco de fisuras transversales de la segunda muestra*



**Figura 44**

*Ábaco caminos y estacionamientos: asfalto de la segunda muestra*



**Figura 45**

*Tercera hoja de riesgo para pavimento flexible mediante PCI*

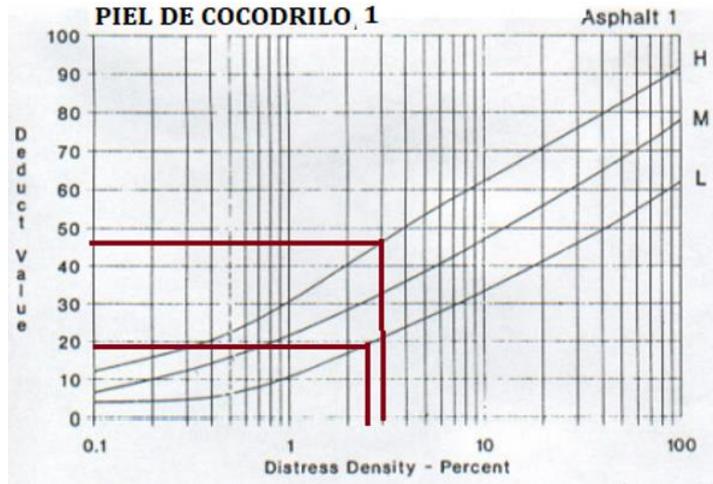
HOJA DE RIESGO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PCI	
LUGAR: Av. Huancaray, tramo Av. Ruiseñores y Av. Colectora Industrial	UNIDAD DE MUESTRA: 03
SECCIÓN DE VÍA: Av. Huancaray con Av. Amaru Yupanqui	ÁREA DE MUESTREO: 407.25 metros cuadrados
EVALUADORES: Brighthe Zarate y Liliana Julón	FECHA DE EVALUACIÓN: 10-06-2022

TIPOS DE FALLAS				DIAGRAMA																			
1. Grietas piel de cocodrilo	6. Depresión	11. Parcheo y acometidas de servicio	16. Desplazamiento		90.5																		
2. Exudación	7. Grietas de borde	12. Pulimientos y agregados	17. Grietas parabólicas o por deslizamiento																				
3. Agrietamiento en bloque	8. Grietas de reflexión de junta	13. Huecos	18. Hinchamiento																				
4. Abultamiento y hundimiento	9. Desnivel carril/berma	14. Cruce de vía ferrea	19. Meteorización/desprendimiento de agregados																				
5. Corrugación	10. Grietas longitudinal/transversal	15. Ahuellamiento																					
<b>NIVEL DE SEVERIDAD</b> Baja L Media M Alta H		<b>UNIDAD DE MUESTRA</b> $n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$	<b>NUMERO MAXIMO DE VD</b> $m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_1)$	<b>INTERV. DE UNI DE M.</b> $i = \frac{N}{n} = 1$																			
<b>RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL PCI</b> <table border="1" style="font-size: small;"> <thead> <tr> <th>Rango</th> <th>Clasificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100 - 85</td><td>Excelente</td></tr> <tr><td>85 - 70</td><td>Muy bueno</td></tr> <tr><td>70 - 55</td><td>Bueno</td></tr> <tr><td>55 - 40</td><td>Regular</td></tr> <tr><td>40 - 25</td><td>Malo</td></tr> <tr><td>25 - 10</td><td>Muy malo</td></tr> <tr><td>10 - 0</td><td>Fallado</td></tr> </tbody> </table>				Rango	Clasificación	100 - 85	Excelente	85 - 70	Muy bueno	70 - 55	Bueno	55 - 40	Regular	40 - 25	Malo	25 - 10	Muy malo	10 - 0	Fallado	<b>TIPOS DE FALLAS EXISTENTES</b>			
Rango	Clasificación																						
100 - 85	Excelente																						
85 - 70	Muy bueno																						
70 - 55	Bueno																						
55 - 40	Regular																						
40 - 25	Malo																						
25 - 10	Muy malo																						
10 - 0	Fallado																						
		<b>1</b>		<b>5</b>		<b>10</b>		<b>13</b>															
		Cant.	Severidad	Cant.	Severidad	Cant.	Severidad	Cant.	Severidad														
		8.5	H			8.5	H	1.5	H														
		3.5	H			11	M	2.2	H														
		10.8	L			10.4	L	2.5	M														
<b>TOTAL</b>		BAJA		10.8		10.4																	
		MEDIA				11		2.5															
		ALTA		12				8.5		3.7													

CÁLCULO DEL PCI									
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido					
1	H	12.00	2.95%	48					
1	L	10.80	2.65%	20					
10	H	8.50	2.09%	19					
10	M	11.00	2.70%	10					
10	L	10.40	2.55%	5					
13	H	3.70	0.91%	52					
13	M	2.50	0.61%	25					
Número máximo de valor deducido es 52. Por lo que el número máximo de VD será 5.41									
Número	Valores deducidos				VDT	q	VDC		
1	52	48	25	20	7.79	152.79	6	78	
2	52	48	25	20	7.79	152.79	5	78	
3	52	48	25	20	2	147.00	4	82	
4	52	48	25	2	2	129.00	3	74	
5	52	48	2	2	2	106.00	2	76	
6	52	2	2	2	2	60.00	1	58	
<b>Max VDC</b>							<b>82</b>		
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO							PCI = 100 - Max. VDC		18
RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL PCI							<b>MUY MALO</b>		

