

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**“PAVIMENTOS ULTRA DELGADOS DE  
CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE  
ACERO. HUANCAYO - JUNÍN - 2023”**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**Autor:** Bach. RIVAS LOZANO, LIZARDO STEVEN

**ASESORES:**

**Asesor Metodológico:** Mg. Nelfa Estrella Ayuque Almidon

**Asesor Temático:** Mg. Gerson Dennis Parejas Sinchitullo

**Línea de investigación institucional:** Transporte y Urbanismo

**Huancayo – Perú**

**2023**

**HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO**

---

**DR. RUBÉN DARÍO TAPIA SILGUERA**  
**PRESIDENTE**

---

**JURADO**  
**MG. GIANCARLO FERNANDO MEZA TERBULLINO**

---

**JURADO**  
**MG. MANUEL IVAN MAITA PEREZ**

---

**JURADO**  
**MG. YINA MILAGRO NINAHUANCA ZAVALA**

---

**MG. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA**  
**SECRETARIO DOCENTE**

## **DEDICATORIA:**

A mi madre, Olga Yolanda Lozano Eulogio porque siempre está alentándome, aconsejándome y guiándome en base a principios y valores.

A mi padre, Fidel Rivas Ochoa por siempre confiar en mí, y por nunca quitarme su apoyo para yo poder seguir creciendo profesionalmente.

Bach. Lizardo Steven Rivas Lozano

### **AGRADECIMIENTOS:**

A la empresa chilena TCPavements y su gerente y representante en Perú, Ing. Carlos Neustadt, por su soporte en la elaboración y la absolución de consultas para llevar a cabo la presente investigación.

Bach. Lizardo Steven Rivas Lozano

# CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0126- FI -2024

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la **TESIS**; Titulado:

## PAVIMENTOS ULTRA DELGADOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO. HUANCAYO - JUNÍN - 2023

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : **BACH. RIVAS LOZANO LIZARDO STEVEN**  
Facultad : **INGENIERÍA**  
Escuela Académica : **INGENIERÍA CIVIL**  
Asesor(a) Metodológico : **MTRA. NELFA ESTRELLA AYUQUE ALMIDON**  
Asesor(a) Tematico : **MTRO. GERSON DENNIS PAREJAS SINCHITULLO**

Fue analizado con fecha **06/03/2024**; con **134 págs.**; con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

**Excluye Bibliografía.**

X

**Excluye citas.**

X

**Excluye Cadenas hasta 20 palabras.**

X

Otro criterio (especificar)

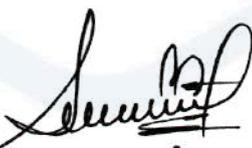
El documento presenta un porcentaje de similitud de **14 %**.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°15 del Reglamento de uso de Software de Prevención de Plagio Versión 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: **Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.**

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.

Huancayo, 06 de marzo de 2024.



**MTRA. LIZET DORIELA MANTARI MINCAMI**  
**JEFA**

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	1
1.2 Delimitación del problema .....	3
1.2.1 Delimitación conceptual.....	3
1.2.2 Delimitación espacial .....	3
1.2.3 Delimitación temporal.....	4
1.3 Formulación del problema.....	4
1.3.1 Problema general:.....	4
1.3.2 Problemas específicos: .....	4
1.4 Justificación.....	5
1.4.1 Justificación práctica o social.....	5
1.4.2 Justificación teórica.....	5
1.4.3 Justificación metodológica.....	5
1.5 Objetivos de la investigación.....	6
1.5.1 Objetivo general: .....	6
1.5.2 Objetivos específicos: .....	6
2 MARCO TEÓRICO .....	7
2.1 Antecedentes de la investigación:.....	7
2.1.1 Antecedentes nacionales .....	7
2.1.2 Internacionales .....	10
2.2 Bases teóricas .....	12
2.2.1 Pavimentos .....	12
2.2.2 Parámetros de entrada del método .....	30
2.2.3 Fibras estructurales.....	45
2.3 Marco Conceptual: .....	60
3 HIPÓTESIS .....	63

3.1	Hipótesis .....	63
3.1.1	Hipótesis general .....	63
3.1.2	Hipótesis específicas .....	63
3.2	Variables.....	63
4	METODOLOGÍA .....	66
4.1	Método de investigación.....	66
4.1.1	Método general: .....	66
4.1.2	Método específico: .....	66
4.2	Tipo de investigación.....	67
4.3	Nivel de investigación .....	67
4.4	Diseño de investigación.....	67
4.5	Población-Muestra-Muestreo .....	69
4.5.1	Población.....	69
4.5.2	Muestra.....	69
4.5.3	Muestreo.....	69
4.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	69
4.6.1	Técnicas.....	69
4.6.2	Instrumentos .....	70
4.6.3	Validez y confiabilidad del instrumento de investigación .....	71
5	RESULTADOS .....	80
5.1	Descripción del diseño tecnológico.....	80
5.2	Descripción de resultados.....	81
5.2.1	VARIABLES DE ENTRADA PARA EL DISEÑO.....	81
5.2.2	Resultados de la investigación .....	96
5.2.3	Contrastación de la hipótesis.....	99
6	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	104
7	CONCLUSIONES .....	106
8	RECOMENDACIONES.....	107
9	BIBLIOGRAFÍA .....	108
10	ANEXOS .....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de dimensiones de losa vs Esfuerzo máximo .....	20
Tabla 2. Clasificación de tráfico recomendado según uso de pavimento .....	37
Tabla 3. Valores por defecto de las distancias, entre el borde, la línea de demarcación y la rueda externa.....	40
Tabla 4. Desviación estándar según tipo de borde .....	40
Tabla 5. Características de macrofibras y microfibras.....	48
Tabla 6. Características mecánicas de las fibras .....	52
Tabla 7. Operacionalización de variables .....	65
Tabla 8. Items para cálculo de confiabilidad .....	75
Tabla 9. Cálculo de CONfiabilidad.....	76
Tabla 10. Rango de confiabilidad de instrumentos.....	76
Tabla 11. Variables de diseño .....	77
Tabla 12. Variables de tráfico .....	77
Tabla 13. Variables de concreto.....	78
Tabla 14. Variables de suelo .....	78
Tabla 15. Variables de clima.....	79
Tabla 16. Granulometría-Calicata 1 .....	82
Tabla 17. Índice de plasticidad.....	82
Tabla 18. Clasificación de suelo .....	83
Tabla 19. Contenido de humedad.....	83
Tabla 20. Contenido de humedad.....	84
Tabla 21. Contenido de humedad.....	84
Tabla 22. Resistencia a la erosión.....	85
Tabla 23. Clasificación vehicular promedio .....	85
Tabla 24. Índice Medio Diario Anual para el año 2023.....	86
Tabla 25. Parámetros para el cálculo de IMDA al año 2025 .....	87
Tabla 26. Cálculo IMDa al año 2025 .....	88
Tabla 27. Nomenclatura y tipos de Ejes.....	88
Tabla 28. Cálculo de Ejes equivalentes por tipo de vehículo .....	89
Tabla 29. Cálculo de ESAL .....	90
Tabla 30. Cálculo de ESAL .....	91

Tabla 31. Resistencia a la compresión y flexo tracción recomendada.....	92
Tabla 32. Confiabilidad de la mezcla.....	93
Tabla 33. Resistencia Residual del concreto.....	95
Tabla 34 Presupuesto por m2 con la Metodología TCP sin adición de fibra.....	98
Tabla 35. Presupuesto por m2 con la Metodología TCP .....	99
Tabla 36. Resultado para resistencia residual del concreto con adición de 10 kg/m3 de fibra .....	101
Tabla 37. Parámetros estadísticos .....	101
Tabla 38 Parámetros estadísticos .....	101
Tabla 39. Costo directo .....	102

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la provincia de Huancayo .....	4
Figura 2 Juntas en Pavimentos de concreto simple.....	15
Figura 3. Pavimentos con rezuerzo continuo. ....	15
Figura 4. Comparación de cargas de vehículos de diseño .....	18
Figura 5. Comparación de tensión vs dimensión de losa .....	19
Figura 6. Posiciones de ejes de ruedas en un área de trabajo.....	21
Figura 7. Porcentaje de pasadas sobre cada lugar en las losas, que genera el mayor daño por fatiga. ....	22
Figura 8. Concepto del diseño de losas optimizadas.....	24
Figura 9. Factor C1. ....	27
Figura 10. Distribución Lateral Típica de un Pavimento de Concreto .....	38
Figura 11. Distribución Lateral para un pavimento con solera en el borde .....	39
Figura 12. Distribución Lateral del tráfico para un pavimento con sobrenacho .....	39
Figura 13. Retracción típica del concreto en el tiempo.....	42
Figura 14. Formas en dirección longitudinal de fibras de acero .....	49
Figura 15. Formas de sección transevsral de fibras de acero .....	50
Figura 16. Fibras encoladas y sueltas de acero .....	50
Figura 17. Formación de erizos o aglomeración de fibras .....	50
Figura 18. Gráfica de energía absorbida vs esbeltez de la fibra(L/D) .....	52
Figura 19. Comportamiento de concreto bajo ensayo de flexión.....	55
Figura 20. Mecanismo de control de propagación de fisuras.....	57
Figura 21. Determinación de Máxima Densidad Seca.....	83
Figura 22. Variación Diaria.....	86
Figura 23. Índice Medio Diario Anual para el año 2023 .....	87
Figura 24. Días de precipitación al año.....	90
Figura 25. Temperatura media .....	91
Figura 26. Resistencia Residual del concreto .....	96
Figura 27. Resultados de espesor en diseño sin adición de fibras .....	96
Figura 28. Resultados de espesor en diseño con adición de fibras .....	97
Figura 29. Porcentaje de losas agrietas Diseño sin adición de fibras.....	97
Figura 30. Porcentaje de losas agrietas Diseño con adición de fibras .....	98

## RESUMEN

La investigación presente propuso a modo de problema principal: ¿Cuál es la injerencia de la fibra de acero en los Pavimentos Ultradelgados de Concreto en Huancayo - Junín - 2023?, en la que se tuvo como objetivo general: Conocer cómo se comporta de los Pavimentos Ultradelgados de Concreto con la adición de fibras de acero en Huancayo - Junín – 2023. El método de estudio fue científico, el tipo de estudio fue básica, el nivel de investigación fue explicativo. De todo esto se logró un pavimento de 11 cm de grosor y una base de 15 cm tanto para un pavimento con adición de fibra como para uno sin adición, también se obtuvo que, para una edad de pavimento de 25 años, no se sobrepasa el porcentaje de losas agrietadas del 20% tanto para un pavimento con adición como para uno sin adición de fibra. Así mismo se obtiene un costo por m<sup>2</sup> de S/. 82.91 para el pavimento con adición de fibra en una dosificación de 10 kg/m<sup>3</sup>. Por lo que se concluye, que la adición de fibra no índice en el espesor del concreto debido a la buena calidad de suelo que se tiene, sin embargo, este tipo de pavimento, comparado a pavimentos tradicionales representa una reducción del costo en un 20.65% en el caso de pavimentos adicionados con fibra y finalmente es recomendable la utilización de un diseño de losa pequeñas TCP como alternativa de colocación en rutas de bajo tránsito y con un alto nivel de CBR.

**Palabras clave:** Fibras de acero, pavimento ultradelgado de concreto.

## ABSTRACT

The present research proposed as the main problem: What is the influence of steel fiber on the Ultrathin Concrete Pavements in Huancayo - Junín - 2023?, in which the general objective was: Know how the Pavements behave. Ultrathin Concrete with the addition of steel fibers in Huancayo - Junín – 2023. The study method was scientific, the type of study was basic, the level of research was explanatory. From all this, a pavement of 11 cm thickness and a base of 15 cm was achieved, both for a pavement with fiber addition and for one without addition. It was also obtained that, for a pavement age of 25 years, the percentage of cracked slabs of 20% for both a pavement with addition and for one without fiber addition. Likewise, a cost per m<sup>2</sup> of S/. 82.91 for the pavement with the addition of fiber in a dosage of 10 kg/m<sup>3</sup>. Therefore, it is concluded that the addition of non-index fiber in the thickness of the concrete due to the good quality of the soil, however, this type of pavement, compared to traditional pavements, represents a cost reduction of 20.65%. in the case of pavements added with fiber and finally the use of a small TCP slab design is recommended as an alternative for placement on low traffic routes and with a high level of CBR.

***Keywords:*** Steel fibers, ultra-thin concrete pavement

# INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada: “Pavimentos ultra delgados de concreto con incremento de fibra de acero, Huancayo - Junín - 2023”; nace de la necesidad de dar a conocer una posibilidad adicional diseñar pavimento rígidos que puedan ser técnica y económicamente factibles y aplicables en zonas específicas de la ciudad de Huancayo, Por lo tanto, en esta investigación se tiene por objetivo, determinar el comportamiento de los Pavimentos Ultradelgados de Concreto al adicionar de fibra de acero en la ciudad de Huancayo.

Para la presente investigación, se ha considerado una investigación de tipo básica y con diseño cuasi experimental. Se ha utilizado como métodos la observación directa y el análisis documental, aplicando fichas de toma de datos y muestras de laboratorios.

La investigación presente comprende cinco capítulos como contenido:

**Parte I.-** Este apartado expone la problemática, detallando así una descripción, delimitación y formulación. Sumado a ello, se discuten la justificación y los objetivos relacionados con el problema.

**Parte II.-** Esta división presenta al marco teórico de la investigación, comenzando con los antecedentes a nivel nacional e internacional, seguido por las bases teóricas y científicas que respaldan el estudio.

**Parte III:** El examen de las hipótesis y la especificación conceptual y operativa de las variables de estudio son los temas principales de esta sección del trabajo.

**Parte IV:** Este capítulo describe el diseño, nivel y tipo de la investigación, además de proporcionar una descripción general de la técnica. Junto con los métodos y herramientas

utilizados para apoyar la investigación, también se realiza un análisis de la población y la muestra.

**Parte V:** En esta sección, se describen la estrategia de investigación y los hallazgos, y también se proporciona la prueba de hipótesis.

**Parte VI.** - Esta sección presenta la discusión de los hallazgos, recomendaciones y conclusiones, junto con la matriz y los anexos que respaldan la investigación.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

En el mundo moderno los pavimentos desempeñan un papel fundamental y tienen una gran importancia en diversas áreas. Entre las principales virtudes de los pavimentos tenemos la de permitir el desarrollo urbano al proporcionar a la ciudadanía acceso a los hospitales, edificios y escuelas, sumado a ello los pavimentos generan un impacto económico positivo al país ya que facilitan el transporte de mercaderías y la actividad comercial (Londoño, s.f.).

En América Latina el 90 % de pavimentos están hechos de asfalto (E- consulta, 2015). Los pavimentos rígidos tradicionales son uno de los tipos de pavimentos más utilizados en las obras de ingeniería por sus cualidades, sin embargo, también presentan deficiencias como agrietamientos por fatiga, fisuración por contracción plástica, durabilidad sensible, alto costo de construcción, entre otros.

En Chile, se ha implementado un método innovador para el diseño de pavimentos rígidos, conocido como TCP. Este método ofrece la ventaja de reducir el grosor de las losas convencionales a partir de la optimización de su geometría o dimensiones, considerando

que la losa se apoyará sobre una base granular y partiendo de la premisa de que sobre una losa no se apoyará más de un set de ruedas (Covarrubias, 2014).

Como continuación al método TCP, se ha creado el concepto U-TCP (Pavimentos ultradelgados de concreto), este método busca reducir aún más el espesor de las losas de geometría optimizada, es decir obtener un espesor en el rango de 6 a 12 cm. a partir del uso de fibras de acero y su utilización sólo en vías de bajo tránsito. Sin embargo, no se tiene mucha información con respecto a los tipos y dosificaciones más ventajosas a utilizar en la mezcla de concreto ni de los resultados obtenidos con este nuevo método.

Sumado a ello, Campoy et al. (2021) explica por qué, en general, las fibras de hierro son efectivas para fortalecer la resistencia del concreto al estiramiento. Se ha observado que la plancha con fibra gancho es el tipo de fibra que mejores resultados proporciona. Sin embargo, cuando aumenta el tamaño de los agregados en la mezcla, su efectividad puede disminuir.

En la ciudad de Huancayo, se tiene una gran cantidad de vías vecinales no pavimentadas que dificultan las condiciones de vida de los ciudadanos, uno de los principales factores que conllevan a este problema es que los pavimentos representan un alto costo de construcción.

Es debido a lo mencionado anteriormente que se presenta la necesidad de buscar alternativas cuya propuesta técnica y económica sean favorables y cumplan con las condiciones requeridas para responder a las condiciones de carga y durabilidad en los caminos vecinales de la ciudad de Huancayo.

Debido a que la resistencia a la flexión del concreto es un factor crucial en el diseño de pavimentos rígidos, puesto que estos principalmente responden a este tipo de esfuerzo,

esta investigación tiene como objetivo analizar el comportamiento de los pavimentos ultradelgados de concreto cuando se les añade fibra estructural.

De este modo y por lo expuesto, se responderá la siguiente pregunta: ¿Cómo varía el comportamiento de los pavimentos ultradelgados de concreto con la incorporación de fibra estructural?

## **1.2 Delimitación del problema**

### **1.2.1 Delimitación conceptual**

Con base a la investigación llevada a cabo será posible obtener y analizar resultados del uso de un tipo de fibra en el diseño de pavimentos con el método U-TCP. Quedará pendiente para futuras investigaciones la realización de ensayos en distintas dosificaciones de fibras comerciales.

### **1.2.2 Delimitación espacial**

Se tomará en cuenta que la investigación se llevará a cabo en el distrito de Huancayo, Provincia de Huancayo, Región Junín, específicamente en la cuadra 28 del Jirón Ica y se tendrá en cuenta consideraciones de su clima, temperatura, velocidad de viento y altura.



Figura 1. Mapa de la provincia de Huancayo

Fuente: Municipalidad Provincial de Huancayo(2018)

### 1.2.3 Delimitación temporal

La investigación tendrá lugar desde el mes de agosto hasta diciembre del 2023.

## 1.3 Formulación del problema

### 1.3.1 Problema general:

- ¿Cuál es la influencia de la fibra de acero en el Pavimento Ultradelgados de Concreto en Huancayo - Junín - 2023?

### 1.3.2 Problemas específicos:

- ¿Cuál es la influencia de la fibra de acero en el grosor del Pavimento Ultradelgado de concreto en Huancayo - Junín - 2023?
- ¿Cuál es la influencia de la fibrasde acero en el porcentaje de losa agrietada del Pavimento Ultradelgadosde Concreto en Huancayo - Junín - 2023?
- ¿Cuál es la influencia de la fibra de acero en el costo del Pavimento Ultradelgados de Concreto en Huancayo – Junín - 2023?

## **1.4 Justificación**

### **1.4.1 Justificación práctica o social**

Para Méndez Álvarez (2020), señala que para justificar prácticamente se debe de solucionar un problema o, al menos, sugere tácticas que, si se llevan a cabo, contribuirían a su resolving. Debido a esto, la justificación práctica de la investigación consiste en determinar si el uso de fibras optimiza los resultados de diseño de un pavimento TCP comparado al diseño de pavimentos TCP sin adición de fibras y también frente a pavimentos tradicionales. De esta manera, se obtendrá un porcentaje en la disminución de costos, lo que beneficiará para la sociedad porque las pavimentaciones de caminos vecinales serán menos costosas y más viables a progresar.

### **1.4.2 Justificación teórica**

Méndez (2012) explica que el objetivo de la justificación teórica o científica de un estudio es generar discusión académica sobre el conocimiento existente, confrontar teorías, contrastar resultados y contribuir a la epistemología del conocimiento existente.

De esta manera, la justificación se centra en obtener conocimientos nuevos a partir de los resultados de un pavimento diseñado mediante la metodología TCP con incremento de fibra de acero en una vía vecinal de la ciudad de Huancayo.

### **1.4.3 Justificación metodológica**

Méndez Álvarez (2020) define la justificación metodológica como la aplicación de nuevos métodos o estrategias para producir conocimiento válido y confiable. Esta visión implica buscar enfoques innovadores y técnicas novedosas para generar conocimiento nuevo.

A través del estudio actual, se intentará analizar las características mecánicas del concreto con adición de fibras y recolectar datos sobre el campo utilizando metodologías empleadas en

investigaciones similares. De esta manera, el presente estudio también servirá como referencia para futuros estudios sobre estrategias para la generación de conocimiento.

## **1.5 Objetivos de la investigación**

### **1.5.1 Objetivo general:**

- Determinar el comportamiento de los Pavimentos Ultradelgados de Concreto con la adición de fibras de acero en Huancayo - Junín - 2023

### **1.5.2 Objetivos específicos:**

- Analizar la influencia de las fibra de acero en el espesor de los Pavimentos Ultradelgados de Concreto en Huancayo-Junín - 2023.
- Evidenciar la influencia de la fibra de acero en el porcentaje de losas agrietadas de los Pavimentos Ultradelgados de Concreto en Huancayo-Junín - 2023.
- Evaluar la influencia de la fibra de acero en el costo de los Pavimentos Ultradelgados de Concreto en Huancayo - Junín - 2023.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación:

##### 2.1.1 Antecedentes nacionales

En la tesis “Comparación técnica y económica del Pavimento Optimizado (TCP) y Pavimento Rígido (AASHTO 93), según la condición locales de Jaén”, Días Zamora et al. (2019) buscaron comparar los aspectos técnicos y financieros de los pavimentos rígidos (AASHTO 93) y los pavimentos optimizados (TCP). Encontrando los resultados siguientes: El ancho determinado mediante el método TCP es de 14 cm y el método AASHTO utiliza 20 cm. Al final, reveló las siguientes conclusiones: El diseño de AASHTO93 produjo una ranura de 20 cm y dimensiones de 3,5 m × 3,5 m para lasa, mientras que el diseño de TCP produjo una ranura de 14 cm y dimensiones de 1,75 x 1,65 m. Treinta por ciento menos en términos de espesor, la pérdida de tamaño del pavimento TCP mide seis centímetros en comparación con el AASHTO 93. n comparación con el pavimento AASHTO93, se obtiene menos tensión para el pavimento TCP. Por último, se recomienda que para mejorar el desempeño del pavimento TCP se debe considerar las dimensiones de las ejes de diseño del vehículo y la longitud de las llantas..

Espinoza Mendoza et. al. (2021) en su investigación titulada “Propuesta de un pavimento rígido ultra delgado con fibras de polipropileno y fibras metálicas en Quillo - Ancash.”, fijó como objetivo: Destacar la tecnología de un camino muy delgado rígido junto con fibras metálicas y polipropileno en Quillo-Ancash. Los resultados que descubrí son los siguientes: Teniendo 90% de fibra metálica y 10% de fibras de polipropileno, el óptimo porcentaje para el diseño se mostró ser la adición de 6% de fibra en el concreto. Con la adición de fibras al concreto se logró un grosor de 10.35 cm utilizando el software CSiBridge y la técnica TCP. Sin embargo, este espesor se redujo posteriormente en 5,34 cm con base en el espesor del patrón. Finalmente quedó clara la siguiente conclusión. Desde la aplicación de la técnica de los cortes TCP, se logró una proponer un diseño de pavimento rígido con un grosor de 10,35 cm y 6% de fibras (10% polipropileno y 90% metálicos). Se sugiere prestar atención al diseño y seguimiento de las características de la tapa de soporte y sistemas de juntas

Vargas Ortiz et. al. (2020) en su estudio titulado “Efectos de la fibra de acero y polipropileno en las resistencias a las flexiones del concreto para Pavimento Rígido”, el cual tuvo como El propósito principal consiste en examinar cómo la adición de fibras de acero y polipropileno efectúa la resistencia del concreto flexionado en pavimentos rígidos. Para ello, se recopilaron y compararon resultado de estudios anteriores nacional e internacional. En cuanto a cualquier resistencia característica del concreto ( $f_c$ ), el resultado mostró que, a medida que se incrementa la dosificación de fibras, hay tendencia al incrementar las resistencias a las flexiones. Esto significa que incluso si la resistencia a la flexión inicial del concreto se ve afectada por el valor  $f_c$ , la cantidad de fibras agregadas determinará cuánto aumenta esta resistencia ( $\Delta\% MR$ ). Las conclusiones del estudio mostraron que una dosis de 37 kg/m<sup>3</sup> de fibras de hierro óptimas puede proporcionar un aumento porcentual máximo del 37% en la resistencia a la flexión. Se recomendó realizar más investigaciones para examinar el impacto de otras características de

las fibras, como la longitud, la forma y la esbeltez, en el aumento de porcentaje de resistencias a las flexiones hidráulica del hormigón.

Gómez Benites et. al. (2019) en la tesis titulada “Análisis comparativo del diseño de Pavimentos Rígidos de Losas Cortas y el Pavimentos Rígidos Tradicionales en la zona El Trópico, Distrito de Huanchaco, Trujillo- La Libertad”, fijó como objetivo principal Realizar un análisis comparativo entre los diseños de Pavimentos Rígidos de Losas Cortas y Pavimentos Rígidos Tradicionales de la zona de El Trópico, Distrito de Huanchaco, Trujillo-La Libertad. Según los datos adquiridos, se detectó que el grosor del diseño del pavimento era de 6 pulgadas usando el método TCP y de 8 pulgadas usando el diseño AASHTO93. Además, se descubrió que emplear el enfoque TCP en lugar de la arquitectura convencional generaba un ahorro de costes del 19,24 %. En conclusión, se encontró que los Pavimentos Rígidos de Losas Cortas es la opción más práctica después de comparar los dos diseños de pavimento y evaluar las implicaciones financieras y el tiempo de ejecución.

Supo Gutierrez (2021), en su estudio titulado “Aplicaciones de la tecnologías de pavimento de losa corta TCP en la vía de acceso de la Universidad Peruana Unión, distrito de Juliaca – Puno”, fijó como objetivo: evidenciar que la implementación de la tecnologías de pavimentos de losa corta TCP cumple con los requisitos técnico y económico esenciales para el ingreso a UPeU. Los resultados mostraron que se pudo obtener un espesor de 0.13 cm utilizando el programa OptiPave v.2 y concreto con una resistencia de  $MR = 48 \text{ kg/cm}^2$  (sin fibra). Finalmente, se determinó que la tecnología de diseño de pavimentos TCP satisface los requisitos para una vida útil prevista de 20 años y resistencia a cargas específicas. Además, se notó una disminución del 21% en el precio de los pavimentos TCP en contraste con un pavimento rígido convencional.

## 2.1.2 Internacionales

Campoy Bencomo et. al. (2021) en el artículo científico titulado “Análisis esfuerzo-deformación de concreto reforzado con fibra metálica y polímeros”, fijaron el objetivo: examinando cómo se comporta el módulo de ruptura del hormigón y qué tan resistente es a la compresión cuando se añaden mezclas con distintos porcentajes de fibra. Los resultados demostraron que la mezcla de concreto con fibra de acero con gancho al extremo mostró un mejor rendimiento. Se obtuvo un módulo de ruptura (MR) de 9,8 MPa con una incorporación de fibra del 1,50%, aumentando prácticamente linealmente a partir de una incorporación de fibra del 0,75%. En conclusión, según los hallazgos, se recomienda emplear fibras de acero en el hormigón para mejorar su resistencia a la flexión y al corte. Además, se demostró que la fibra de acero que presenta ganchos en los extremos presenta un rendimiento óptimo en cuanto a resistencia y comportamiento del hormigón.

Bryan Uribe et. al. (2018), en la tesis de post grado titulado “Comparación del espesor de losas por el método de diseño TCP SYSTEM, PCA-84 Y RACIONAL para la condición de tránsito y subrasante en San Andrés Islas”, fijó como objetivo: caracterizar las variables utilizadas en el diseño de pavimentos rígidos y realizar una comparación del grosor de la losa de concreto empleando metodologías de diseños de pavimento PCA, Racional y TCP System para la isla de San Andrés. Los resultados obtenidos mostraron que, en general, el método de diseño TCP System presentó los menores espesores de losa, seguido por el método Racional y, por último, el método PCA-84. En conclusión, se determinó que, utilizando el método de diseño TCP System, mejorar la base de soporte con cemento no logra reducir los espesores de losa. Por el contrario, se observó que los espesores aumentan debido a que las losas presentan deformaciones en todo momento, En caso de una base basa tan rígida y de baja capacidad, la variación de deflexión de la losa resulta perjudicial.

Pablo Covarrubias (2012), en la revista científica titulada “Diseño de losas de concreto con geometría optimizada”, fijó como objetivo: validar un nuevo concepto de diseño que distribuye las cargas mecánicas hacia múltiples losas. Los resultados demostraron que, gracias a esta novedosa idea de diseño, se podían construir losas de hormigón para carreteras con poco tráfico de camiones de forma granular con espesores tan bajos como 8 cm. Esto permite una disminución del espesor de 4 a 10 cm en comparación con los pavimentos de hormigón construidos utilizando la metodología convencional AASHTO. Además, esta reducción de espesor da como resultado un ahorro de aproximadamente el 20% en los costos de construcción con respecto al costo original. Al mismo tiempo, se logra una vida de diseño similar a la de los suelos convencionales. También se obtienen ahorros de costos similares al comparar esta solución con un pavimento asfáltico.

Examinar el uso de la tecnología de diseño TCP como alternativa en la reparación de pavimento asfáltico en Chile, según la investigación de Orellana Hinojosa (2018), “Evaluación Técnico-Económico del empleo de losa de concreto Geométricamente Optimizadas en la reparación de pavimento asfáltico”. Obteniendo los siguientes hallazgos: Debido a que supera los parámetros establecidos para la rehabilitación mediante superposición asfáltica estándar, tanto técnica como económicamente, el método de diseño TCP no es una opción viable para la rehabilitación de pavimentos asfálticos en Chile.

Anaya Palacio (2020) en la investigación titulada “Evaluación de las carpetas de rodadura sen Pavimento Hidráulico, utilizando la variación geométrica convencional a Losa Corta, aplicada en las vías del área metropolitana de la ciudad de Santa Marta D.T.C.H con base en El objetivo se estableció a partir de los diseños utilizados en Chile, Colombia y Perú del 2015 al 2020. Evaluar cómo se comporta una losa corta (TCP) en comparación con las huellas tradicionales sobre pavimentos rígidos utilizados en la región metropolitana de Santa Marta mediante una actividad académica (dimensionamiento de la losa). obteniendo los siguientes

resultados: utilizando el programa SAP2000 se confirmó que la tensión solicitada por la losa, con dimensión reducida (ancho: 1,25, largo: 2 m) y una tensión máxima aproximadamente igual a otros métodos (22,83 kg/cm<sup>2</sup>), pudo comprobarse. Además, se redujo el espesor de 17 a 14 cm en comparación con otros métodos, sin comprometer la funcionalidad de la losa. Por último, reveló los siguientes hallazgos: Se encontró que la losa de concreto estándar creadas usando PCA y el enfoque de losa con losa corta de TCP tenían disminución de grosor de 3 cm, lo que resultó en un ahorro de costos aproximado del 11 %.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Pavimentos**

Los pavimentos son estructuras de material tratado, compuestas horizontalmente por diversas capas que se diseñan para absorber y distribuir las cargas del tráfico, proporcionando una superficie adecuada para la circulación de personas y vehículos.

La conformación de las capas del pavimento se realiza en función de su función estructural, ya que deben ser capaces de resistir las cargas aplicadas, las condiciones climáticas y el desgaste natural debido al tráfico constante.

La distribución de los estratos en el pavimento se realiza considerando la capacidad de resistir las cargas de diseño. Por lo general, se utilizan materiales más resistentes en las capas superiores, donde se produce una mayor carga y desgaste, y se utilizan materiales de menor resistencia en las capas inferiores, que están menos expuestas a las cargas y desgaste.

Esta conformación estratificada permite que el pavimento funcione de manera eficiente, asegurando la resistencia y durabilidad necesarias para soportar el tráfico y las condiciones ambientales a lo largo del tiempo.

### 2.2.1.1 Estructura de pavimentos

**Subrasante.** Es aquella capa inicial sobre la cual se instala el pavimento. Se aplican ciertas especificaciones mínimas en la calidad del material.

**Sub – base.** Es una capa compuesta de material granular, presenta regular capacidad de resistencia adecuada a las cargas, este material es de origen natural o procesado. Para garantizar su calidad y desempeño, la sub-base debe cumplir con los requisitos establecidos por la normativa vigente.

**Base:** La capa de base es un estrato del pavimento que tiene una capacidad de resistencia superior a la subbase. Se compone de materiales naturales o procesados y puede incluir la incorporación de un material ligante para mejorar sus propiedades. Es importante que la base cumpla con los requisitos de calidad establecidos por la normativa vigente.

**Superficie de rodadura:** La superficie de rodadura es la capa superior del pavimento y puede estar compuesta por concreto, elementos articulados o mezclas asfálticas. Su principal función es transferir directamente las cargas generadas por el tráfico a las capas inferiores del pavimento.

### 2.2.1.2 Tipos de pavimentos.

Los pavimentos son clasificados en base a su estructura para la transmisión de cargas a las capas inferiores y se dividen en:

- Pavimentos Rígidos (concreto)
- Pavimentos semirrígidos
- Pavimentos flexibles

### **2.2.1.2.1 Pavimentos Rígidos**

Son los pavimentos que tienen como característica resaltante la capa de rodadura de concreto, el cual se apoya en la base o sub base de acuerdo a los estudios de mecánica de suelos.

**Según el Manual de Carreteras (2018)** Se afirma que “los pavimentos de concreto reciben el apelativo de **rígidos** debido a la naturaleza de la losa que lo constituye” (p.225).

Debido a que la naturaleza rígida de los pavimentos se caracteriza por poseer un alto módulo de elasticidad, lo cual le permite que casi la totalidad de las cargas transmitidas por las constantes repeticiones se disipen y se distribuyan en toda la superficie del pavimento. Esto resulta en deflexiones mínimas y esfuerzos mínimos que se transmiten a la base o subbase del pavimento.

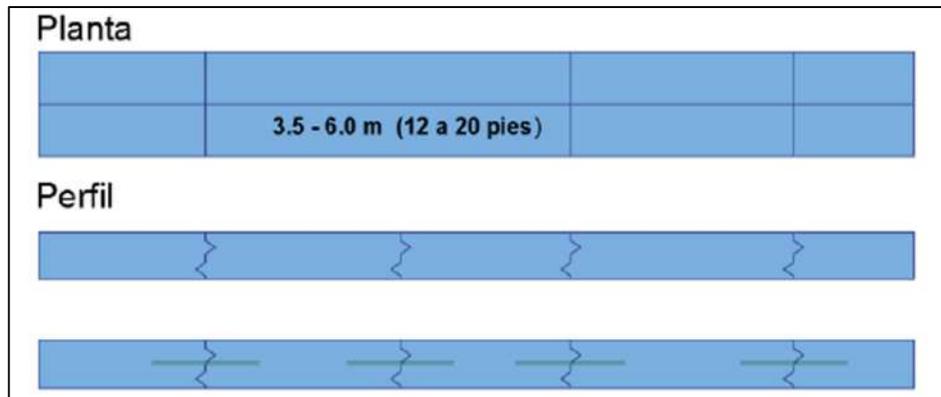
Según el Manual de Carreteras (2018) se clasifica en tres tipos de pavimentos rígidos (p.225).

- Pavimento de concreto simple con junta.
- Pavimento de concreto reforzado con junta.
- Pavimento de concreto continuamente reforzado.

#### **A. Pavimentos De Concreto Simple Con Juntas**

Están formadas principalmente por las de 3,5 y 6,0 metros, que distribuyen la fuerza del tráfico de una celosía a otra mediante los conocidos como tacos de hierro. En conjunto, estas celosías mejoran el comportamiento del pavimento porque es a partir de estas celosías que el comportamiento del hormigón se vuelve desigual por las continuas variaciones de temperatura que sufre el pavimento a lo largo de su vida útil.

Según el libro **Tópicos de Pavimentos de Concreto (2012)** recomienda “no sobrepasar los 4.5 m de separación entre los paños” (p.35)

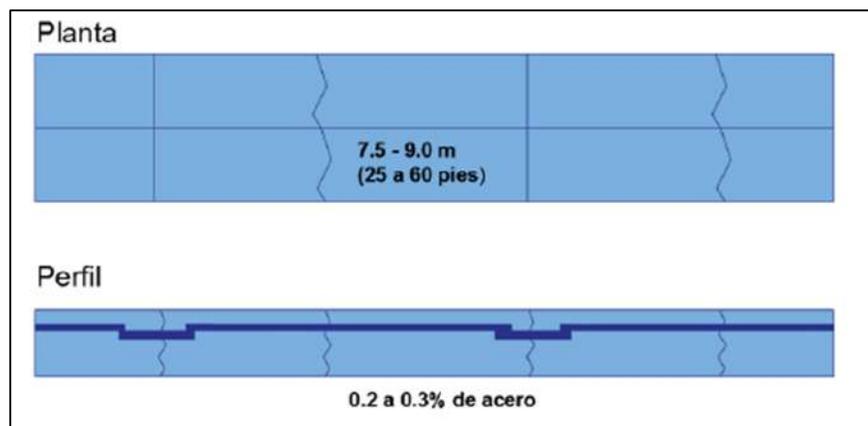


*Figura 2 Juntas en Pavimentos de concreto simple*

*Fuente: Tópicos de Pavimentos de concreto*

## **B. Pavimentos De Concreto Reforzado Con Juntas**

La malla de acero utilizada en la construcción de los pavimentos los hace únicos ya que el espaciamiento entre juntas de contracción oscila entre 7,5 y 9,0 metros. ya que el hormigón se comporta mejor cuando el acero lo refuerza. El objetivo de este esfuerzo es lograr un agrietamiento controlado dentro de cada paño de pavimento; De manera similar, los pavimentos de concreto simples permiten la transmisión de carga entre paños mediante el uso de clavijas.