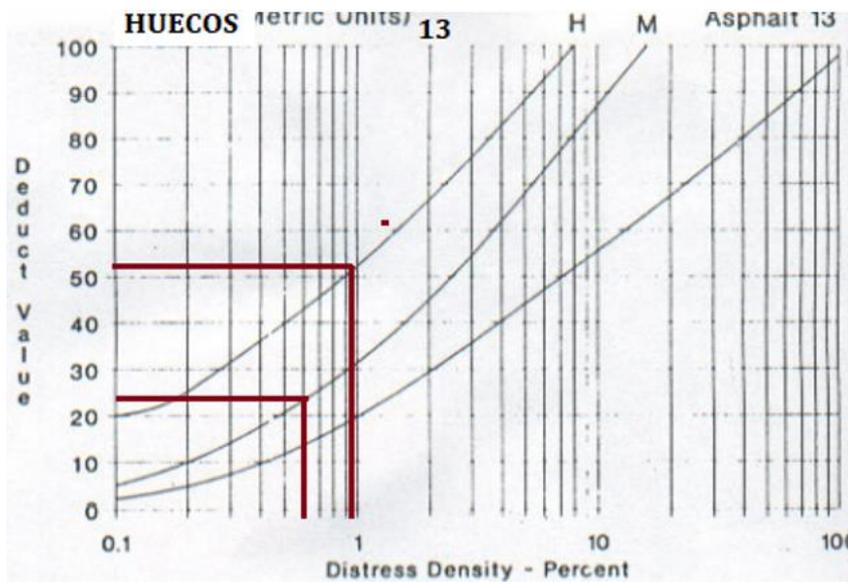
**Figura 46**

*Ábaco de piel de cocodrilo de la tercera muestra*



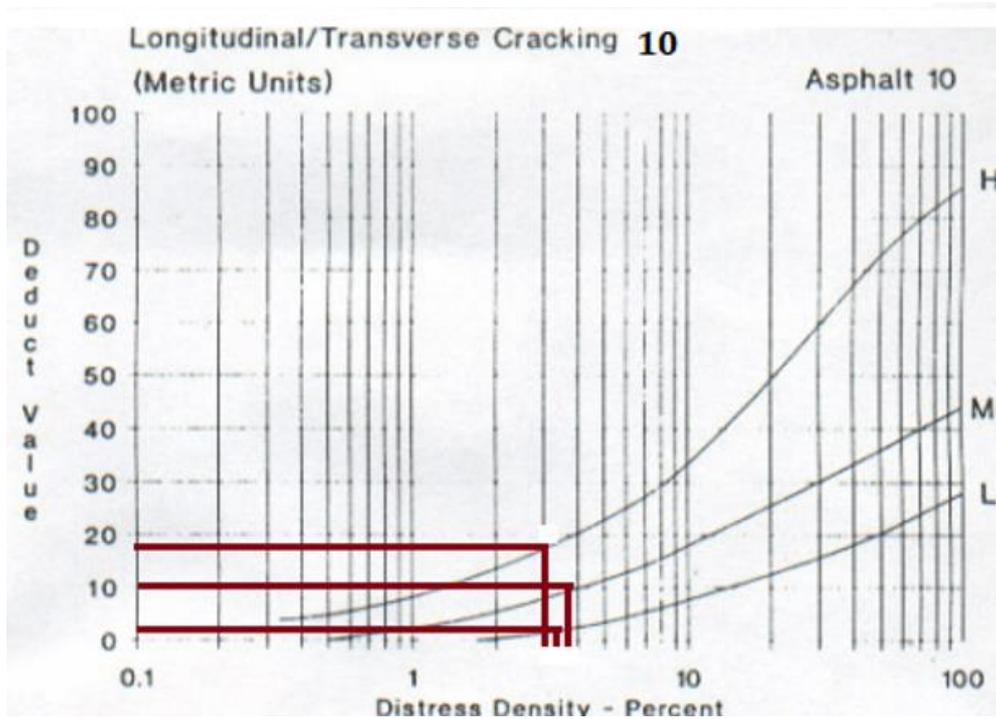
**Figura 47**

*Ábaco de la falla hueco de la tercera muestra*



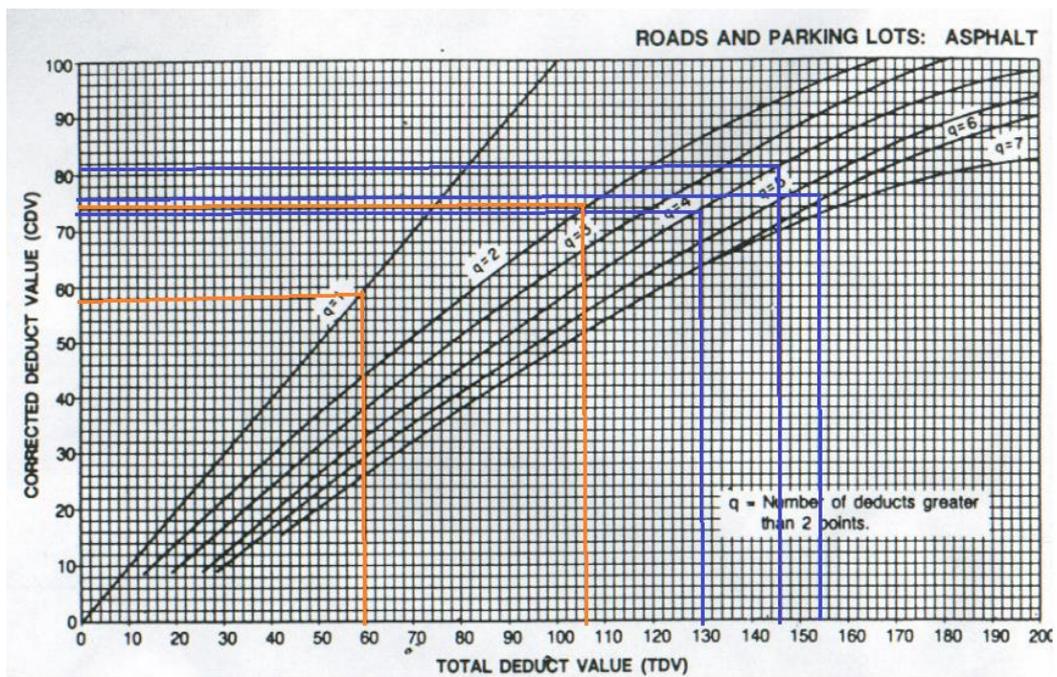
**Figura 48**

*Ábaco de fisuras transversales de la tercera muestra*



**Figura 49**

*Ábaco caminos y estacionamientos: asfalto de la tercera muestra*



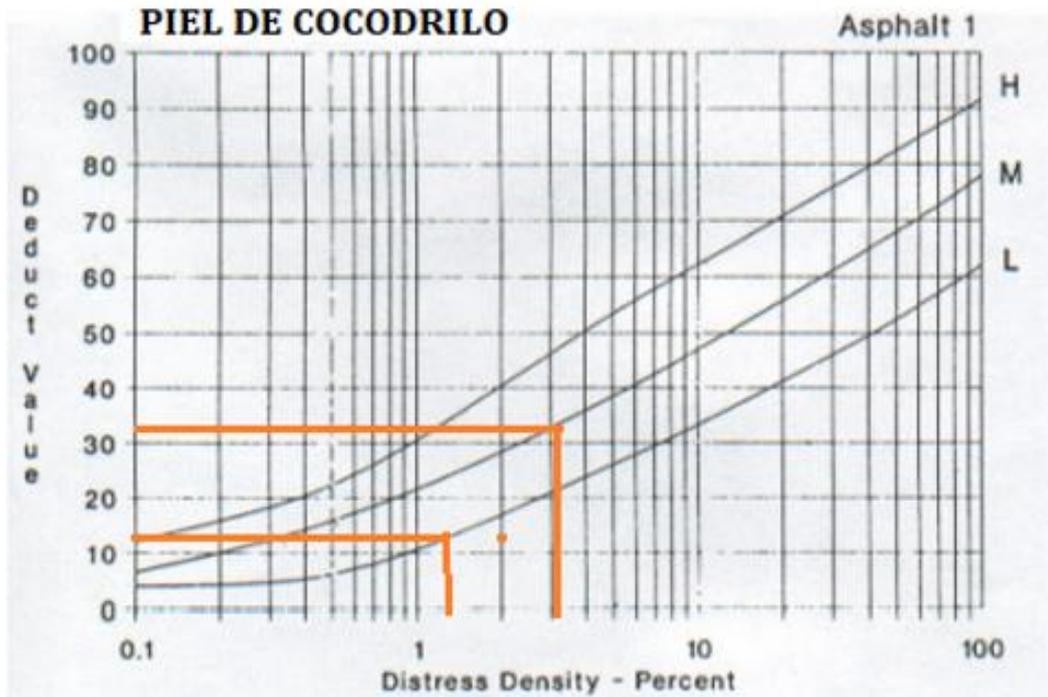
**Figura 50**

*Cuarta hoja de riesgo para pavimento flexible mediante PCI*

HOJA DE RIESGO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE PCI									
LUGAR: Av. Huancaray, tramo Av. Ruiseñores y Av. Colectora Industrial				UNIDAD DE MUESTRA: 04					
SECCIÓN DE VÍA: Av. Huancaray con Calle Misti				ÁREA DE MUESTREO: 495 metros cuadrados					
EVALUADORES: Brighithe Zarate y Liliana Julón				FECHA DE EVALUACIÓN: 10-06-2022					
TIPOS DE FALLAS							DIAGRAMA		
1. Grietas piel de cocodrilo	6. Depresión	11. Parcheo y acometidas de servicio	16. Desplazamiento						
2. Exudación	7. Grietas de borde	12. Pulimientos y agregados	17. Grietas parabólicas o por deslizamiento						
3. Agrietamiento en bloque	8. Grietas de reflexión de junta	13. Huecos	18. Hinchamiento						
4. Abultamiento y hundimiento	9. Desnivel carril/berma	14. Cruce de vía ferrea	19. Meteorización/desprendimiento de agregados						
5. Corrugación	10. Grietas longitudinal/transversal	15. Ahuellamiento							