*Figura 3. Pavimentos con refuerzo continuo.*

*Fuente: Tópicos de Pavimentos de concreto*

### **C. Pavimentos De Concreto Continuamente Reforzado**

Los principales detalles de estos pavimentos es su alto contenido de aceros de refuerzos, lo cual produce un buen control de fisura. Normalmente, esto se utiliza en lugares con alta solicitud de tráfico.

#### **2.2.1.2.2 Pavimento Semi - Rígido**

La superficie de rodadura conformada por adoquines de alta resistencia y la distribución uniforme de cargas debido a la conexión entre bloques son las características principales de este pavimento. Utilizar en los tramos donde la carretera atraviese centros poblados y para tráfico menores o iguales a 15 000 000 de EE, señala el Manual de Carreteras (2018) (p.211).

**Según el Manual de Carreteras (2018)** afirma. “Comprende los pavimentos cuya estructura está compuesta por una capa asfáltica y bases tratadas con asfalto, con cemento y con cal, esta solución se recomienda aplicar sobre sub rasante de categoría buena o con CBR > 20% y para tráfico mayores a 1'000,000 de EE” (p.211)

Este pavimento tiene como particularidad de que posee una superficie de rodadura compuesta por adoquines de alta resistencia y una mejor distribución de esfuerzos gracias al enlace entre bloques.

#### **2.2.1.3 Pavimento TCP**

Es una clase de pavimento del tipo rígido, conocida también como losas cortas en pavimentos de concreto, siendo su principal característica la disminución de las fuerzas a flexión por disminución de dimensiones en las losas de la estructura.

Este tipo de pavimentos se desarrolló siguiendo un principio simple: utilizar dimensiones de losas de manera que sean cargadas solamente por una rueda o varias ruedas. Esto permite reducir los esfuerzos generados en el pavimento. La validez de

este principio se demostró a través de pruebas de AASHTO Road Test realizadas por la Universidad de Illinois (EE. UU.). En estos ensayos a escala real, se analizó y observó el comportamiento del pavimento ante diferentes condiciones de tráfico. (Covarrubias, 2012)

La patente TCP presenta una nueva forma de diseñar pavimentos en comparación con los métodos tradicionales como AASHTO. Esta innovación se basa en el uso de un conjunto de losa con geometrías óptimas, permitiendo una dispersión con más eficiencia de las cargas y ayuda a prevenir problemas de agrietamiento. Las dimensiones de las pérdidas en los métodos convencionales son normalmente de 3,5 m x 4 m de largo, esto que implica que la mayor parte de la carga del vehículo se coloque en una única pérdida, provocando tensiones. Sin embargo, utilizando el método TCP, las pérdidas están diseñadas para soportar solo un juego de estrategia por turnos simultáneamente, lo que ayuda a evitar una concentración excesiva de carga y las tensiones resultantes. Esta innovación en el diseño para pavimento TCP tiene como objetivo optimizar la distribución de carga y mejorar la resistencia del pavimento, reduciendo así los problemas de agregación y extendiendo la vida útil del pavimento.

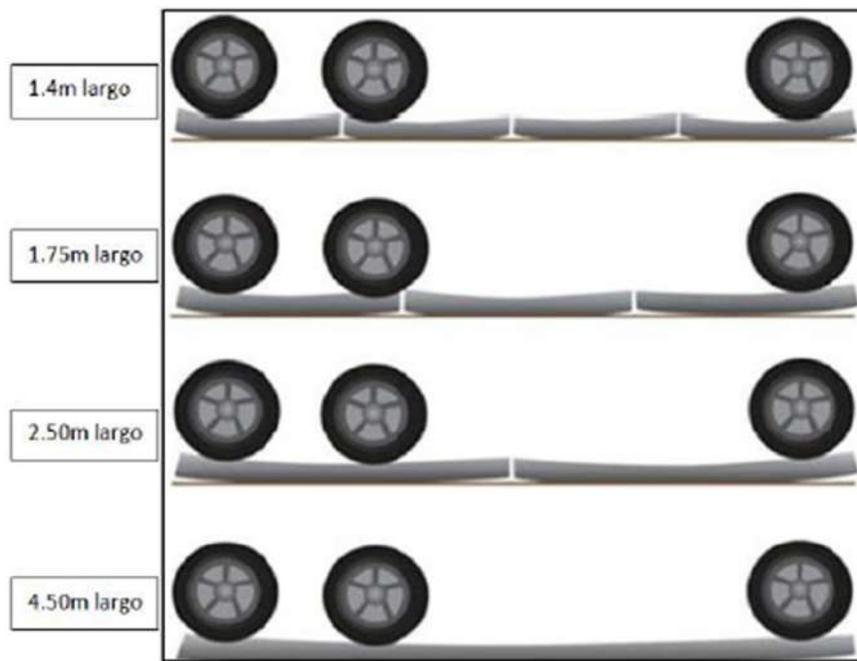
El esfuerzo en la pérdida se reduce de manera significativa al cargar cada una vez con un máximo de un par de ruedas a la vez. Esta distribución de carga evita el "aplanamiento" de las piernas porque cada una soporta el peso de los pies y se sostiene de forma independiente en el suelo.

La contradicción que esta geometría de losa plantea con los métodos de diseño actuales. Los vehículos causan esfuerzos de tensión en la parte superior de las losas debido a la naturaleza actual de las mismas. In los esfuerzos que se generan in el concreto y que pueden conducir a la formación de fisuras por fatiga, el tamaño de la losa tiene un papel

importante. La geometría de la losa y la distribución de cargas are afectadas también por la posición de las ruedas.

La distribución de las llantas y la geometría de la losa son propiedades fundamentales de este tipo de pavimento, como se menciona en el estudio de Covarrubias (2012). Este enfoque busca minimizar los esfuerzos en las losas y mejorar la durabilidad del pavimento.

Por la variedad de tipos de vehículos, el diseño debe tener en cuenta el tipo más vulnerable y el análisis del tráfico debe tener en cuenta el modelo de vehículo que utilizará la ruta más frecuente.



*Figura 4. Comparación de cargas de vehículos de diseño*

*Fuente: Tesis, O. Estación y O. Valverde (2012)*

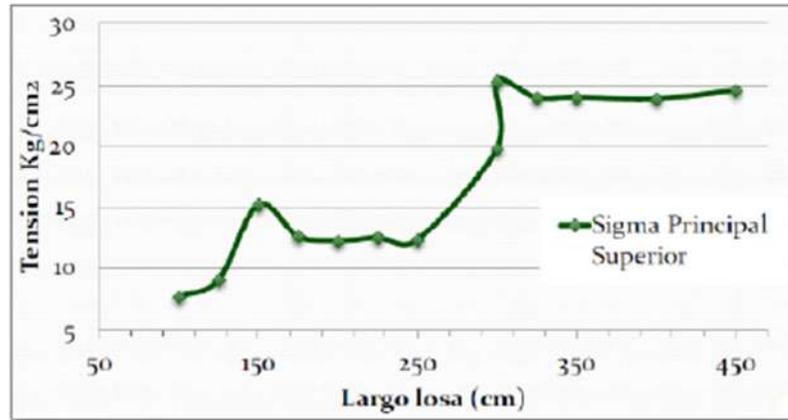


Figura 5. Comparación de tensión vs dimensión de losa

Fuente: Tesis, O. Estación y O. Valverde (2012)

Al reducir los esfuerzos en la parte superior del pavimento, se logra prolongar su vida útil. Además, esta reducción de esfuerzos permite la posibilidad de disminuir el espesor del pavimento mientras se mantienen las mismas tensiones y durabilidad que se obtendrían con la metodología de construcción convencional. De optar por disminuir el espesor del pavimento, los esfuerzos generados por las tensiones son menores y, por lo tanto, se puede utilizar una menor altura de pavimento. Esta reducción en el espesor del pavimento puede resultar en beneficios como la optimización de los recursos y la reducción de costos de construcción. (Cervantes, 2013). De este modo se destaca la importancia de la disminución de los esfuerzos para la vida útil y el diseño eficiente del pavimento.

Error en el diseño del espesor de la losa del pavimento si consideramos un vehículo con eje delantero de rueda única y dos ejes traseros de 02 ruedas. En este caso, la longitud de la pérdida se puede acortar de 4,5 m a 1,8 m. Para las mismas condiciones de carga en el suelo, esto se traduce en una disminución de 6 a 10 cm en el espesor (Covarrubias, 2012). La distribución de cargas más eficiente al cargar cada losa con un

máximo de un par de ruedas a la vez se fundamenta para esta optimización del diseño del espesor de la losa. Reducidos los mismos alargan los esfuerzos en el pavimento y, consecuentemente, disminuyen el espesor necesario para cumplir con las mismas condiciones de carga. Este enfoque permite un uso más económico del material y puede tener efectos positivos como menores costos de construcción y mayor durabilidad del pavimento.

Las condiciones ambientales y esfuerzos de las cargas aplicadas determinan las fuerzas de tracción in losas de concreto.

Cuando se aplican cargas verticales in ambas direcciones a las losas, los esfuerzos más críticos en su superficie se muestran a continuación de acuerdo con sus dimensiones.

ESFUERZO MAXIMO (KG/CM2)	DIMENSIONES DE LA LOSA		
	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (m)
25.035	4.50	3.60	0.25
24.613	2.50	1.80	0.14
25.105	1.80	1.80	0.16
24.824	1.40	1.80	0.13

*Tabla 1. Resultados de dimensiones de losa vs Esfuerzo máximo*

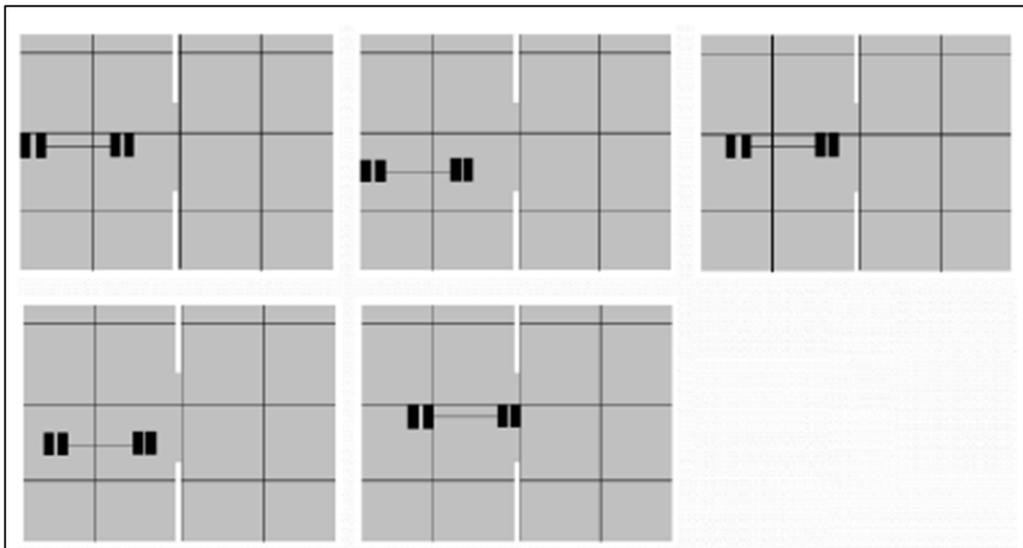
*Fuente: Illinois Center for Transportation. Performance of Concrete Pavements with optimized slab geometry (2009)*

Por el contrario, cuando la altura y las dimensiones del pavimento disminuyen, las deflexiones del pavimento aumentan, haciendo más probable que haya bombardeo, erosión y deformación de la capa más baja (Sub Base y Base). Es comparable a lo que ocurre con el método PCA para pavimentos rígidos, donde se demuestra que, para un observador de lo dado, se puede conseguir una muy buena vida a fatiga; sin embargo,

el deterioro y el bombardeo pueden convertirse en factores que comprometan el desempeño del pavimento.

Por lo tanto, la geometría de los componentes empleados en el diseño del TCP necesita una cuidadosa consideración durante las fases de diseño y construcción. Es imperativo prestar especial atención al diseño y las especificaciones de la cubierta de la subestructura, así como al sistema de conexión.

Se hallaron las posiciones de esfuerzo según las pruebas an escala real donde se observaba una mayor fatiga, de acuerdo con las pruebas realizadas por la AASHTO para carreteras. Estas son las áreas cruciales que demandan un examen minucioso; en estas situaciones de carga, se emplea el modelo estructural que muestra la mejor respuesta. La cargas aplicadas in estas posiciones específicas son las que producen los mayores esfuerzos y tienen un impacto significativo sobre la resistencia y durabilidad del pavimento. Por esto reason, se realiza el análisis.



*Figura 6. Posiciones de ejes de ruedas en un área de trabajo*

*Fuente: TCP Pavements (2012)*

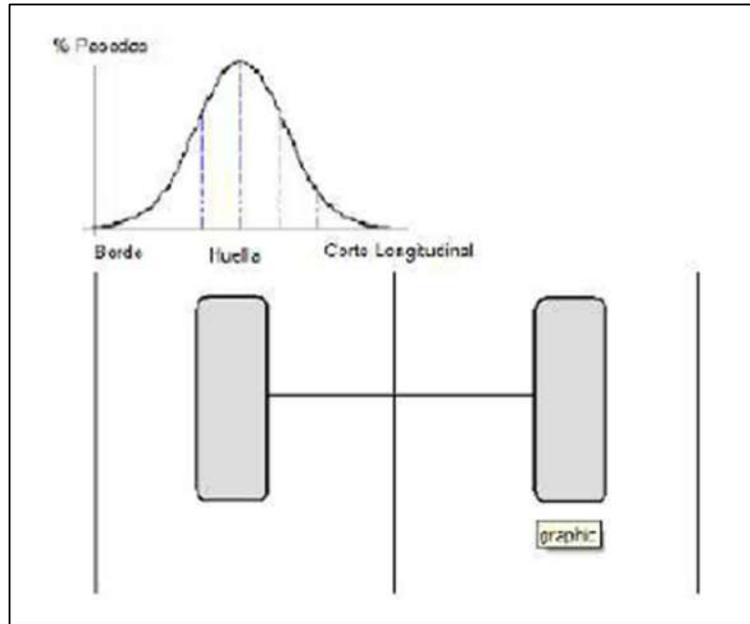


Figura 7. Porcentaje de pasadas sobre cada lugar en las losas, que genera el mayor daño por fatiga.

Fuente: TCP Pavements (2012)

### 2.2.1.3.1 Características principales del diseño TCP

De acuerdo a las premisas mostradas, Covarruvias (2012) sostiene que se tiene una serie de características propias para el diseño por el método TCP:

- Losa angosta (media pista x 1,20 a 2,5 m)
- Bases granulares (fino < 8%), bases asfálticas o BTC
- Geotextil, de ser necesario entre sub rasantes y bases
- Cortes de junta entre 1,9 mm y 2,5 mm
- No necesita sellos de junta
- No necesita barra de transferencias de carga ni de amarre entre pistas (excepto junta para construir).
- Confinamientos laterales.

También se menciona ventajas, y es que a esta clase de pavimentos se le conoce como pavimento “verde”, por las siguientes razones:

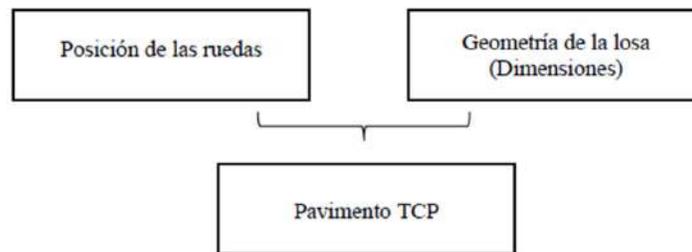
- Poco Consumo de energía durante la construcción (menor traslado de material).
- Bajo consumo de energía para la iluminación con respecto a pavimentos oscuros.
- Durabilidad
- Menor temperatura (no absorbe la radiación solar).
- No existe coste para mantenimientos de la junta.
- Reemplazo sencillo de los paneles.

#### ***2.2.1.3.2 Diseño de pavimentos TCP***

El método se basa en la ecuación de daños por desgaste del proyecto NCHRP 1-37 A (ME-PDG, AASHTO, EUA) y simulacros de fatiga hechos utilizando el software de elemento finito ISLAB 2000. Con el fin de conocer la constante para calibrar necesarias, este enfoque combina elementos mecánicos y empíricos y han sido calibrados mediante tramos de prueba real. La idea fundamental del diseño es medir los agujeros de modo que sólo uno o un grupo de agujeros queden soportados en un agujero a la vez. Los daños causados por fatiga en los puntos más críticos de la losa se calculan, y se evalúan en relación con esto el espesor necesario para las condiciones particulares del suelo, el alabeo, el tráfico y otros elementos. Nota importante: este método de diseño está resaltado por su originalidad y propiedad intelectual ya que está guardado por la patente industrial en Chile. Este enfoque mecánico-empírico ofrece una herramienta eficaz para diseñar pavimentos rígidos, teniendo en cuenta las condiciones únicas de cada proyecto y maximizando la resistencia del pavimento a la fatiga..

Las tensiones críticas que ocurren en las pérdidas del pavimento se calculan utilizando una combinación de cargas en los bordes, temperatura y diferentes circunstancias analíticas. El procedimiento también incluye verificar las condiciones de escalado de juntas transversales sin barras de transferencia de carga y fisuras en las esquinas.

En las simulaciones de software de elementos finitos, se emplea un eje estándar definido por AASHTO. El daño por fatiga se calcula utilizando los ejes equivalentes (EE) del solicitante, que se calculan de la misma manera que para el diseño de pavimento rígido tradicional.



*Figura 8. Concepto del diseño de losas optimizadas*

*Fuente: Elaboración propia*

El modelo del suelo es una característica relevante del diseño del TCP. La creencia convencional era que los pavimentos de hormigón podían soportar el peso de los vehículos pero eran ineficaces para soportar tensiones repentinas. Sin embargo, para mejorar la adherencia entre el sustrato y el suelo, es posible utilizar capas base de colores más suaves (con un CBR del 20% al 50%) en el caso de los sustratos más viscosos. Por otro lado, debido a que los voladizos son más pequeños, este efecto es menos significativo cuando se utilizan voladizos más pequeños. En términos de punzonamiento bajo la rueda y aguantar la carga aplicadas, es crucial que la capa subyacente al pavimento sea más rígida. Para garantizar

que pueda soportar estas cargas adecuadamente, se recomienda utilizar una tapa con un CBR superior al 80%. (Covarrubias, (2007).

En conclusión, el diseño del TCP optimiza la durabilidad y resistencia del pavimento teniendo en cuenta el comportamiento del suelo. Se busca un adecuado soporte y distribución de las cargas aplicadas sobre el pavimento, y se elige la rigidez de la capa subyacente en función de la deformación de la losa.

### ***2.2.1.3.3 Parámetros para el diseño de losas cortas***

#### **A. Largo de la losa**

El largo de la losa se define de la manera siguiente para ser empleado para dimensionar las que sean solicitadas an un set of ruedas, y que el concreto pueda trabajar a compresión más que a flexión:

- 140 cm: El eje tandem va a quedar en una losa distinta.
- 180 cm: El eje tandem va a quedar en la misma losa, utilizar indicado en un clima extremo o tránsitos en varias direcciones.
- 220 cm: El eje tandem se situa al centro de una losa y al borde de otra. Se utiliza para pavimentos de tránsito y clima normal

El ancho de la losa debe de ser media pista (175 cm) (Covarrubias, 2012)

#### **B. Ecuaciones de diseño.**

Cantidad de recorridos permitidos

Utilizando el modelo para verificar por fatiga de PCA 84 o lo señalado en MEPDG 2008, la tecnología TCP calcula el número máximo de pasadas de acuerdo a los esfuerzos máximos generados.

$$\log(N_{ijk}) = 2 \times \left( \frac{C_3 \times \sigma_{ijk}}{MOR \times C_1 \times C_2} \right)^{-1.22}$$

*Ecuación 1. Número de pasadas admisibles*

Donde:

$N_{ijk}$ : Número de pasada permitidas para posición del eje k, condición de alabeo i y condición de carga j, superior o inferior.

$\sigma_{ijk}$ : Tensión principal máxima calculada para posición del eje k, condición de alabeo i, condición de carga j, superior o inferior

MOR : Resistencia a la flexotracción media a 90 días

C1 : Factor de calibración por geometría y espesor de la losa, determinado según la siguiente Figura

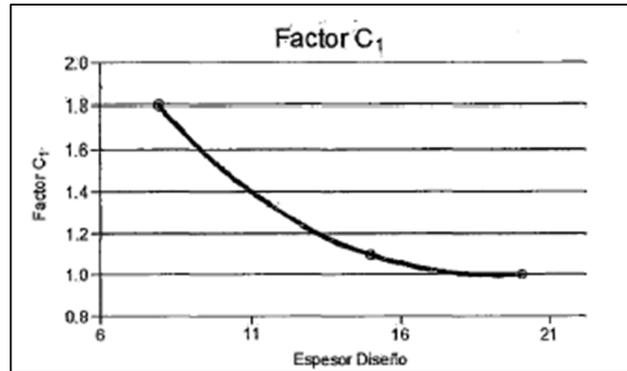


Figura 9. Factor C1.

Fuente: TCPavements

C2: Factor de calibración por uso de fibras estructurales en concreto, si no se usan fibras el valor será 1, en caso contrario será determinado según:

$$C2 = (1 + R_{3,e}/100)$$

$R_{3,e}$  = Razón equivalente de resistencia residual a 3 mm de flecha en ensayo de viga en aire.

C3: Factor por tipo de borde (se utiliza sólo en posiciones de borde)

### C. Daño de fatiga en un punto determinado.

Utilizando la hipótesis de Miner, se puede determinar el daño por fatiga en cada posición de la parte de arriba y baja de la losa de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$FD_k = \sum_i \frac{n_{ijk}}{N_{ijk}}$$

Ecuación 2. Hipótesis de Miner

Fuente: TCPavements

Donde:

$FD_k$ : Daños por fatigas para posiciones determinadas del eje k

$n_{ijk}$ : Números de pasada para la tensión local para condición i,j,k

$N_{ijk}$ : Número de pasada aceptadas para la tensión local para condición i,j,k

i : Condiciones de alabeo

j : Condiciones de carga

k : Posición de eje

- Porcentajes de loss con grieta para ser un 50% de confiable

Utilizando el modelo de agrietamiento por fatiga de MEPDG (Guía de Diseño de Pavimentos Mecánico-Empírico), se calcula el porcentaje de agrietadas con un grado de fiabilidad del 50% para cada posición superior e inferior. Este enfoque, desarrollado por la Alianza para la Investigación sobre Asfalto (ARA) en 2007, permite evaluar con precisión la probabilidad de que las pérdidas en el pavimento presenten erosión.

$$\%Crack_{kl} = \frac{1}{1 + FD_{kl}^{-1.98}}$$

*Ecuación 3. Ecuación de fatiga*

*Fuente: TCPavements*

Donde:

$\%Crack_{kl}$  = Porcentaje de losas agrietadas en posición del eje k

$FD_{kl}$  = Daño por fatiga con eje en la posición k y ubicación de esfuerzo l

Cálculo del porcentaje de losas agrietadas totales

- Cálculo del porcentaje de losas agrietadas totales fibra superior e inferior.

$$Tcrack_t = MAX(\%Crack_{kl})$$

- Cálculo del % de losa agrietada final 50 % confiables

Para calcular el número total de fisuras en el pavimento para el 50 por ciento de confiabilidad, combine el agrietamiento de cada posición:

$$TTCracks_{50} = Tcracksi + Tcrackss - Tcracksi * Tcrackss$$

*Ecuación 4. Cálculo del porcentaje de losas agrietadas*

*Fuente: TCPavements*

Donde:

TTcracks50 = % total de losa fisurada, 50% confiable:

Tcracksi = % losas fisurada desde la superficie

Tcrackss = % losa fisurada desde la parte inferior

- Cálculo confiabilidad porcentajes de losa agrietada

Se presenta a continuación y funciona con la misma metodología como el MEPDG

(ARA 2007):

$$TTcracks_m = TCracks_{50} \times Z_r \times S_e$$

$$S_e = (5.3116 \times TCracks_{50}^{0.3903}) + 2.99$$

*Ecuación 5. Confiabilidad*

*Fuente: TCPavements*

Donde:

TTcracksm = % de losa agrietada y m % confiable

TTcracks50 = % total de losa agrietada y 50% confiable

Zr = Coeficiente normal estándar para un nivel de confianza dado.

Se : Error estándar.

## ***2.2.2 Parámetros de entrada del método***

### **2.2.2.1 Estudio De Mecánica De Suelos**

#### ***2.2.2.1.1 Contenido De Humedad***

El peso del agua presente in una muestra de suelo y el peso de las partículas sólidas en dicha muestra se conoce como contenido de humedad del suelo.

El procedimiento para determinar el contenido de humedad es el siguiente

- Se pesa la tara metálica que se usan en la prueba.
- Luego, se coloca la muestra de suelo en la tara y se registra su peso.
- A continuación, se coloca la tara con la muestra en un horno a una temperatura de aproximadamente  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante aproximadamente 24 hrs. Luego de este período, se saca del horno y se enfria a temperatura ambiental.
- Posteriormente, se pesa de nuevo la muestra seca en la tara.
- Por último, utilizando el dato conseguido, se realiza el cálculo necesario y se aplican la fórmula correspondiente para conocer la cantidad de humedad media en relación a la cantidad de muestra recogidas en el campo.

Este procedimiento permite obtener información precisa sobre el contenido de humedad del suelo, lo cual es importante para diversos análisis y estudios relacionados con la ingeniería geotécnica y la construcción de infraestructuras.

#### ***2.2.2.1.2 Análisis Granulométrico Por Tamizado***

La distribución de tamaños de partículas en una muestra de suelo se determina de manera cuantitativa mediante el análisis granulométrico por tamizado.

Se deben utilizar los siguientes materiales para completar esta tarea:

- Juego de tamices.
- Balanza.
- Horno eléctrico a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- Cepillo de alambre fino.
- Martillo de goma.
- Bandejas y recipientes.

El proceso para realizar el análisis granulométrico por tamizado es el siguiente:

- Se selecciona la muestra seca a trabajar, la cual se divide en partes más pequeñas y se registra su peso.
- En una vasija, se mezcla la muestra y agua y se procede a verterla a través del tamiz N°200 para disolver la arcilla presente. Este proceso se repite hasta obtener agua pura.
- Luego, se seca la muestra conseguida en el horno a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$ .
- Una vez retirada la muestra del horno, se realiza el tamizado utilizando el juego completo de tamices, colocándolos en orden decreciente. Se agita la muestra mediante movimientos rotatorios horizontales y verticales.
- Por último, se pesa cada cantidad de suelo contenido en cada tamiz y se registran los valores obtenidos.

Este procedimiento permite obtener información sobre la distribución por tamaño de partícula en la muestra del suelo, lo cual es importante para diversos análisis y estudios relacionados con la ingeniería geotécnica y la caracterización de suelos.

### **2.2.2.1.3 Límites De Atterberg**

También conocidos como límites de plasticidad o límite de consistencia, el límite de Atterberg se usa para evaluar como se comporta un suelo de grano fino.

Este límite se define en función del contenido de humedad de un suelo con granos finos, y representan los diferentes estados de consistencia que puede presentar. El suelo comienza en un estado sólido cuando está seco, y a medida que se agrega agua, va pasando gradualmente a un estado semi sólido y, finalmente, a un estado líquido. Los puntos de transición entre estos estados se conocen como límite de Atterberg.

El tope líquido es aquel en el cual el suelo pasa del estado plástico al estado líquido. Para determinar este límite, se utiliza un instrumento llamado copa de Casagrande, el cual permite medir la penetración de una pequeña cantidad de suelo en condiciones específicas.

El límite líquido es un parámetro importante para caracterizar la plasticidad de un suelo de grano fino y se utiliza en diversos análisis y estudios relacionados con la ingeniería geotécnica y la construcción de cimentaciones y estructuras.

#### Equipo

- Balanza
- Pocillos de porcelana
- Copa Casagrande y acanalador
- Tamiz N°40
- Pipeta

#### Procedimiento

- La muestra es etiquetada y enviada por el Centro Comercial N°40 hasta obtener la cantidad deseada.
- Luego de obtener la cantidad deseada, mézclalo con agua en el recipiente de porcelanato y tener una consistencia de pasta suave. Se tapa y se deja descansar un rato.
- Luego, agrega la mezcla a la taza Casagrande hasta llenar aproximadamente 1/3.
- Asegurando que el apresto máximo sea en el punto más profundo, se extiende el material utilizando la salpicadura para formar una tapa redonda.
- El instrumento acanalador se emplea para crear un espacio a lo largo de la mezcla central. Para evitar que la pantalla se deteriore, este proceso se realiza con mucho cuidado y con la frecuencia necesaria.
- Al rotar la manivela a una velocidad de dos vueltas por segundo, se registra la cantidad de golpes necesarios para que las paredes de la ranura formada se encuentren en la parte inferior de la misma a una distancia de ½ pulgada.

**Límite Plástico:** Si pasa de un estado semisólido a un estado plástico.

Equipo

- Balanza
- Horno
- Placa de vidrio esmerilado
- Cápsulas metálicas

Procedimiento:

- Después de la prueba de límite líquido, asegúrese de que tenga la consistencia adecuada para que pueda rodar entre los dedos y el vidrio esmerilado.
- Un pequeño peso de la muestra, entre 2 y 3 gramos de material, se coge y se fabrican cilindros delgados manualmente. A continuación, elimine la humedad dándoles la vuelta sobre la placa de vidrio esmerilado.
- El proceso de rolado se continuaba a un ritmo de 80 a 90 veces por minuto. Este movimiento debe ser tanto hacia adelante como hacia atrás.

El límite de plástico se denota a la formación de cilindros de 3.2 mm de diámetro y a la aparición de grietas superficiales.

**Límite de retracción o contracción:** Esto se conoce como la transición de un suelo de un estado semisólido a un estado sólido, que ocurre cuando el suelo se contrae al perder humedad.

#### ***2.2.2.1.4 Ensayos Para Determinar Comportamiento De Suelos***

##### **Proctor Modificado.**

El término "compactar el suelo" se refiere a un aumento en la densidad del material, lo que provoca una disminución de la permeabilidad, un aumento de la compresibilidad y un aumento de la resistencia al corte.

El experimento Proctor Modificado es similar al estándar, pero tiene cambios en la capacidad del molde y, en consecuencia, en su capacidad para compactarse. En el estudio, se utiliza un molde cilíndrico de 457 mm de altura, con la masa de 4.535 kg y una capacidad de 2.32 cm<sup>3</sup>.

A diferencia del método convencional, el Proctor Modificado compacta cinco capas en lugar de tres, aplicando 25 golpes a cada una.

El ensayo se termina así transformando la curva de Proctor mediante medidas múltiples de la humedad y densidad dentro del molde a diferentes niveles de humedad..

Equipo:

- Juego de Tamices
- Martillo de Goma
- Brocha y badilejo
- Molde cilíndrico de proctor estándar o modificado
- Pistón de 10 lb de peso
- Horno
- Balanza
- Probeta

Procedimiento:

Cuando se trata de un ejemplar de tamaño considerable, que pesa aproximadamente entre 40 y 50 kg, es necesario primero secarlo al aire libre. Posteriormente es necesario retirar los terrones existentes con una goma martillo procurando que sus propiedades mecánicas se mantengan inalteradas.

- Descartando lo que se mantiene en la malla de dos pulgadas, comenzamos el tamizado. • Seleccionamos el método de ensayo a realizar a partir del dato de la prueba granulométrica hecho anteriormente. Instalaremos cuatro pantallas.

Pesaremos 2,5 kg si se utiliza el método A o el método B, y 6 kg si se utiliza el método C.

- Para lograr una mezcla homogénea y uniforme, colocamos el material en un lugar de la bandeja y agregamos agua al 2% y 4%.
- Procedemos a dividir la muestra lo más igualmente posible en cinco partes, y luego colocamos una de las muestras en el molde del experimento. Con la asistencia del pistón con caída libre y con la cantidad de golpes establecido en el ensayo, procedemos al compactar. Repetimos este procedimiento con los ejemplares restantes.
- Una vez compactadas las cinco tapas, una para cada probeta dividida, retiramos la extensión desmontable y procedemos a nivelar mediante una cenefa metálica.
- Finalmente pesaremos el modelo húmedo sin extenderlo y registraremos el peso. Luego desechamos el material para su limpieza.
- •Utilizando la muestra que queda, podemos estudiar la cantidad de humedad.

### **Valor Relativo de Soporte (CBR)**

La prueba "California Bearing Ratio", o CBR, mide la resistencia del suelo mediante una prueba de placa de escala. Su objetivo es evaluar la calidad del suelo.

Según ASTM D 1883-07, la prueba de carga CBR implica un pistón metálico que penetra en un molde metálico a una velocidad constante desde la superficie del suelo compactado utilizando un área de contacto de 0,5 pulg. al cuadrado.

En conclusión, el CBR. El punto de referencia bien graduado es el parámetro que cuantifica la relación entre la fuerza unitaria sobre el pistón requerida para perforar 1" o 2" en

la muestra analizada y la carga unitaria requerida para penetrar la misma cantidad en la piedra triturada. Este valor se expresa mediante el porcentaje (%).

## 2.2.2.2 Estudio de tráfico vehicular

### 2.2.2.2.1 Tráfico por Ejes Equivalentes.

Este parámetro se utiliza para convertir los numerosos zapatos que se usan a lo largo de una ruta en un zapato simple de doble articulación (ESRD) de 80 KN (18 kips), que se considera el zapato principal. Nos referimos a esto como el daño equivalente..

### 2.2.2.2.2 Clasificación del Tipo de Tráfico:

El tráfico está clasificado por la Administración Federal de Carreteras según el tipo de vehículo que circula por el pavimento. Esta clasificación va del 1 al 17. En dos tablas específicas se muestran ciertos criterios que se basan en la elección del grupo a utilizar.

<b>Tabla 20.</b>	
<b>Grupo de Clasificación de Tráfico Recomendado según uso del pavimento</b>	
<b>Uso del Pavimento</b>	<b>Grupo de Clasificación Recomendado</b>
Arterias Principales (Rutas Inter-regionales)	1,2,3,4,5,8,11,13
Arterias Principales (Rutas Interregionales incluyendo autopistas urbanas)	1,2,3,4,6,7,8,9,10,11,12,14,16
Arterias Menores	4,6,8,9,10,11,12,15,16,17
Colectoras Mayores	6,9,12,14,15,17
Colectoras Menores	9,12,14,17
Calles Locales y de Servicio	9,12,14,18
<b>Nota:</b> Fuente: Federal Highway Administration, 2014.	

Tabla 2. Clasificación de tráfico recomendado según uso de pavimento

Fuente: Federal Highway Administration, 2014

### 2.2.2.2.3 Tasa de crecimiento Anual de Trafico.

Para calcular el incremento medio por año de tráfico por año, se utiliza el crecimiento que se prevé que se produzca el pavimento durante su vida útil. En general, se utiliza una tasa de crecimiento del 5%, aunque puede variar entre el 0% (sin crecimiento) hasta el 10%. Esta

tasa de crecimiento es una estimación que puede ajustarse según las condiciones y expectativas específicas de cada proyecto de pavimentación.

#### 2.2.2.2.4 *Distribución Lateral del Tránsito.*

Al simular el comportamiento de un pavimento, es importante tomar en cuenta la posición de un vehículo en relación al borde del mismo. Un vehículo en especial suele seguir una distribución ordinaria en su posición, con una desviación estándar de 25 cm y una media de 45 cm desde la línea de señal del pavimento. Esto implica que, dependiendo de la desviación estándar, la mayor cantidad de vehículos se ubicarán a una distancia de 45 cm de la línea de señalización. Este componente puede tener un impacto en la durabilidad y la erosión del pavimento, particularmente en áreas de alto tráfico.

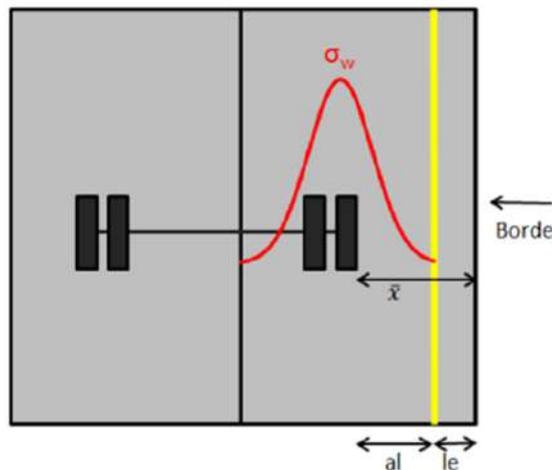


Figura 10. Distribución Lateral Típica de un Pavimento de Concreto

Fuente: TCPavements

#### 2.2.2.2.5 *Efecto de Soleras y Sobreancho en la distribución lateral del tráfico.*

La distancia que recorren los vehículos a lo largo del borde incrementa mucho comparado con otro tipo de borde cuando se tratan de losas de borde o umbrales excesivamente anchos. La línea del borde y la llanta externa del móvil ( $al + lc$ ) se amplifica con un umbral, lo que también reduce la desviación estándar en la circulación del tráfico.