NIVEL DE SEVERIDAD	UNIDAD DE MUESTRA	NUMERO MAXIMO DE VD	INTERV. DE UNI DE M.						
Baja	L	$n = \frac{N \times \sigma^2}{e^2 \times (N - 1) + \sigma^2}$	$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_1)$	$i = \frac{N}{n} = 1$					
Media	M								
Alta	H								
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES									
RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL PCI		1		5		13		10	
Rango	Clasificación	Cant.	Severidad	Cant.	Severidad	Cant.	Severidad	Cant.	Severidad
100 - 85	Excelente	5	M			1.3	M	10.2	H
85 - 70	Muy bueno	10.3	M			4	L	10.5	H
70 - 55	Buena	7	L			7.5	L	10.4	M
55 - 40	Regular								
40 - 25	Malo								
25 - 10	Muy malo								
10 - 0	Fallado								
TOTAL	BAJA	7				11.5			
	MEDIA	15.3				1.3		10.4	
	ALTA							20.7	
CÁLCULO DEL PCI									
Tipo de daño	Severidad	Total	Densidad	Valor deducido	Número máximo de valor deducido es 35. Por lo que el número máximo de VD será 6.96				
1	M	15.30	3.09%	35					
1	L	7.00	1.41%	15					
13	M	1.30	0.26%	35					
13	L	11.50	2.32%	15					
10	H	20.70	4.18%	25					
10	M	10.40	2.10%	5					
Número	Valores deducidos				VDT	q	VDC		
1	35	25	15	4.8	79.80	7	36		
2	35	25	15	4.8	79.80	6	40		
3	35	25	15	4.8	79.80	5	40		
4	35	25	15	4.8	79.80	4	46		
5	35	25	15	2	77.00	3	48		
6	35	25	2	2	64.00	2	49		
7	35	2	2	2	41.00	1	42		
							Max VDC	49	
INDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO							PCI = 100 - Max.VDC	51	
RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL PCI							MALO		