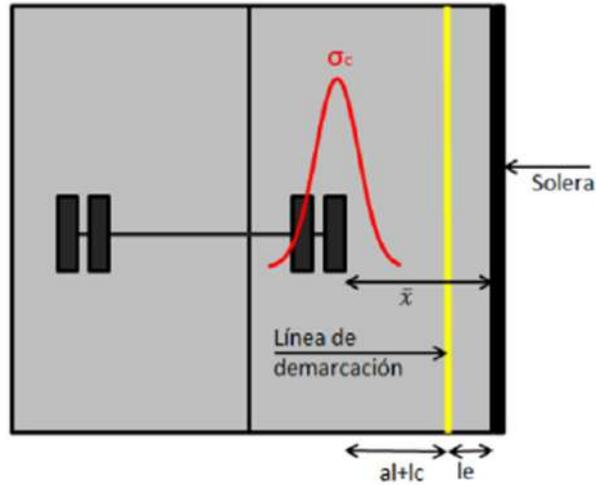


Figura 11. Distribución Lateral para un pavimento con solera en el borde

Fuente: TCPavements

El ancho excesivo aumenta la distancia media desde el borde, dando una impresión similar a la de una losa. Esto resulta de una mayor separación entre el borde de la ceray la línea de marcación ( $Le + Lw$ ).

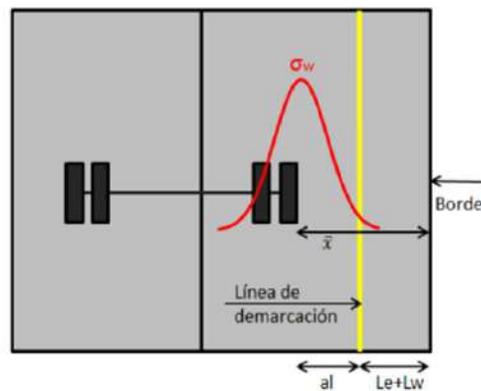


Figura 12. Distribución Lateral del tráfico para un pavimento con sobrenacho

Fuente: TCPavements

En la tabla siguiente se muestran los valores predeterminados por la distancia entre el borde del pavimento, la línea de demarcación y la rueda exterior del vehículo.

Tipo de Borde	Distancia entre el borde y la línea de demarcación	Distancia entre la línea de demarcación y la rueda externa de los vehículos	Distancia entre el borde y la rueda externa de demarcación
Borde libre, Berma de Concreto, berma granular/asfáltica	150 mm	450 mm	600 mm
Solera de borde	150 mm	550 mm	700 mm
Losa con sobreebancho	300 mm	450 mm	750 mm

Tabla 3. Valores por defecto de las distancias, entre el borde, la línea de demarcación y la rueda externa

Fuente: TCPavements (2013)

Tipo de borde	Desviación Estándar por defecto de distancia Lateral de tráfico
Borde Libre, Berma de Concreto, berma granular / asfáltica	250 mm
Solera de borde	200 mm
Losa con Sobreebancho	250 mm

Tabla 4. Desviación estándar según tipo de borde

Fuente: TCPavements (2013)

### 2.2.2.3 Propiedades del concreto

El ensayo de flexotracción se emplea para evaluar la resistencia del concreto en general. Pero al emplear factores de correlación, este método también permite determinar la resistencia a la flexión a partir de la resistencia de probetas cilíndricas o cúbicas.

El impacto de la variabilidad de las resistencias normales en la producción del concreto debe ser mencionado junto con la resistencia característica. Como afirma Covarrubias (2007).

#### 2.2.2.3.1 Confiabilidad y desviación estándar de la mezcla de concreto.

Hemos colocado un nivel de confianza de 80%. Además, se recomienda una desviación estándar de 0,40 Mpa. Esto sugiere que existe un 80% de posibilidades de que los resultados de resistencia del concreto caigan dentro del rango definido por la desviación estándar de 0,40 Mpa.

#### **2.2.2.3.2 Aumento de Resistencia 28 – 90 días.**

Dada la característica de pavimento, se estima un incremento en la resistencia a la flexotracción en un período de 28 a 90 días, por defecto se considera un 10%. Sin embargo, este incremento está condicionado al tipo de mezcla utilizada.

#### **2.2.2.3.3 Módulo de elasticidad del concreto.**

El módulo de elasticidad del hormigón se logra determinarse por pruebas de laboratorios o correlacionándolos con una resistencia del material a la compresión. Si este valor es incierto, es recomendable emplear la siguiente ecuación, que vincula resistencia y compresión con la parte de elasticidad.

$$E_c = 57600 * \sqrt{f'c}$$

*Ecuación 6. Módulo de elasticidad del concreto*

Dónde:

*Ec: Modulo de Elasticidad [Psi]*

*f'c: Resistencia a la Compresión Cilíndrica [Psi]*

#### **2.2.2.3.4 Peso específico del concreto.**

Constituye el peso de la mezcla de concreto per volumen. Generally, a value of 2.400 kg/m<sup>3</sup> is advised. As stated by Covarrubias (2007).

#### **2.2.2.3.5 Módulo de Poisson.**

Se conoce como coeficiente de Poisson y es la relación entre las deformaciones unitarias laterales y axiales provocadas por una carga axial. Según las condiciones de carga y las características específicas del material, su valor por defecto es de 0,15, aunque puede variar entre 0,1 y 0,25. En Covarrubias (2007).

### 2.2.2.3.6 Coeficiente de expansión térmico.

Un cálculo de cuánto se expande o contrae un material en respuesta a cambios de temperatura se denomina coeficiente de expansión termomecánica. Para el hormigón se usa un valor de  $1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , a menos que se determine un valor diferente mediante ensayos de laboratorios. Para comprender cómo se comportará el hormigón en diversas condiciones de temperatura, es vital comprender este coeficiente.

### 2.2.2.3.7 Retracción del concreto a 365 días.

Una medida de cuánto se expande o contrae un material en respuesta a cambios de temperatura se denomina coeficiente de expansión termomecánica. Para hormigón se usa el valor de  $1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , a menos que se calcule un valor diferente mediante ensayos de laboratorios. Para comprender cómo se comportará el hormigón en diversas condiciones de temperatura, es vital comprender este coeficiente.

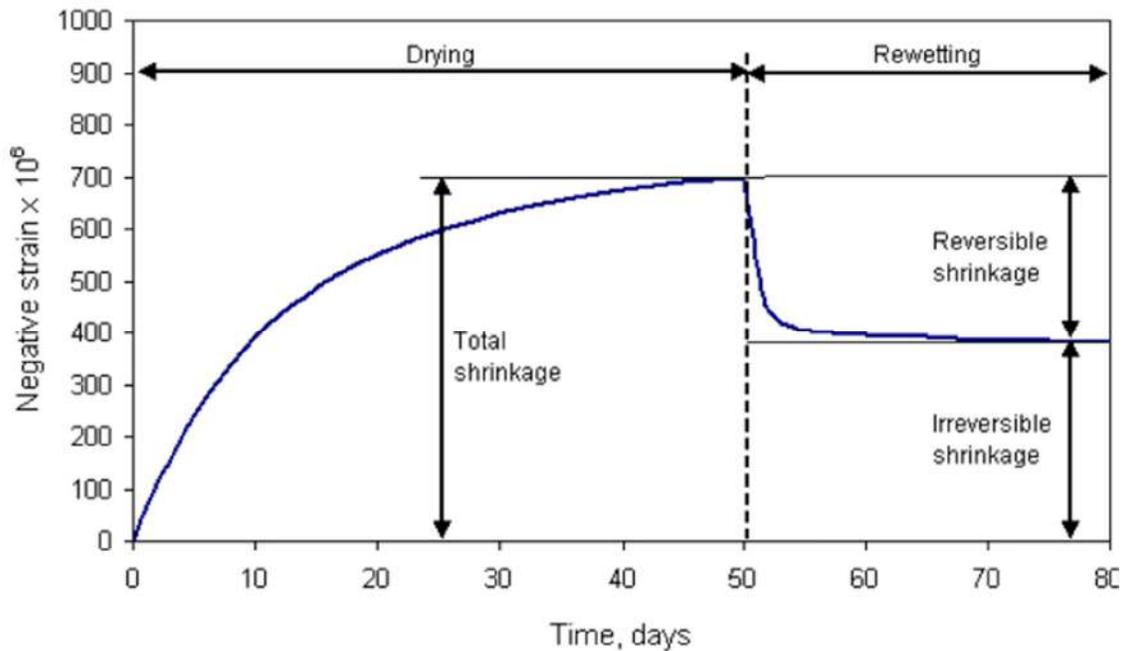


Figura 13. Retracción típica del concreto en el tiempo

Fuente: TCPavements (2013)

#### **2.2.2.3.8 Contenido de aire.**

Es el % de oxígeno (aire) que hay en la mezcla de concreto.

#### **2.2.2.3.9 Relación Agua/Cemento.**

Es la cantidad del recurso hídrico (agua) en la mezcla por unidad de cemento.

#### **2.2.2.4 Clima**

Al diseñar un pavimento, el clima es un factor esencial que se considera, y su influencia se examina mediante la utilización de bases de datos que incluyen información sobre los distintos lugares del país. La existencia de temperaturas almacenadas en bases de datos es importante en el diseño del pavimento. Los llamados "climas genéricos" se utilizan en situaciones donde no se dispone de información detallada ni tiene un clima específico para la región donde se va a construir el pavimento. Es posible estimar los efectos del clima en el pavimento mediante la aproximación de estos climas genéricos, que se reflejan a condiciones climáticas típicas. Es posible realizar un diseño preliminar del pavimento y considerar los efectos posibles del clima en términos de cambios de temperatura y sus consecuencias sobre el comportamiento del pavimento gracias al uso de los climas genéricos. Si falta información y no existe un clima apropiado para la zona donde se va a construir el pavimento, se deben utilizar los cuatro climas genéricos (Covarrubias, 2012).

- *Húmedo- Heladizo*
  
- *Húmedo-no Heladizo*
  
- *Seco- Heladizo*
  
- *Seco-No Heladizo*

#### **2.2.2.4.1 *Gradiente de construcción.***

El gradiente de temperatura es un parámetro que indica el cambio de temperatura necesario para mantener la losa de pavimento en una posición plana. Este valor está influenciado principalmente por la etapa del año en la que se realiza la construcción y por el clima de la zona. Dado que no siempre hay una gran cantidad de información disponible sobre el valor específico del gradiente térmico para una ubicación determinada, es recomendable usar el valor correspondiente al lugar en la que se va a construir el asfaltado. Estos valores se basan en estudios y experiencias previas y pueden proporcionar una aproximación útil para el diseño del pavimento. Es importante tener en cuenta que el gradiente térmico puede variar en diferentes épocas del año y en diferentes regiones, por lo que es recomendable utilizar la información climática más precisa y actualizada disponible para obtener resultados más precisos en el diseño del pavimento. (Covarrubias, 2012).

- *Zona Húmeda y sin viento -5°C.*
- *Zona Húmeda con vientos y zonas secas sin vientos -10°C*
- *Zona Seca con viento y Altura -15°C*
- *Condiciones extrema de evaporación de agua -20°C*

#### **2.2.2.4.2 *Temperaturas invierno, verano.***

El promedio de temperatura registrado en las diferentes estaciones anuales, desde el frío invernal a la más caluroso del verano, se conoce como temperatura media. Esta medición ofrece una perspectiva general sobre las condiciones climáticas durante el año. Además, a la hora de tener en cuenta el hormigón, también hay que tener en cuenta la temperatura que alcanza este material durante el transcurso de las 24 horas que sufre fraguado. Un elemento crucial en el fraguado del concreto es la temperatura, puesto que puede influir en su resistencia y durabilidad.

#### ***2.2.2.4.3 Número de días al año con precipitaciones.***

El registro por año de días con precipitaciones pluviales se refiere al recuento de los días en los que se registraron lluvias a lo largo de un año. Este dato proporciona información sobre la frecuencia y la cantidad de días en los que se produjeron precipitaciones en una determinada región.

#### ***2.2.2.4.4 Índice de congelamiento de la base.***

Por lo tanto, el % de temporada del año en el cual el estrato de la base se halla a temperatura menor a 0°C señala la proporción de tiempo en el año en la que la temperatura del estrato del pavimento está bajo del punto de congelación, es decir, por debajo de 0°C.

### ***2.2.3 Fibras estructurales***

#### **2.2.3.1 Concreto reforzado con fibras (CRF)**

En comparación con el pavimento simple, el concreto con fibras presenta ventajas significativas, según Vidaud, Frómata y Vidaud (2015). A diferencia del hormigón convencional, el hormigón con infusión de fibra no sólo soporta las de compresiones sino que igualmente mejora la resistencia a las tensiones de tracción, flexión y compresión. Las fibras se dispersan uniformemente por toda la mezcla, generando una micro armadura que ayuda a regular y atenuar la formación de fisuras. Adicionalmente, el hormigón con fibras se caracteriza por ser un material más isotrópico, lo que significa que las fibras aportan resistencia en todas las direcciones (resistencia tridimensional). Por el contrario, en el caso del hormigón convencional con armadura, el hierro de armadura sólo actúa en una o dos direcciones. Otro beneficio del hormigón con infusión de fibras es su capacidad para proporcionar ductilidad al material. Con un aumento en la cantidad de fibras utilizadas, esta ductilidad aumenta. Como resultado, el hormigón con fibras tiene mejor resistencia a la tracción ya que puede absorber más energía de deformación.

En resumen, el concreto con fibras ofrece una serie de beneficios, incluyendo una mayor resistencia a esfuerzos de tensión, flexión y cortante, una mejor capacidad para controlar fisuras, una distribución tridimensional del refuerzo y una mayor ductilidad y tenacidad. Estas características hacen que el concreto con fibras sea una opción atractiva para diversas aplicaciones en la construcción.

El Comité ACI 544 (2002) establece que "el cemento Portland, los agregados y las fibras de refuerzo son los ingredientes principales del hormigón reforzado con fibras". Hasta la actualidad, los acero, vidrio y polímeros orgánicos se han utilizado para producir las fibras apropiadas para el concreto armado. (Página 1).

### **2.2.3.2 Tipos de fibras**

En general, la fibra empleada en pavimento se ordena de acuerdo a la clase de material y la función de las fibras, tal como se ve a continuación, según Sika Perú (2011):

#### ***2.2.3.2.1 Por material:***

##### *Fibras metálicas*

Son secciones metálicas que han sido elaboradas con acero, elaboradas en su mayoría de poco contenido de carbono y que tienen una relación esbeltez (longitud versus diámetro) que va de 20 a 100.

##### *Fibra sintética*

La fibra sintética se compone de poliéster, polietileno, aramida, acrílico, carbón, nylon y polipropileno.

##### *Fibras naturales*

Las secciones hechas de caña de azúcar, yute, madera, bambú, etc. son consideradas fibras naturales; su diámetro oscila entre 0.5 y 0.2 mm.

### *Fibras de vidrio*

Las fibras de vidrio son aquellas secciones tenaces a los álcalis del cemento portland.

#### **2.2.3.2.2 Por funcionalidad:**

##### Microfibras

Las microfibras son utilizadas en el concreto en estado fresco para controlar la fisuración. Estas fibras se agregan en dosis que varían entre 0.03% y 0.15% de volumen del concreto. La microfibra más común se encuentran las de polipropileno, las cuales se dosifican de peso entre 0.3 y 1.2 kg/m<sup>3</sup> de la mezcla de concreto. Esta fibra tiene diámetro que oscilan entre 0.023 mm y 0.050 mm, y son de dos tipos: monofilamentos o fibriladas, dependiendo de su método de fabricación.

##### Macrofibras

Según Sika Perú (2011), las macrofibras se utilizan para controlar la aparición de rajaduras en el pavimento endurecido. Si se produce una fisura, también se encargan de controlar su ancho, lo que mejora el estado del concreto fisurado. La dosis a usar oscila entre el 0,2% y el 0,8% del volumen total de la mezcla del hormigón. Las clases más abundantes de macrofibra son la fibra metálica y la sintética. Los diámetros de las macro fibras pueden variar entre 0.05 mm y 2.00 mm, y su relación entre longitud y diámetro (esbeltez) suele estar en el rango de 20 a 100. En general, la fibra de acero se utiliza en dosificaciones en peso que van desde 20 hasta 50 kg/m<sup>3</sup>, mientras que las fibras sintéticas, principalmente el polipropileno, se utilizan en dosificaciones que oscilan entre 2 y 9 kg/m<sup>3</sup>.

En resumen sobre las características de los grupos de macrofibras y microfibras se ve en la tabla siguiente:

Tipo	Material	Dosificación	Diámetro	Función
Macrofibra	Fibras metálicas, sintéticas, o naturales (coco, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc).	Entre 0.2% a 0.8% del volumen del concreto	Entre 0.05 mm y 2.00 mm. Relación de aspecto (Longitud / Diámetro) de entre 20 y 100.	* Evitar la fisuración del concreto en estado endurecido. * Reducir la abertura de la fisura. * Garantizar el adecuado desempeño del elemento fisurado.
Microfibra	Las más frecuentes son las fibras de polipropileno; aunque también las hay de aramida, acrílicas, nylon, carbón.	Entre 0.03% a 0.15% del volumen del concreto	Entre 0.023 mm y 0.05 mm, pueden ser monofilamento o fibriladas. Las macrofibras al tener diámetros tan pequeños se califican con el parámetro de Denier (*).	* Evitar la fisuración del concreto en estado fresco (ej. Contracción plástica)

(\*) Denier es la unidad de medida del sistema anglosajón utilizada para medir la masa lineal de una fibra; se define como el peso en gramos de 9000 metros de una sola fibra. En general, se considera como microfibra, si tiene 1 Denier o menos.

Tabla 5. Características de macrofibras y microfibras

Fuente: Vidaud, Frómata y Vidaud (2015)

### 2.2.3.2.3 Fibras de acero

Debido a su alto módulo de elasticidad, Sotil & Zegarra (2015) sostienen que “la fibra de aluminio es un reforzamiento de primer orden para el pavimento”. Sus dimensiones variaban de 0,25 a 0,80 mm de diámetro y de 10 a 75 mm de longitud (p. 49).