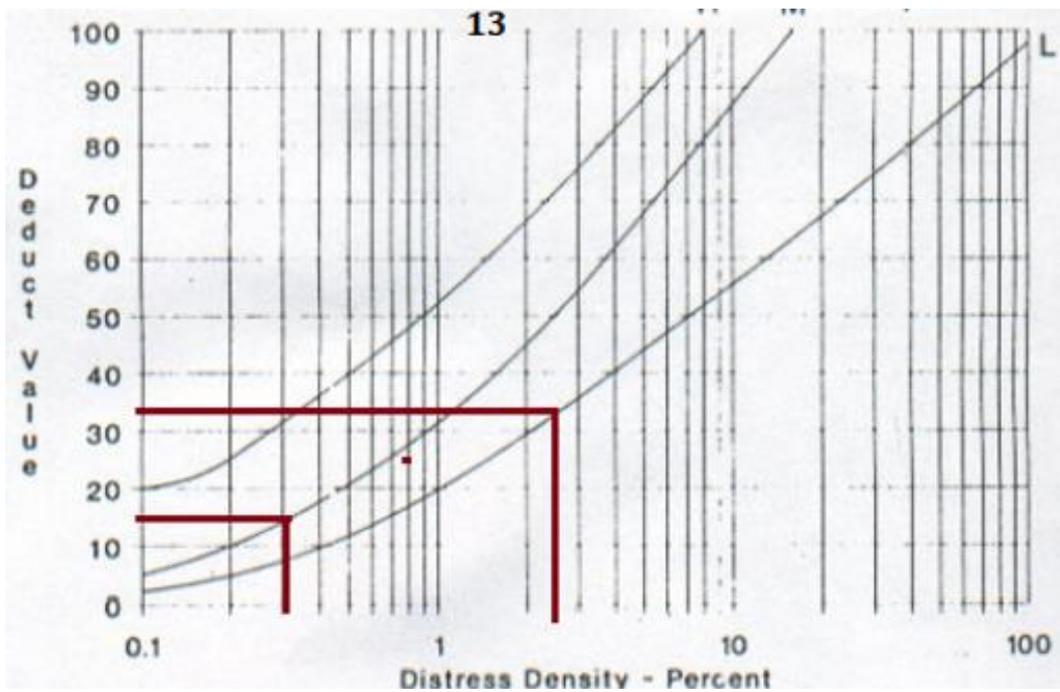
**Figura 51**

*Ábaco de piel de cocodrilo de la cuarta muestra*



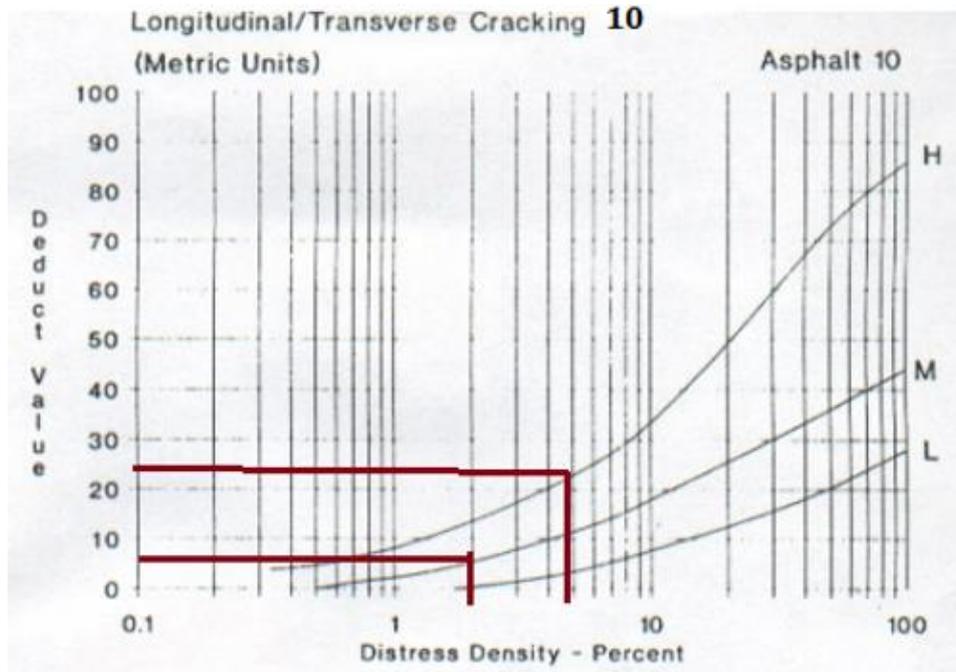
**Figura 52**

*Ábaco de la falla hueco de la cuarta muestra*



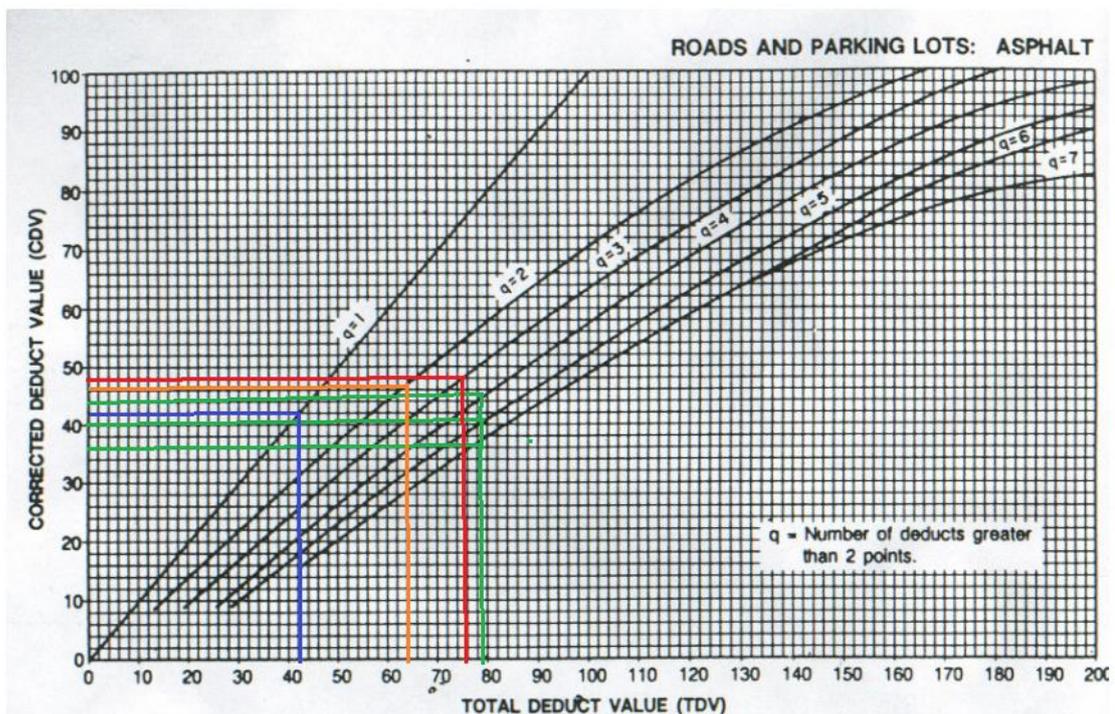
**Figura 53**

*Ábaco de fisuras transversales de la cuarta muestra*



**Figura 54**

*Ábaco caminos y estacionamientos: asfalto de la cuarta muestra*



Anexo 2: Medición del peso de los materiales

**Figura 55**

*Pesaje del cemento*



**Figura 56**

*Pesaje del agregado fino*



**Figura 58**

*Pesaje del cemento para la mezcla adicionada*



**Figura 57**

*Pesaje del agregado fino para la mezcla adicionada*



Anexo 3: Realización de las probetas

**Figura 59**

*Mezcla para las probetas sin incorporación de fibra*



**Figura 60**

*Elaboración de la primera viga sin fibra*



Anexo 4: Desencofrado de vigas normalizadas

**Figura 61**

*Desencofrado de la muestra 2 sin fibra*



Anexo 5: Curado en poza de agua con cal

**Figura 62**

*Curado de las probetas con agua con cal*



Anexo 6: Secado de probetas

**Figura 63**

*Secado de las probetas para que sean ensayadas en la primera semana*



Anexo 7: Ensayo de flexión de vigas normalizadas.

**Figura 65**

*Ensayo de la viga normalizada sin fibra*



**Figura 64**

*Ensayo de la muestra 1 sin fibra*



Anexo 8: Grietas en las probetas después de ser ensayadas

**Figura 67**

*Viga normalizada con fibra al 1%, sin grietas evidentes*



**Figura 66**

*Viga normalizada con fibra al 0.5%.*



**Figura 68**

*Comparación de dos vigas normalizadas, ambas con incorporación de fibra*



Anexo 9: Probetas cilíndrica de compresión

**Figura 69**

*Medición de la longitud y el diámetro de la probeta cilíndrica*



Anexo 10: Ensayos de compresión en las probetas cilíndricas

**Figura 70**

*Probeta cilíndrica sin fibra después del ensayo de compresión*



**Figura 71**

*Muestra cilíndrica sin incorporación de fibra*



Anexo 11: Ensayos de probetas cilíndricas con incorporación de fibra

**Figura 73**

*Probeta cilíndrica con incorporación de fibra al 1%*



**Figura 72**

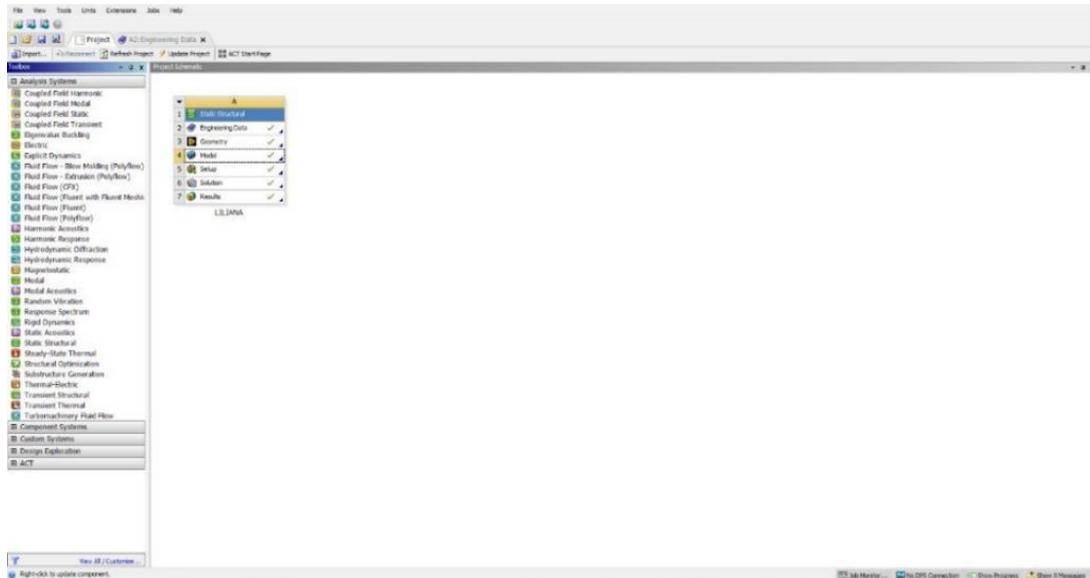
*Muestra cilíndrica con incorporación de fibra al 0.75%*