Las normas ASTM A820, la cual estandariza la fibra de acero en pavimento con refuerzo de fibra, según su proceso de fabricación, como confirman Kosmatka, Kerkhoff, Panarese & Tanesi (2004).

- *Tipo I:* Las fibras de alambre hechas en frío son los alambres adelgazados, además de ser las más populares del medio.
- *Tipo II:* es hoja acortada, y la fibra de hierro cortadas de placas de hierro.
- *Tipo III:* Esta fibra posee una sección transversal en modo de medialuna, debido a su extraído de la fundición.

### 2.2.3.2.4 Parámetros básicos de las fibras

Numerosos factores, principalmente las propiedades mecánicas y físicas de la fibra, influyen en el comportamiento de la fibra como medio de resistencia y en su utilidad en la transmisión de la energía generada.

## Forma de la fibra

Como afirman Cañette, Eguren y García (2017), el diseño de las fibras comprende su forma longitudinal, la forma de la sección transversal, el recubrimiento superficial y las características que presenta.

Conforme a Cañette, Eguren y García (2017), la forma longitudinal de la fibra afecta principalmente las condiciones de adhesión y anclaje de la fibra. Como se puede ver a continuación (p.37), las formas son muy variables y presentan fibra recta, corrugada, ganchudas y onduladas.

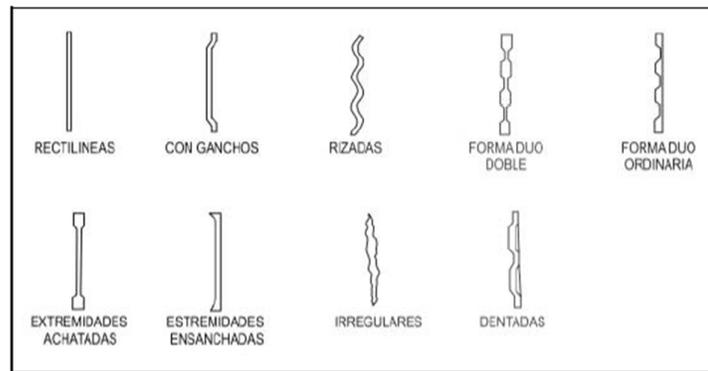


Figura 14. Formas en dirección longitudinal de fibras de acero

Fuente: MACCAFERRI (2017).

Según estas teorías, la fibra de acero con ganchos en los extremos se volvería menos adherente que las fibras de acero con forma recta. Para mejorar su anclaje se encuentran frecuentemente fibras de acero con diferentes extremos.

Cañette, Eguren y García (2017) afirman que el proceso de fabricación de las fibras es el que provoca las diversas formas que toman sus secciones transversales. Como se puede ver en la siguiente imagen, existen tres tipos de fibras de acero: el tipo I es circular (dibujo), el tipo II es rectangular (fibras cortadas en láminas) y el tipo III tiene forma irregular (generalmente un subproducto de la fundición de acero).

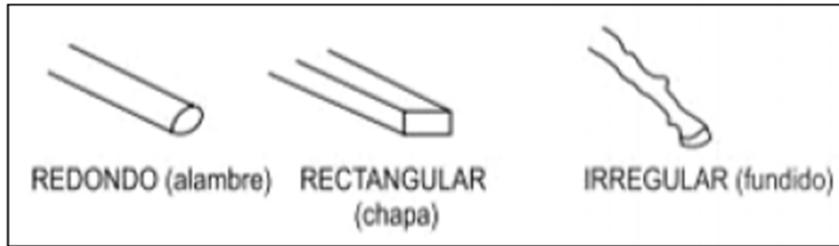


Figura 15. Formas de sección transversal de fibras de acero

Fuente: MACCAFERRI (2017).

En cuanto al comercio de las fibras, estas se pueden agregar al concreto revestido o revestido. La inclusión de encasas en el hormigón reduce el riesgo de formación de erizo, también conocido como fibra aglomerada. También se incorporan fácil y uniformemente a la mezcla de hormigón.

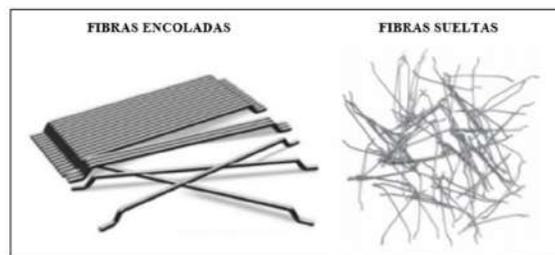


Figura 16. Fibras encoladas y sueltas de acero

Fuente: MACCAFERRI (2017).



Figura 17. Formación de erizos o aglomeración de fibras

Fuente: Badell, (2016)

Así, para mejorar el soporte a la corrosión y así asegurar la duración de las fibras, MACCAFERRI (2017) argumenta que la capa superficial en las fibras de acero podrían poseer un recubrimiento de zinc (galvanizada) si se coloca en lugares de condición agresiva (p.20).

### **Longitud de la fibra ( $L_f$ )**

El vínculo entre la longitud de las fibras y el tamaño tope del agregado grueso (TMA) es crucial, según Caballero (2017), para aumentar el rendimiento de las fibras. Algunas investigaciones indican que cuando el tamaño de las fibras son el doble de tamaño tope del hormigón, se logra un mejor resultado. Además, según la recomendación p. 19, el tamaño máximo del agregado grueso que se debe utilizar no debe exceder los 20 mm.

añette, Eguren y García (2017) afirman que una fibra muy largas causarán problemas al manipular y dará origen a que aparezca porosidad en el pavimento; y de otro modo, fibra excesivamente corta impedirán un buen anclaje entre la fibra y el hormigón, que es uno de los factores más importantes en la transmisión de tensiones (p. 36).

### **Esbeltez o ratio de la fibra ( $\lambda$ )**

La correlación entre la longitud y el diámetro de una fibra ( $L_f/d_f$ ) indica su delgadez. Cuanto más fino sea el hormigón, más eficaz será para prevenir grietas; sin embargo, es necesario que haya un límite en la longitud de la fibra para no rebabas o aglomeración de fibra en el proceso de mezcla. Esta característica afecta el comportamiento del hormigón tanto en estado fresco como endurecido.

Como se demuestra en la siguiente figura, la esbeltez también afecta la tenacidad. Específicamente, una mayor delgadez ( $L/D$ ) de la fibra da como resultado un mayor porcentaje de energía absorbida (dureza).

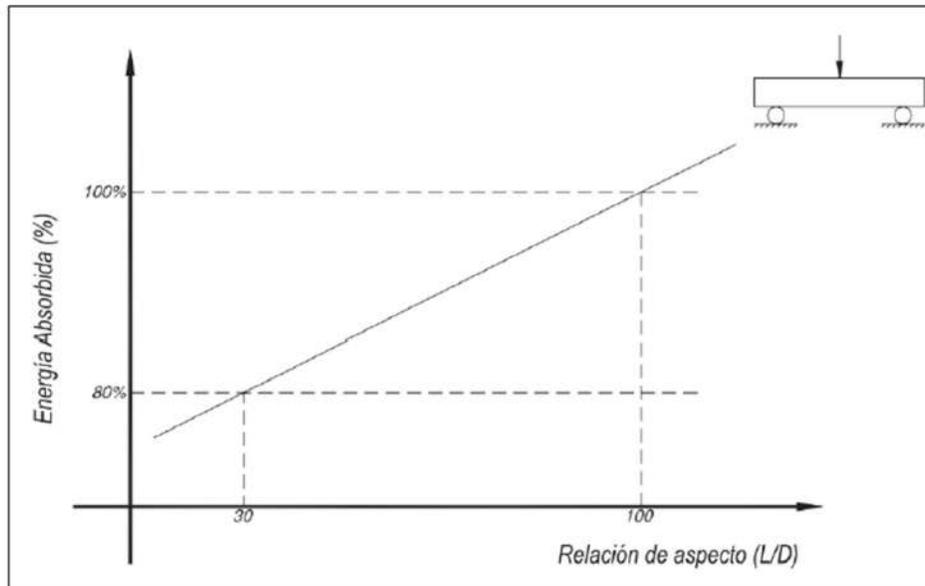


Figura 18. Gráfica de energía absorbida vs esbeltez de la fibra(L/D)

Fuente: MACCAFERRI, (2017)

### Módulo de elasticidad o módulo de Young de la fibra

Según Badell (2016), existe evidencia que respalda la idea de que el módulo elástico afecta la regulación de origen de fisura y grieta. En síntesis, se encuentra un mayor control sobre la longitud y apariencia de las fisuras cuando el módulo elástico de la fibra es más de tres veces el del hormigón.

Tipo de fibra	Resistencia a tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Gpa)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Alargamiento de rotura (%)
Acero	500 - 3000	210	7800	3.5
Acero inoxidable	2100	160	7860	3
Vidrio	2000	60	2700	3.6
Carbono	3000	200 - 500	1900	0.5
Nylon	900	4	1100	13 - 15
Polipropileno	400 - 800	5 - 25	900	8 - 20
Poliéster	700 - 900	9.2	1400	11 - 13
Concreto	5 - 8	30	2300	-

Tabla 6. Características mecánicas de las fibras

Fuente: Blanco, (2008)

El módulo de elasticidad de las fibras sintéticas, especialmente las derivadas del polipropileno, es sorprendentemente cercano al del hormigón, como ilustra la tabla anterior. Por el contrario, en comparación con el hormigón, las fibras de hierro tienen un módulo de elasticidad sustancialmente mayor. Esto implica que la adición de fibras de hierro dará como resultado un mejor manejo de las fracturas en comparación con las fibras de polipropileno.

### **Resistencia a tracción de las fibras ( $\sigma_{m\acute{a}x}$ )**

Según Cañette, Eguren y García (2017) (p. 39), la resistencia a la tracción, también conocida como tensión, se determina dividiendo la tensión máxima por el área transversal promedio de la fibra. La definición de resistencia al trazado es la carga que puede soportar una fibra cuando se estira.

Según Blanco (2008), este parámetro varía según la calidad de acero; cuando la composición química de la fibra tiene un contenido de carbono bajo o medio, su resistencia a la tracción oscila entre 400 y 1500 MPa, y cuando se aumenta el contenido de carbono, puede llegar hasta los 2000 MPa. Estas fibras están recomendadas para su uso en hormigones de alta resistencia (p.9).

En términos de materiales fibrosos, las fibras de acero tienen resistencias a la tracción entre 500 y 3000 MPa, y la fibra de polipropileno tienen resistencias a la tracción entre 400 y 800 MPa. (Blanco, 2008).

### **Dosificación de la fibra**

Las cantidades de fibra de acero normalmente oscilan entre el 0,25% y el 2% (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004). La trabajabilidad de la mezcla de concreto y la dispersión de las fibras, o el espacio entre las fibras, se reducirán si se emplean volúmenes

superiores al 2% de fibra de acero; esto requiere un diseño de mezcla específico (por ejemplo, 154).

#### **Adherencia fibra-matriz**

Según Caballero (2017), esta característica es crítica ya que las fibras agregadas adecuadamente a las mezclas de concretos inhiben la tendencia del concreto a romperse cuando surgen grietas, haciendo que el material sea más maleable. Aunque la fibra sin anclaje (fibra recta) a menudo fallan en el concreto debido a su tendencia a deslizarse, la forma de las fibras puede mejorar la adhesión con el pavimento.

#### **Propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras**

Estas propiedades dependen de diversos factores de la fibra, como la geometría, esbeltez, orientación, dentro de la distribución de la mezcla, resistencia del concreto, dimensión máxima de los agregados y adherencia fibra-concreto.

Las características mecánicas que están presentes en el hormigón cuando se adiciona fibra son:

##### ***2.2.3.2.5 Resistencia a la compresión***

Además, se puede conseguir un pequeño aumento en la resistencia a la compresión (entre 0% and 15%) con una dosis de volumen superior al 1,5% de fibras de acero, según Caballero (2017). No obstante, la adición de fibras de acero no cambia significativamente la resistencia a la compresión.

Según Armas (2016), la adición de fibras de polipropileno al hormigón da como resultado un aumento del 3% en la resistencia a la compresión a una dosis de 400 gramos por metro cúbico. Además, la evidencia estadística ha demostrado que esta contribución es irrelevante.

### 2.2.3.2.6 Resistencia a la flexión

De acuerdo a MACCAFERRI (2017), el gráfico Carga vs. se utiliza normalmente para ilustrar la variedad de resultados que pueden ocurrir a partir de pruebas de flexión en elementos de concreto a los que se les han agregado fibras. a través de la deflexión o la carga versus el gráfico. ancho de grieta.

Bajo tensiones moderadas, el hormigón se comporta de forma elástica, por lo que no se forman grietas en la muestra durante el ensayo de flexión. Pero el comportamiento del hormigón varía si se aumenta el peso más allá del punto inicial de fisuración (punto A). El número de fibras añadidas a la mezcla, así como sus características mecánicas y geométricas, afectan a esta transformación. A continuación, se ilustra cómo se comportan las curvas coincidentes:

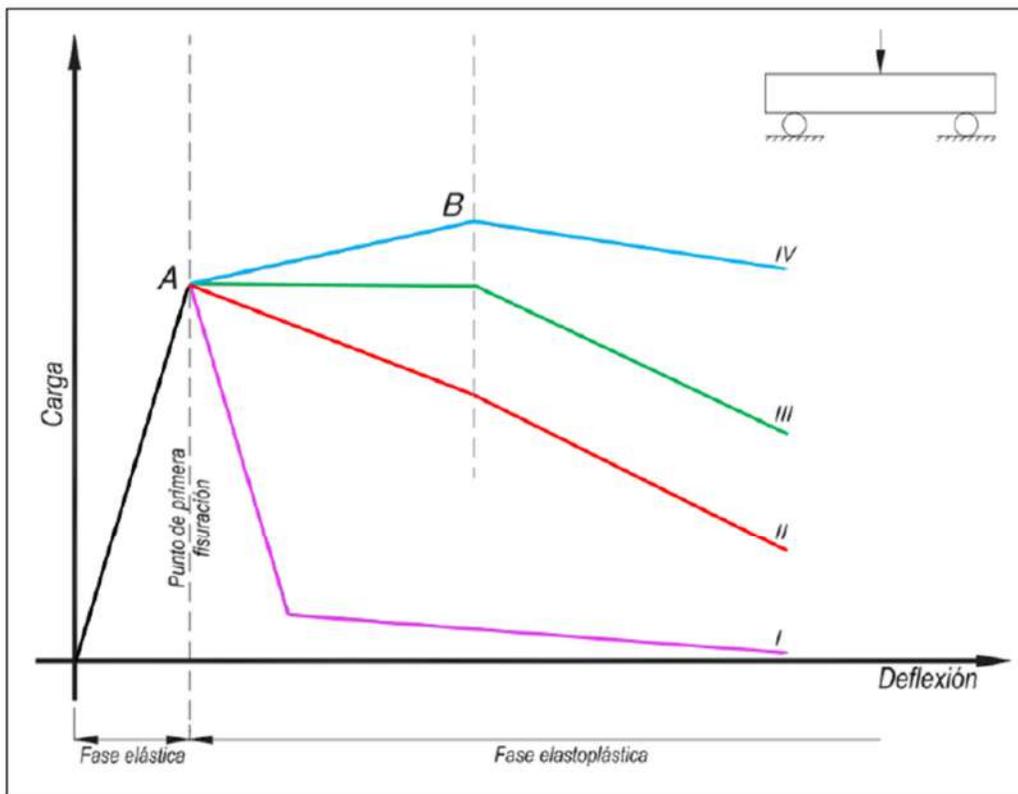


Figura 19. Comportamiento de concreto bajo ensayo de flexión

Fuente, (MACCAFERRI, 2017)

- *Curva I:* esta curva muestra cómo se comporta el hormigón cuando no se añaden fibras. Es una sustancia delicada que colapsa cuando alcanza la carga de una primera grieta (punto A).
- *Curva II:* La curva roja ilustra cómo la adición de fibras al hormigón aumenta su capacidad para absorber una fuerza determinada y hace que colapse más lentamente.
- *Curva III:* En este caso se demuestra el comportamiento de un material dúctil; La fibra post-fisuración agregada al concreto le permite tolerar desplazamientos bajo una carga continua, lo que lleva a un comportamiento plástico.
- *La Curva IV* Usando un gran desplazamiento (A-B), ilustra que el concreto con fibra adicional absorbe tensiones ligeramente superiores (p. 10).

#### **2.2.3.2.7 Ductilidad**

La capacidad de un material para tolerar deformaciones plásticas bajo la acción de una fuerza hasta romperse se conoce como ductilidad, en contraposición a fragilidad, según Badell (2016). El hormigón al que se le han añadido fibras se vuelve más dúctil. Las fibras pueden actuar como puentes para transferir tensiones de tracción gracias a las grietas del hormigón.

#### **2.2.3.2.8 Tenacidad**

La tenacidad se define como el producto o área bajo la curva carga-deflexión, que es la capacidad del elemento estructural de absorber energía antes de fallar cuando se aplica una determinada carga, como lo señala Caballero (2017). Así, en cuanto pueda absorber más energía, lo hará. Los principales factores que influyen en este atributo son la delgadez, la adherencia, el contenido y el tipo de las fibras (p. 22).

### 2.2.3.3 Ventajas y desventajas del uso de fibras

Comparadas con otros tipos de fibras, las fibras de acero son muy eficientes porque tienen un alto módulo de Young, una excelente adherencia al hormigón y una alta resistencia a la tracción. El concreto se comporta de manera más dúctil debido a que las fibras de acero tienen la capacidad de resistir cargas incluso después de la formación de fisuras. La transferencia de fuerzas de tracción a través de las fisuras creadas en el hormigón es posible gracias a las fibras de hierro, lo que ayuda a reducir o incluso prevenir la apertura de las fisuras. Esta función es especialmente beneficiosa en componentes como pisos y pavimentos rígidos, en los que se necesita la superficie resistente y continua.