## Anexo 12: Diseño y evaluación en el software Ansys

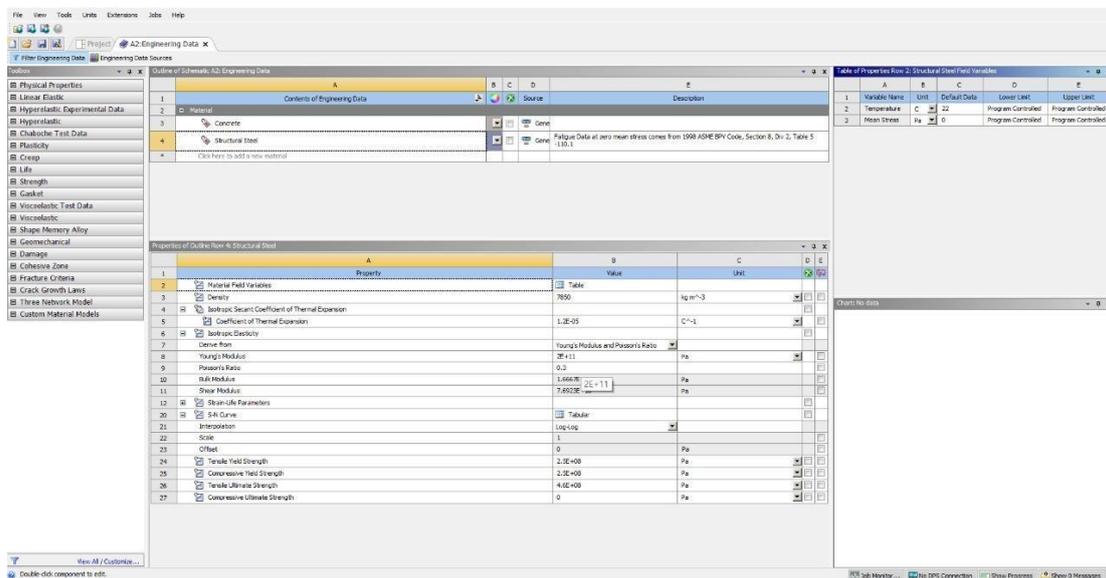
**Figura 74**

*Ventana del Ansys Workbench*



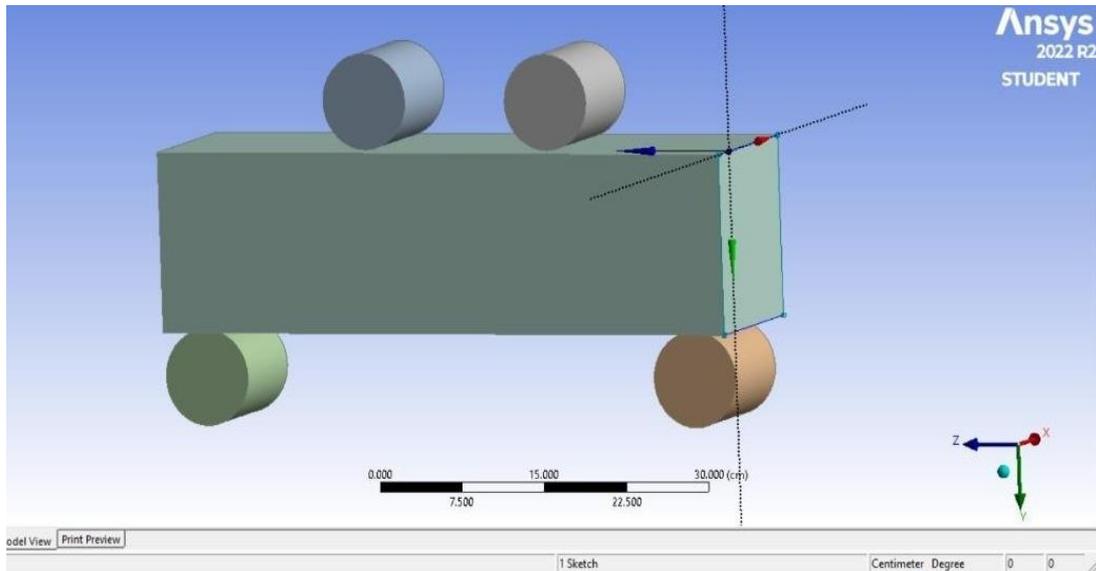
**Figura 75**

*Ventana de datos de ingeniería*



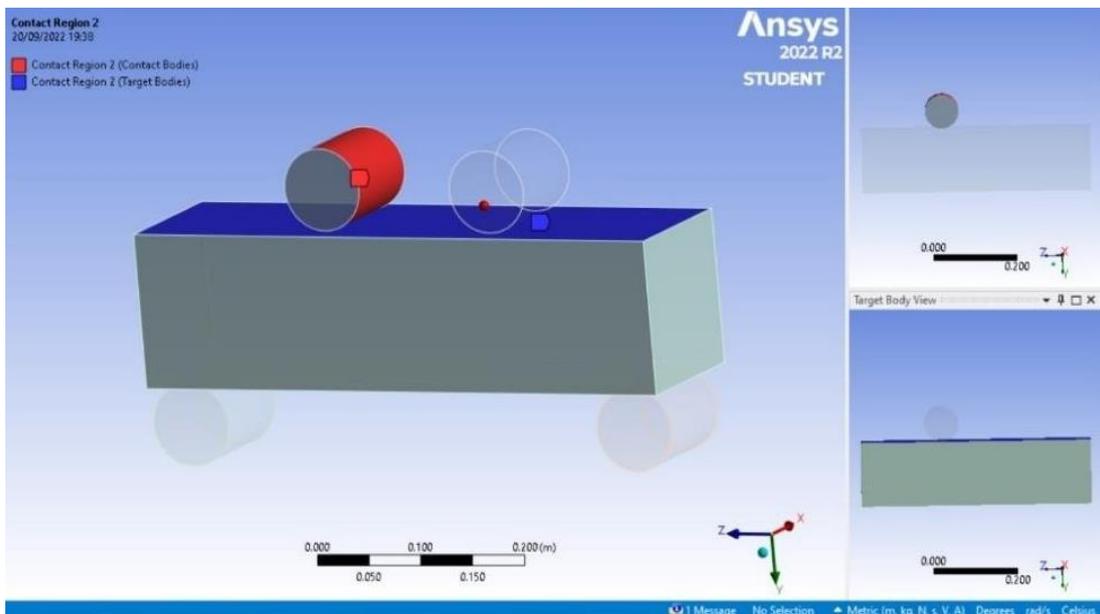
**Figura 76**

*Creación de la geometría*



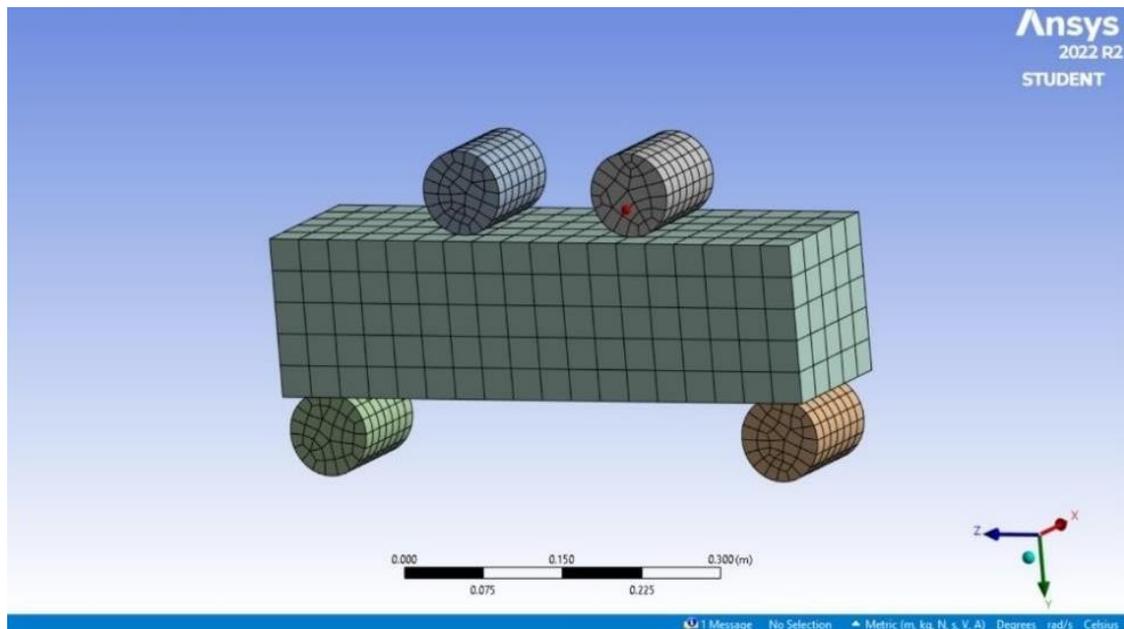
**Figura 77**

*Asignación de las conexiones de los elementos*



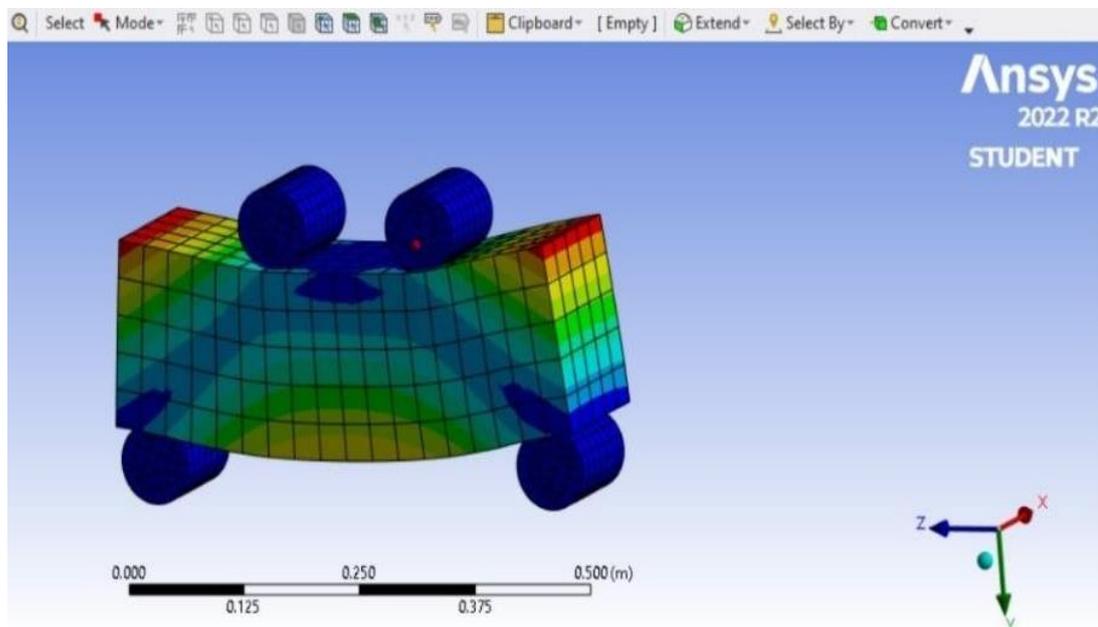
**Figura 78**

*Enmallado de las geometrías*



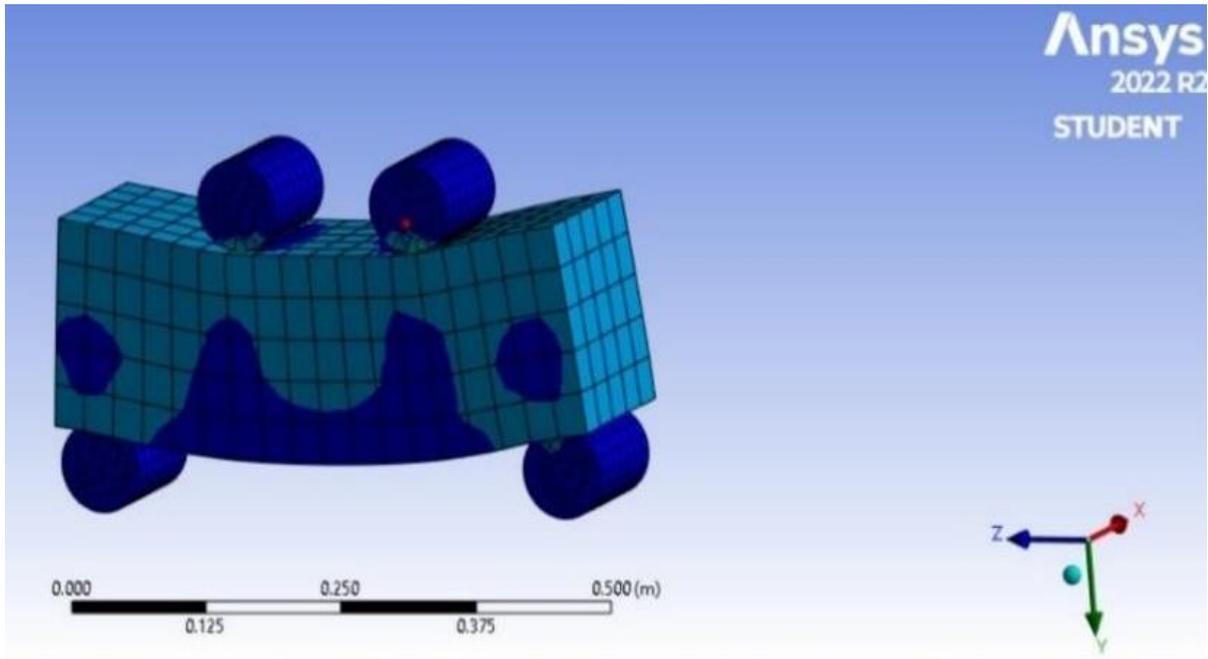
**Figura 79**

*Análisis de la deformación total*



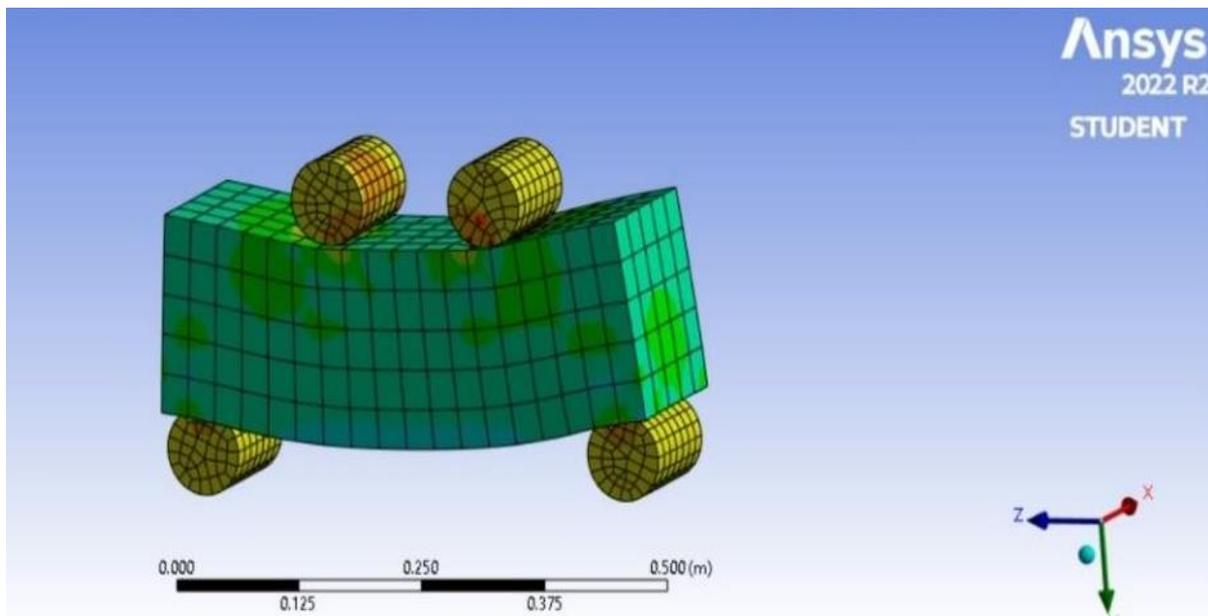
**Figura 80**

*Análisis de la deformación elástica normal*



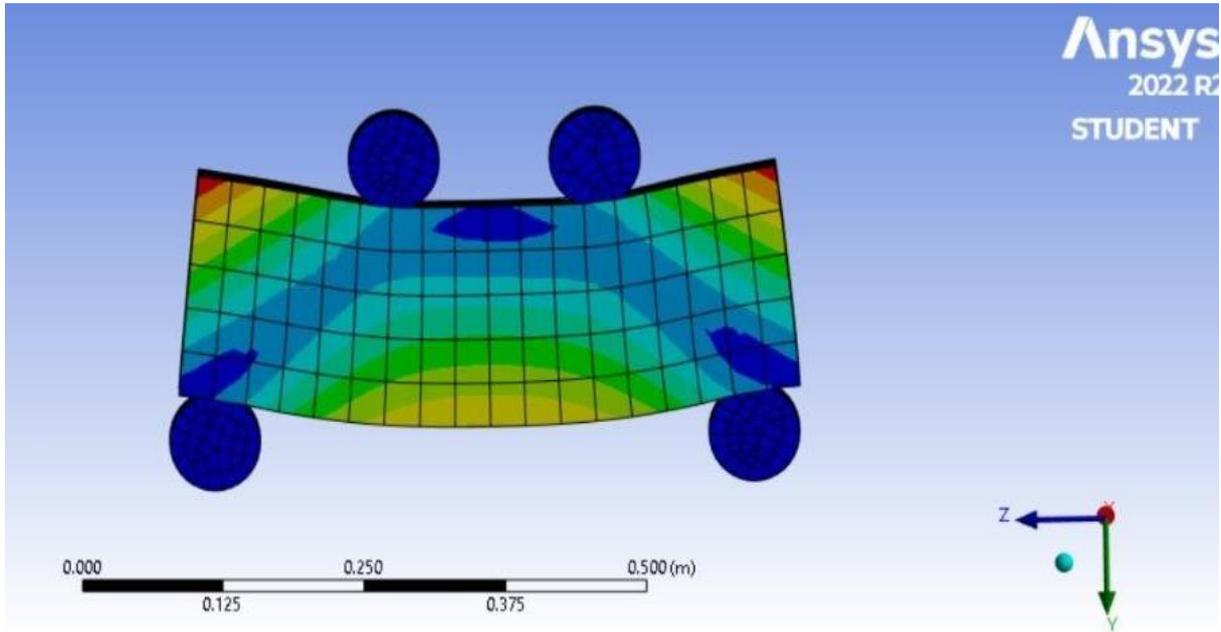
**Figura 81**

*Análisis del estrés equivalente*