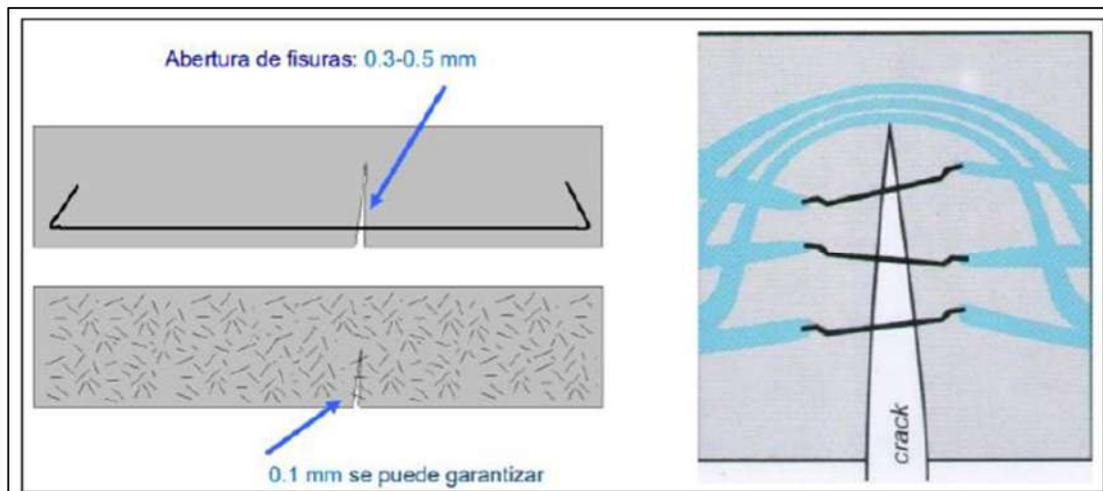


Figura 20. Mecanismo de control de propagación de fisuras

Fuente: Badell. (2016)

La figura mostrada es el resultado de un experimento de calco uniaxial hecho en la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) sobre una probeta de hormigón reforzada con fibras de hierro. Como se ve en la figura, las fibras de hierro crean puntos de sutura en el interior del hormigón, evitando la extensión de las fisuras y retrasando el colapso del material.

Así mismo, cuando se agregan fibras a la mezcla de concreto, es posible que se reduzca la trabajabilidad de la mezcla. Para contrarrestar este efecto, se recomienda el uso de un aditivo

plastificante. Este aditivo tiene la función de mejorar la consistencia del concreto y facilitar la redistribución de las fibras en la mezcla. De esta manera, se logra obtener una mezcla homogénea y adecuada para su aplicación.

Otras de las ventajas de los concretos adicionados con fibras de acero son:

- La fibra de acero garantiza un refuerzo más homogéneo en toda dirección, más tridimensional y eficaz, con respecto a los refuerzos tradicionales.
- El proceso de rehabilitación convencional con malla de hierro tiene menor dificultad, lo que disminuye los costos de horas-hombre y elimina el riesgo de colocación inadecuada del hierro, además de acortar el período de construcción.

Fibras de acero pueden ser adibidas desde el mezclador o camión; esta combinación también podría ser bombardeada.

Respecto a los beneficios de la fibra de polipropileno en el hormigón, se ha mencionado que estas pueden ayudar a disminuir la aparición de fisura en el pavimento. Además, cuando se utilizan estas fibras, se ha producido un notable aumento en la resistencia del hormigón a la compresión y flexión. Además, se ha observado que agregar fibras de polipropileno al concreto puede mejorar su calidad y durabilidad, lo que beneficia al pavimento en términos de su desempeño y vida útil.

También, Mármol (2010) señala que a diferencia de las fibras de hierro, las fibras de polipropileno son menos costosas y no tendrán problemas de oxidación. página 13.

El polipropileno tiene una baja densidad, lo que lo permite que se cubra por el concreto al vibrar, evitando la afloración a la superficie en contacto con el molde y permitiendo que la estética del elemento estructural permanezca sin cambios (Valero, 2015, p. 60).

#### 2.2.3.4 Aplicaciones de las fibras

La fibra tiene una amplia aplicación en edificios que necesitan resistir fuerzas de tracción, incluidos piso industrial, pista de aterrizaje, componente prefabricado, hormigón proyectado para operaciones mineras, túneles y obras hidráulicas, así como losas rígidas de pavimento. Según numerosas investigaciones, la adición de fibras aumenta la oposición a la flexión del hormigón. Además, se utilizan fibras para adelgazar la losa de hormigón, lo que puede contribuir a la economía y la eficiencia en las estructuras de construcción.

En referencia al concreto utilizado en pavimentos, Blanco (2008) señala que tiene ciertas características que le permiten cumplir con las necesidades de estructuras, tal como:

- -Resistencia a la fatiga: Requerida como resultado de cargas repetitivas.
- • Resistencia a la flexión-tracción: Debido a las altas tensiones provocadas por las cargas de los vehículos, la losa de pavimento de hormigón es una parte de la estructura que necesita tener una fuerte resistencia a la flexión-tracción. Para que el pavimento sea estable y duradero, estas cargas deben ser absorbidas y distribuidas eficazmente por la losa del pavimento.
- Mínima retracción: Debido a superficies amplias, la retracción se ha visto de forma cotidiana en los pavimentos, provocando la formación de fisuras al pasar de un estado fresco y un estado endurecido.
- Trababilidad: La combinación de concreto debe tener una cohesión adecuada y ser fácil de trabajar para los equipos de construcción.

## 2.3 Marco Conceptual:

- Los ingredientes esenciales del hormigón reforzado con fibras (FRC) son agregados, cementos hidráulicos y fibra discontinua. Esta fibra puede producirse a partir de materiales como aceros, vidrios y polímero orgánico (fibras sintéticas) y son apropiadas para su uso en hormigón armado (Comité ACI 544, 2002).
- Ductilidad: Se refiere a capacidad de un material de inducirse a deformación sin ocasionarse una ruptura (ACI Committee 544, 2002).
- Dosificación de fibra: El número de fibra en una unidad de volumen de matriz de hormigón. (Comité ACI 544, 2002).
- Fibras de acero: Segmentos cortos y discretos de acero, con una tamaño apropiado para se dispersar aleatoriamente in el concreto mediante procedimientos de mezcla habituales, son las fibras de acero para el refuerzo de concreto. In 2002, the ACI Committee.
- Fibras de polipropilenoEl tipo más común de fibras sintéticas son las fibras de polipropileno, que son químicamente inertes, repelentes al agua y livianas. Panarese, Tanesi, Kosmatka y Kerkhoff (2004).
- Pavimento rígido: Conocida como sub-base del pavimento rígido, esta estructura consiste in una losa de concreto hidráulico sobre la subrasante o una capa de material seleccionado. In Montejo (2002).
- Resistencia a flexión: Se refiere al mayor esfuerzo de flexión alcanzado durante una prueba de resistencia a la flexión en una muestra de concreto reforzado con fibras. (Comité ACI 544, 2002).

- Tenacidad: Alcanzar una deflexión específica se refiere al área que se encuentra bajo la curva carga-deflexión obtenida de una prueba estática en una muestra. Esta área sirve como indicador de la capacidad de un material para absorber energía. (2002, Comité ACI 544).
- Compactabilidad. Es la capacidad de compactar el hormigón cuando aún está fresco. (Pasquel, 1998).
- CBR: El CBR (California Bearing Ratio) Según el experimento MTC E 132, se conoce como el valor de resistencia o soporte del suelo, que se relaciona con el 95% de la densidad máxima seca (MDS) y una penetración de carga de 2,54 mm. En el "Manual de Carreteras; Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos", diseñado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en Perú en 2013, se encuentra esta definición.
- Las ESAL de diseño son el número previsto de aplicaciones de carga por eje estándar durante todo el período de diseño. Agregar cada carga por eje prevista en la carretera durante el período de diseño a los valores de carga por eje estándar es la forma en que un flujo de tráfico con diferentes cargas y configuraciones por eje se convierte en una cifra de tráfico para el diseño. (Reglamento Nacional de Edificación - Norma Técnica de Pavimentos Urbanos CE-010).
- Energía de deformación: Esto se debe a la trabajo realizado por las fuerzas que provocan la deformación, al incrementar la energía interna en el interior de un sólido deformable. On page two, R. Sánchez (2017).
- Espesor Efectivo: consecuencia con el método de diseño, se calcula el espesor efectivo de cada capa de un pavimento in el current al multiplicar su espesor

real por los factores de conversión correspondientes. (National Building Regulation - Technical Standard CE-010 Urban Pavements).

- Tráfico: En el período de diseño del proyecto, se determina el número de aplicaciones de carga por eje simple equivalente. (Normas Técnicas CE-010 Pavimento Urbano – Reglamento Nacional de Edificación).

## **CAPÍTULO III**

### **HIPÓTESIS**

#### **3.1 Hipótesis**

##### ***3.1.1 Hipótesis general***

- El comportamiento de los Pavimentos Ultradelgados de Concreto tiene una variación ventajosa debido al aumento de fibra de acero en Huancayo – Junín – 2023.

##### ***3.1.2 Hipótesis específicas***

- La fibra de acero reduce el grosor del Pavimento Ultra delgado de Concreto en Huancayo – Junín - 2023.
- El incremento de fibra de acero reduce el porcentaje de losa agrietada del Pavimento Ultra delgado de Concreto en Huancayo - Junín – 2023.
- La fibra de acero disminuye el costo de los Pavimentos Ultra delgado de concreto en Huancayo - Junín – 2023.

#### **3.2 Variables**

##### ***3.2.1 Definición conceptual de las variables***

###### **a) Variable independiente (X)**

**Fibras de acero**

Las fibras, son elementos delgados de longitud corta y diámetro pequeño. Estas fibras pueden clasificarse de acuerdo a su geometría en macrofibras y microfibras, y de acuerdo a su material en fibras de polipropileno, vidrio y naturales. (Sika Group, 2015).

**b) Variable dependiente (Y)**

**Pavimentos Ultradelgados de Concreto.**

UTCP, el cual permite disminuir el espesor de las losas tradicionales a partir de la optimización de su geometría de estas, considerando que la losa se apoyará sobre una base granular y partiendo de la premisa de que sobre una losa no se apoyará más de un set de ruedas. (Covarrubias, 2014).

### 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
<b>Variable independiente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fibras de acero</b></li> </ul>	<p>Las fibras, son elementos delgados de longitud corta y diámetro pequeño. Estas fibras pueden clasificarse de acuerdo a su geometría en macrofibras y microfibras, y de acuerdo a su material en fibras de polipropileno, vidrio y naturales. (Sika Group, 2015).</p>	<p><b>La variable 1: Fibras de acero se operacionaliza mediante su dimensión que es:</b>  <b>D1: Dosificación.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dosificación</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja</li> <li>• Media</li> <li>• Alta</li> </ul>	<p>Equipos de laboratorio</p>
<b>Variable Dependiente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Pavimentos Ultradelgados de Concreto.</b></li> </ul>	<p>UTCP, el cual permite disminuir el espesor de las losas tradiciones a partir de la optimización de su geometría de estas, considerando que la losa se apoyará sobre una base granular y partiendo de la premisa de que sobre una losa no se apoyará más de un set de ruedas. (Covarrubias, 2014).</p>	<p><b>La variable 2: Pavimentos Ultra delgados de concreto se operacionaliza mediante sus dimensiones que son:</b>  <b>D1: Dimensiones</b>  <b>D2: Agrietamiento</b>  <b>D3: Costo</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dimensiones</b></li> <li>• <b>Agrietamiento</b></li> <li>• <b>Costo</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espesor</li> <li>• Porcentaje de losas agrietadas</li> <li>• Costo / m2</li> </ul>	<p>Software Optipave</p> <p>Software Optipave</p> <p>Hojas de cálculo</p>

Tabla 7. Operacionalización de variables

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1 Método de investigación**

##### **4.1.1 Método general:**

Según Hernández (2014): El método científico se caracteriza por la relación de variables y su influencia en la situación estudiada, así mismo sigue aspectos metodológicos para asegurar la validez de sus resultados.

La aplicación del método científico en este caso se da por que para este estudio se seleccionaron dos variables a partir de la situación estudiada.

Bajo este argumento podemos decir que en esta aplicación se aplicó el *método científico*.

##### **4.1.2 Método específico:**

El enfoque cuantitativo de la investigación provió de la recolección de datos sobre las propiedades del concreto reforzado con fibras de acero, suelo, tránsito y clima de una zona específica, la finalidad de la cual fue analizar los resultados obtenidos para corroborar las hipótesis previamente presentadas.

## 4.2 Tipo de investigación

La investigación realizada fue de carácter básico, ya que tuvo como objetivo principal ampliar el conocimiento en lugar de generar resultados o tecnologías que beneficien directamente a la sociedad en un futuro cercano. Este tipo de investigación es fundamental para lograr beneficios socioeconómicos a largo plazo.

La investigación analizó la influencia de la adición de fibras de acero en los Pavimentos Ultradelgados de Concreto, tomando como referencia también investigaciones nacionales e internacionales, para producir y contribuir a los conocimientos sobre el uso de las fibras de acero en los pavimentos Ultradelgados de concreto.

## 4.3 Nivel de investigación

Según Hernández (2014): La investigación explicativa busca la razón de los hechos a partir del establecimiento de relaciones causa-efecto. De esta forma pueden ocuparse de la búsqueda de las causas como también del estudio de los efectos mediante la prueba de hipótesis, las conclusiones a las que esta investigación llega son un nivel confiable de conocimientos.

Esta investigación busca conocer la determinación de los efectos que tiene la adición de fibra de acero en el concreto.

De lo expuesto, nos queda claro que esta investigación es del *nivel explicativo*.

## 4.4 Diseño de investigación

Según Babbie (2014): el diseño experimental se refiere a realizar una acción y luego estudiar sus consecuencias.

Según Hernández (2014) En un diseño cuasi experimental se cambia intencionalmente al menos una variable independiente, pero en estos casos, los grupos están preformados y no se asignan al azar.

Por lo tanto para esta investigación se considera que estamos ante un diseño *Cuasi Experimental*, con post prueba únicamente y grupo de control, ya que se incluye dos grupos: uno de ellos ya conformado y que recibirá la modificación experimental, y otro grupo que no será manipulado.

A continuación, se muestra el esquema de este diseño de investigación:

**G1 x O1**

**G2 (-) O2**

G.1 : Grupo experimental.

G.2 : Grupo control.

X : Estímulo de la variable independiente.

(-): Ausencia de variable independiente.

O1 y O2 : Postprueba.

**El grupo experimental (G1)**, En este caso será el diseño de pavimentos ultradelgado de concreto con adición de fibra de acero.

**El grupo control (G2)**, Este grupo está compuesto por un diseño de Pavimento Ultradelgado de Concreto sin adicionar fibras.

**El estímulo de las variables independientes (X)**, Se refiere a la adición de fibra de acero al Pavimento delgado de concreto.

**La posprueba (O)**, Se dará en el grupo control y en los grupos experimentales, pues se va evaluar los distintos resultados.

## **4.5 Población-Muestra-Muestreo**

### **4.5.1 Población**

Es un conjunto finito o infinito de elementos con cualidades comunes sobre los cuales la investigación arrojará resultados sustanciales, según Arias (2006). Es un conjunto de elementos con características similares por lo que serán legítimas las conclusiones de la investigación, para abarcar a la población. El examen. El desafío y los objetivos del estudio sirven como límite para esto".

Todas las carreteras de bajo tráfico en Huancayo conforman la población del estudio para esta investigación.

### **4.5.2 Muestra**

Una muestra es un subconjunto de una población que se elige con el fin de examinar o cuantificar las características de la población completa, según Niño (2011). Página 55 Jr. Ica Nueva, manzana 28 en el Distrito de Huancayo, será la muestra analizada para evaluar las propiedades.

### **4.5.3 Muestreo**

Según Hernández (2014): la selección de participantes en el muestreo no probabilístico tiene uno u diversos propósitos, no pretende que los casos son representativos de la población. Por lo tanto, in este caso el muestreo no será probabilístico.

## **4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **4.6.1 Técnicas**

- Observación directa

Para Bernal (2010) este tipo de técnica de investigación es el que cuenta con mayor credibilidad, debido a que la información se obtiene de manera directa, siempre en cuando se realice un proceso sistemático de obtención de datos.

- Análisis documental

Para Bernal (2010) esta técnica tiene como finalidad analizar libros, artículos o revistas y obtener ideas relevantes para la investigación.

#### **4.6.2 Instrumentos**

Según Grinnell, Williams y Knrau (2009), una herramienta de medición adecuada es aquella que registra datos observables que reflejan con precisión los conceptos o variables en los que está pensando el investigador.

Los formatos estandarizados para la recolección de datos son los siguientes:

- Análisis Granulométrico Por Tamizados MTC E 107-2016.
- Conocer la de humedad de un suelo (MTC E 108).
- Conocer el Valor Relativo De Soporte – CBR MTC E 132.
- Estudio De Tráfico Vial - R.D. N° 10 – 2014 – MTC/14.
- Temperatura Media.
- Cálculo De Resistencia Residual Del Concreto ASTM C 1399-10(2015).
- Software Optipave
- Equipos de laboratorio
- Hojas de cálculo

### **4.6.3 Validez y confiabilidad del instrumento de investigación**

#### **4.6.3.1 Validez**

La validez, en términos generales, es el grado en que un instrumento mide verdaderamente la variable para la que está diseñado. Sampieri (2018).

Tres expertos en la materia evalúan un formato de validación como parte de un procedimiento de validación de contenido que valida herramientas de investigación. Este se califica mediante la siguiente tabla y se revisa en base a los Items correspondientes, a continuación, se muestran las fichas de validación de contenido de instrumentos:

**FICHA DE VALIDACION DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**

TESIS: "PAVIMENTOS ULTRA DELGADOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO. HUANCAYO - JUNÍN - 2023"

**1. DATOS PERSONALES DEL EXPERTO**

Apellidos y Nombres: AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA

Grado Académico: SUPERIOR

DNI N°: 70751855

Registro CIP: 295997

**2. DATOS PERSONALES DEL TESISISTA**

Apellidos y Nombres: Bach. RIVAS LOZANO LIZARDO STEVEN

**3. INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN**

Análisis granulométrico de los agregados, determinación de contenido de humedad, Estudio de tráfico vial, Temperatura ambiental y precipitaciones, Ensayo de resistencia residual en el concreto, Software Optipave 2.0.

**4. ASPECTOS A EVALUAR**

Dimensiones	Indicadores	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
		0% - 20%	21% - 40%	41% - 60%	61% - 80%	81% - 100%
Claridad	Esta formulado con lenguaje adecuado				x	
Objetividad	Esta expresado con conductas observadas					x
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología				x	
Organización	Existe una organización lógica del instrumento					x
Suficiencia	Valora los aspectos en cantidad y calidad				x	
Intencionalidad	Adecuado para cumplir con los objetivos					x
Consistencia	Basado en el aspecto teórico científico del tema de estudio				x	
Coherencia	Entre los índices, indicadores y las dimensiones					x
Metodología	La estrategia responde al propósito del estudio					x
Conveniencia	Genera nuevas pautas para la investigación y construcción de teorías					x

**5. Opinión de aplicabilidad**

Promedio de valoración	82 %
------------------------	------

Lugar y fecha	Huancayo. Octubre 2023
---------------	------------------------



ING. NELFA ESTRELLA AYUQUE ALMIDON

**FICHA DE VALIDACION DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**

TESIS: "PAVIMENTOS ULTRA DELGADOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO. HUANCAYO - JUNÍN - 2023"

**1. DATOS PERSONALES DEL EXPERTO**

Apellidos y Nombres: MENDOZA VARGAS BORIS

Grado Académico: SUPERIOR

Registro CIP: 251554

**2. DATOS PERSONALES DEL TESISTA**

Apellidos y Nombres: Bach. RIVAS LOZANO LIZARDO STEVEN

**3. INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN**

Análisis granulométrico de los agregados, determinación de contenido de humedad, Estudio de tráfico vial, Temperatura ambiental y precipitaciones, Ensayo de resistencia residual en el concreto, Software Optipave 2.0.