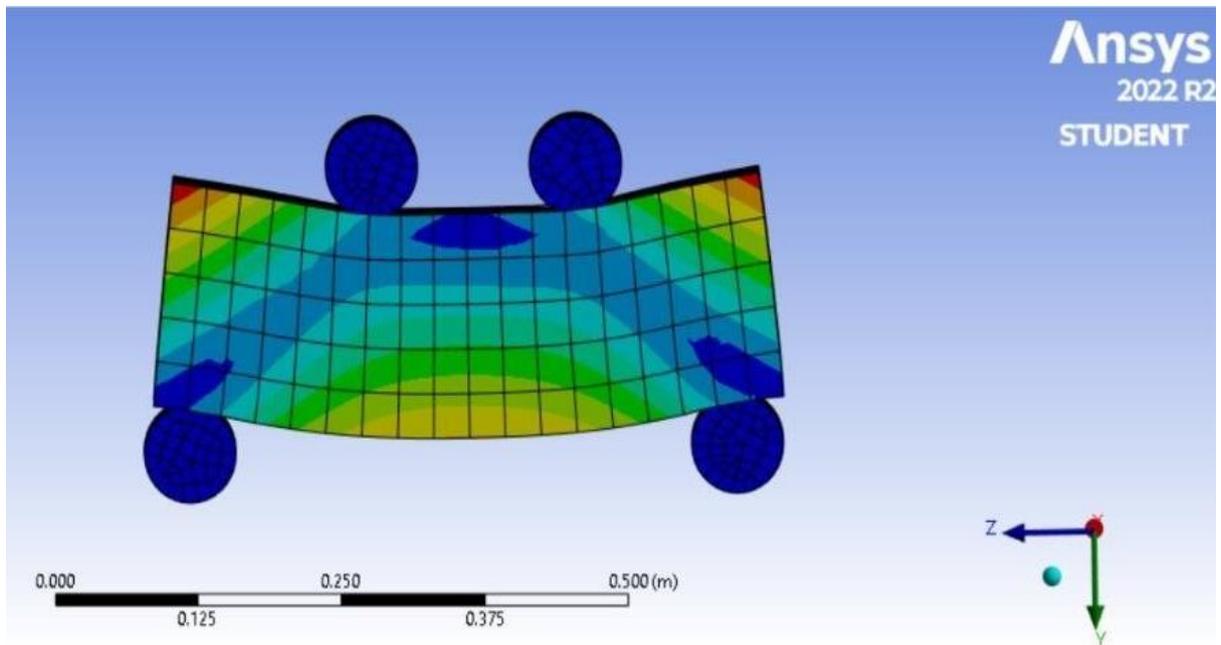
**Figura 82**

*Análisis de la deformación de la viga con concreto normal*



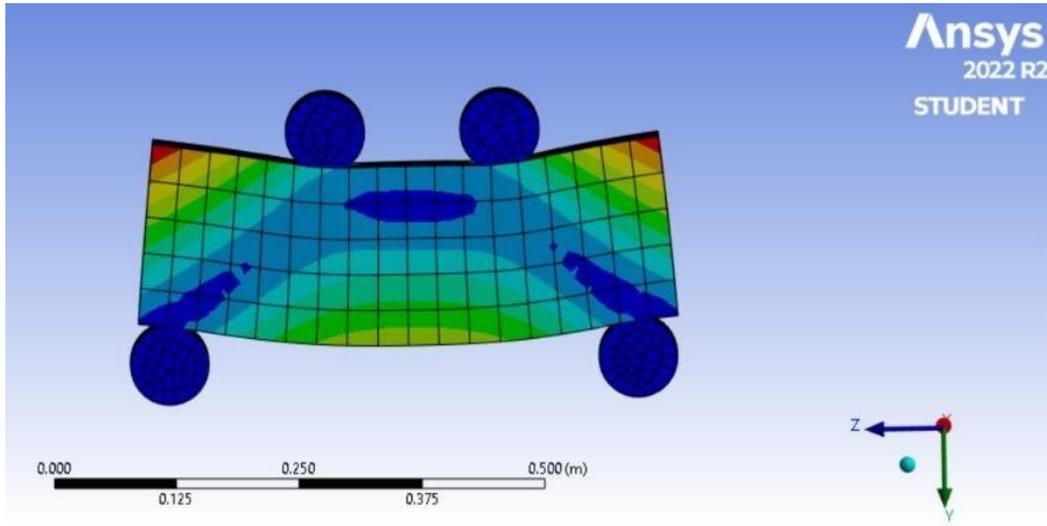
**Figura 83**

*Deformación de la viga de concreto con fibra al 0.75%*



**Figura 84**

*Deformación de la viga de concreto con fibra al 1%*



**Figura 85**

*Deformación de la viga de concreto con fibra al 1.5%*