**4. ASPECTOS A EVALUAR**

Dimensiones	Indicadores	Mu y baja	Baja	Moderada	Alta	Mu y alta
		0% - 20%	21% - 40%	41% - 60%	61% - 80%	81% - 100%
Claridad	Esta formulado con lenguaje adecuado				x	
Objetividad	Esta expresado con conductas observadas					x
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					x
Organización	Existe una organización lógica del instrumento					x
Suficiencia	Valora los aspectos en cantidad y calidad				x	
Intencionalidad	Adecuado para cumplir con los objetivos					x
Consistencia	Basado en el aspecto teórico científico del tema de estudio				x	
Coherencia	Entre los índices, indicadores y las dimensiones					x
Metodología	La estrategia responde al propósito del estudio					x
Conveniencia	Genera nuevas pautas para la investigación y construcción de teorías					x

**5. Opinión de aplicabilidad**

Promedio de valoración	84 %
------------------------	------

Lugar y fecha	Huancayo. Octubre 2023
---------------	------------------------

  
**MENDOZA VARGAS BORIS VALERO**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP Nº 251554

**FICHA DE VALIDACION DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**

TESIS: "PAVIMENTOS ULTRA DELGADOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO. HUANCAYO - JUNÍN - 2023"

**1. DATOS PERSONALES DEL EXPERTO**

Apellidos y Nombres: RIVAS LOZANO CARMEN ROSARIO

Grado Académico: SUPERIOR

DNI N°: 40059882

Registro CIP: 162343

**2. DATOS PERSONALES DEL TESISISTA**

Apellidos y Nombres: Bach. RIVAS LOZANO LIZARDO STEVEN

**3. INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN**

Análisis granulométrico de los agregados, determinación de contenido de humedad, Estudio de tráfico vial, Temperatura ambiental y precipitaciones, Ensayo de resistencia residual en el concreto, Software Optipave 2.0.

**4. ASPECTOS A EVALUAR**

Dimensiones	Indicadores	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
		0% - 20%	21% - 40%	41% - 60%	61% - 80%	81% - 100%
Claridad	Esta formulado con lenguaje adecuado					x
Objetividad	Esta expresado con conductas observadas					x
Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					x
Organización	Existe una organización lógica del instrumento					x
Suficiencia	Valora los aspectos en cantidad y calidad				x	
Intencionalidad	Adecuado para cumplir con los objetivos					x
Consistencia	Basado en el aspecto teórico científico del tema de estudio				x	
Coherencia	Entre los índices, indicadores y las dimensiones					x
Metodología	La estrategia responde al propósito del estudio					x
Conveniencia	Genera nuevas pautas para la investigación y construcción de teorías					x

**5. Opinión de aplicabilidad**

Promedio de valoración	86 %
------------------------	------

Lugar y fecha	Huancayo. Octubre 2023
---------------	------------------------

  
 SMART INGENIERO SAC  
 Carmen Rosario Rivas Lozano  
 GERENTE GENERAL

### 4.6.3.2 Confiabilidad

En el procesamiento de datos se utilizará la metodología del Alfa de Cronbach para medir la confiabilidad y poder validar las propuestas elaboradas. La confiabilidad se refiere a la confianza que se tiene a las guías y protocolos propuestos, los cuales asegurarán, de acuerdo a una repetición constante, resultados técnicamente válidos. La metodología del Alfa de Cronbach se orienta hacia la consistencia interna de una prueba. El coeficiente alfa de Cronbach puede tomar valores entre 0 y 1, donde: 0 significa confiabilidad nula y 1 representa confiabilidad total. Para calcular el coeficiente Alfa de Cronbach se utiliza la varianza de los resultados de las fichas de validación según la escala definida por cada uno de los expertos que validaron y para su cálculo se utiliza la siguiente expresión:

$$\alpha = \left[ \frac{K}{K-1} \right] * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^K S_i^2}{S_t^2} \right]$$

Donde:

$\sum_{i=1}^K S_i^2$  : es la suma de varianzas de cada aspecto a validar.

$S_t^2$  : es la varianza del total de filas (puntaje de los expertos).

K: es el número de aspectos a validar.

ITEM	Dimensiones	Indicadores	ITEM	Dimensiones	Indicadores
1	Claridad	¿Esta formulado con lenguaje técnico?	5	Suficiencia	¿Valora los aspectos en cantidad y calidad?
2	Respaldo Normativo	¿Esta respaldado por alguna norma?	6	Intencionalidad	¿Adecuado para cumplir con los objetivos?
3	Actualidad	¿Adecuado al avance de la ciencia y tecnología?	7	Consistencia	¿Basado en el aspecto teórico científico del tema de estudio?
4	Organización	¿Existe una organización que respalda el instrumento?			

Tabla 8. Items para cálculo de confiabilidad

Fuente: Elaboración propia

ENCUESTADOS;	ITEMS							SUMA
	1	2	3	4	5	6	7	
1. AYUQUE ALMIDON NELFA ESTRELLA	4	5	5	5	4	5	4	32
2. MENDOZA VARGAS BORIS	3	4	4	5	3	5	5	29
3. RIVAS LOZANO CARMEN ROSARIO	4	5	5	5	4	5	4	32
VARIANZA	0.22	0.22	0.22	0.00	0.22	0.00	0.22	
SUMATORIA DE VARIANZAS	1.11							
VARIANZA DE LA SUMA DE LOS ITEMS	2							
<b><math>\alpha</math></b>	<b>0.81</b>							

Tabla 9. Cálculo de CONfiabilidad

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, y de acuerdo a la clasificación de acuerdo a rangos, nos encontramos ante una confiabilidad muy alta.

RANGOS	MAGNITUD
0.81 a 1.00	Muy Alta
0.60 a 0.80	Alta
0.41 a 0.60	Moderada
0.21 a 0.40	Baja
0.01 a menos	Muy baja

Tabla 10. Rango de confiabilidad de instrumentos

Fuente: (Reloso Chacin, 2021)

#### 4.6.3.3 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Según Giraldo Huertas (2016), procesar los datos tiene como objetivo producir datos categorizados y estructurados que ayuden al investigador a examinar la información con base al objetivo, teorías y pregunta de investigación planteada.

Tras la recopilación de datos, el software Optipave los interpretará y producirá información como el espesor del pavimento y la proporción de losas agrietadas, entre otras cosas. Aquí está la información que el software necesita para obtener los resultados deseados: Espesor del pavimento y proporción de losas fisuradas:

<b>DISEÑO</b>
Vida de Diseño
Largo Losa (m)
Tipo de Borde
Losa Exterior con Sobreancho
Barras de Transferencia de Carga
Dren Lateral
Interfaz Pavimento-Base
IRI Inicial de Construcción (m/km)
Porcentaje Maximo de Losas Agrietadas Admisible
IRI Máximo Permitido (m/Km)
Escalonamiento Promedio Máximo Permitido (mm)
Confiability de Diseño

*Tabla 11. Variables de diseño*

*Fuente: TCPavements (2018)*

<b>TRÁFICO</b>
Método de Análisis de Tráfico
Clasificación del Tráfico
Tasa de Crecimiento Anual de Tráfico
Distancia Huella a Línea de Demarcación (cm)
Desv. Estándar de la Distribución Lateral del Tráfico (cm)
TMDA Inicial (Ambos Sentidos) Solo Vehículos Relevantes
Porcentaje de Tráfico en Dirección de Diseño
Porcentaje de Tráfico en Pista de Diseño
Porcentaje de Tráfico en Verano

*Tabla 12. Variables de tráfico*

*Fuente: TCPavements (2018)*

<b>CONCRETO</b>
Tipo de Ensayo de Resistencia
Edad de Ensayo
Resistencia (Mpa)
Confiabilidad Diseño de Hormigón
Desviación Estándar Diseño de Hormigón (Mpa)
Aumento Resistencia 29 a 90 Días
Módulo de Elasticidad (Mpa)
Peso Específico (Kg/cm3)
Módulo de Poisson
Coefficiente de Dilatación Térmico (1/°C)
Retracción a 365 Días (micr)
Contenido de Aire
Relación Agua/Cemento
Resistencia Final (Mpa)
Fibra Estructural
Método Calculo Fibra
Resistencia Residual (Mpa)

*Tabla 13. Variables de concreto*

*Fuente: TCPavements (2018)*

<b>SUELO</b>
<b>N° Capas</b>
Resistencia a la Erosión
Coefficiente de fricción Pavimento-Base
Porcentaje Material Fino
<b>Subrasante</b>
Módulo Resiliente Invierno (Mpa)
Módulo Resiliente Verano (Mpa)
Módulo Poisson
<b>Base</b>
Módulo Resiliente (Mpa)
Módulo de Poisson
Espesor (mm)

*Tabla 14. Variables de suelo*

*Fuente: TCPavements (2018)*

<b>CLIMA</b>
Pais
Zona
Gradiente Equivalente de Construcción (°C)
Temperatura Media Invierno (°C)
Temperatura Media Verano (°C)
Temperatura Fraguado del Hormigón (°C)
N° de Días al año Con Precipitaciones
Índice de Congelamiento de la Base

*Tabla 15. Variables de clima*

*Fuente: TCPavements (2018)*

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS**

#### **5.1 Descripción del diseño tecnológico**

La metodología TCP, permite reducir los espesores de pavimentos tradicionales a través del principio de disminuir los esfuerzos sobre losas al reducir las dimensiones de los paños y evitando que estas sean solicitadas a más de un set de ruedas de un vehículo. La patente chilena también indica que es posible seguir reduciendo el espesor de los pavimentos TCP al adicionar fibras estructurales que tengan una resistencia residual de 1 Mpa en el concreto.

De esta forma se recolectaron datos necesarios de suelo, clima, tráfico y en el caso del pavimento planteó el incremento de fibras de acero en dos distintas dosificaciones de manera que se pueda saber en qué porcentaje de fibra se cumple con el requisito de una resistencia residual de 1 Mpa. y cuál era el resultado en cuanto a espesor y porcentaje de losas agrietadas para los distintos casos. Después de la investigación se logró definir los resultados para las distintas proporciones de fibras adicionadas al concreto y se llevó a cabo un análisis para el proceso de conclusiones y recomendaciones.

## **5.2 Descripción de resultados**

### **5.2.1 Variables de entrada para el diseño**

#### **5.2.1.1 Características de la sub rasante**

El objetivo de este procedimiento es la estimación de la propiedad física y mecánica del material dentro de la subrasante.

Para determinar el número de tajos dentro del tramo Jr. Ica Nueva bloque 28 se utilizó el manual de carreteras, que establece que se realizará un tajo/km con una profundidad de 1,50 para un IMDA de una vía < 200 veh/día. M. Así operamos con un tajo denominado C-01; es importante señalar que esta fosa debe cumplir con los requisitos mínimos de una subrasante según el manual de suelos y pavimentos. "Los suelos con  $CBR \geq 6\%$  que se encuentran a más de 60 cm por debajo del nivel superior de la subrasante deben ser suelos adecuados", según el Manual de Carreteras.

Se realizaron numerosas pruebas en el laboratorio de caucho, incluido el análisis de la distribución del tamaño de las partículas en una demostración utilizando el método de tabulación MTC E 107-2016. Los resultados son mostrados seguidamente:

TAMICES		PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
puig.	mm					
3"	76.20					Muestra Total 2172.3 g
2 1/2"	63.50					Tamaño Máximo 1 1/2"
2"	50.80					% Gravas 59.4
1 1/2"	38.10				100.0	% Arenas 28.3
1"	25.40	209.4	9.6	9.6	90.4	M.F. 5.11
3/4"	19.05	220.4	10.1	19.8	80.2	
1/2"	12.70	401.1	18.5	38.2	61.8	Pasa N° 200 (MTC E 137) 12.3%
3/8"	9.53	153.4	7.1	45.3	54.7	
N° 4	4.75	306.3	14.1	59.4	40.6	% Humedad (MTC E 108) 6.4 %
N° 8	2.36	186.00	8.6	68.0	32.0	
N° 10	2.00	35.90	1.7	69.6	30.4	Límite Líquido (MTC E 110) NP
N° 16	1.18	91.40	4.2	73.8	26.2	Límite Plástico (MTC E 111) NP
N° 20	0.85	46.40	2.1	76.0	24.0	Índice Plástico (MTC E 111) NP
N° 30	0.60	40.00	1.8	77.8	22.2	Clasificación SUCS
N° 40	0.42	42.70	2.0	79.8	20.2	(ASTM D 2487-11) GM - Grava limosa
N° 50	0.30	44.50	2.0	81.8	18.2	CLASIFIC. AASHTO
N° 60	0.25	16.60	0.8	82.6	17.4	(ASTM D 3282-09) A - 1 - a ( 0 )
N° 80	0.18	37.80	1.7	84.3	15.7	
N° 100	0.15	16.60	0.8	85.1	14.9	D19 : 0.06 mm Cu : 197.45
N° 140	0.10	31.20	1.4	86.5	13.5	D30 : 1.93 mm Cc : 5.17
N° 200	0.074	26.20	1.2	87.7	12.3	D60 : 11.91 mm
Fondo		266.40	12.3	100.0		

Tabla 16. Granulometría-Calicata 1

Fuente: Elaboración propia

El objetivo de la prueba era recopilar datos sobre las dimensiones de la variabilidad de las partículas del suelo para poder clasificarlas según su tamaño. Se crearon tres categorías (grava, arena y fina) a partir de los hallazgos de la muestra y se documentaron los resultados. proporciones coincidentes.

- **ÍNDICE DE PLASTICIDAD**

A continuación se muestran los resultados de los ensayos de límite plástico, límite líquido y índice de plasticidad:

<b>% Humedad (MTC E 108)</b>	<b>6.4 %</b>
<b>Límite Líquido (MTC E 110)</b>	<b>NP</b>
<b>Límite Plástico (MTC E 111)</b>	<b>NP</b>
<b>Índice Plástico (MTC E 111)</b>	<b>NP</b>

Tabla 17. Índice de plasticidad

Fuente: Elaboración propia

- **CLASIFICACIÓN DE SUELO:**

Luego de haber sido determinado los parámetros anteriores, se puede clasificar el tipo de suelo de acuerdo a los sistemas convencionales como se muestra en el siguiente cuadro:

Clasificación SUCS (ASTM D 2487-11)	GM - Grava limosa
CLASIFIC. AASHTO (ASTM D 3282-09)	A - 1 - a ( 0 )

Tabla 18. Clasificación de suelo

Fuente: Elaboración propia

- **DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (MTC E 108):**

Recipiente	V - 7
Peso del recipiente (g)	202.5
Peso de suelo húmedo + recip. (g)	985.4
Peso de suelo seco + recipiente (g)	938.2
Peso del agua (g)	47.2
Peso del suelo seco (g)	735.7
Humedad (w%)	6.4
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.4 %

Tabla 19. Contenido de humedad

Fuente: Elaboración propia

- **MÁXIMA DENSIDAD SECA:**

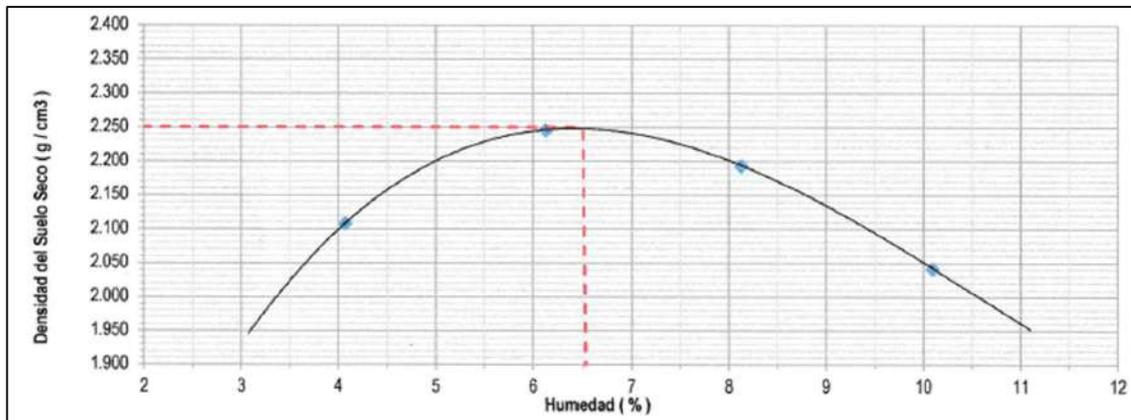


Figura 21. Determinación de Máxima Densidad Seca

Fuente: Elaboración propia

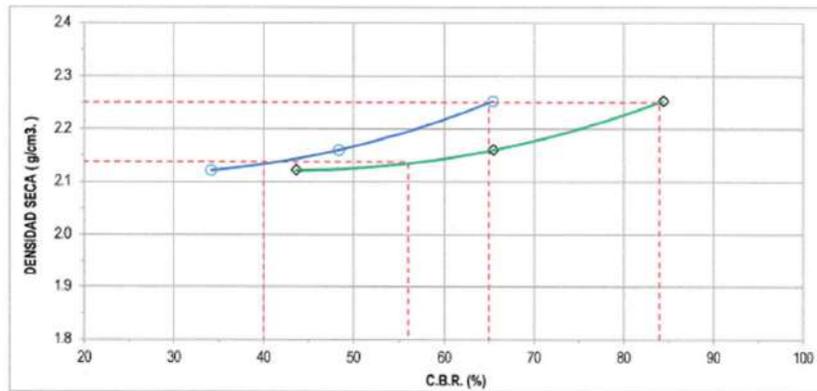
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN		PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		Optimo Contenido Humedad (OCH)	6.50 %
N° de capas	5	Retenido Tamiz 3/4"	17.2 %	Máxima Densidad Seca (MDS)	2.250 gr/cm <sup>3</sup>
Peso del pisón (manual)	4.52 Kg	Retenido Tamiz 3/8"	29.2 %		
Altura de caída del pisón	45.70 cm	Retenido Tamiz N°04	39.4 %		
Número de golpes por capa	56	Pasa Tamiz N°04	60.6 %		
Energía de compactación	27.400 Kg-cm/cm <sup>3</sup>	Método de compactación	C		

Tabla 20. Contenido de humedad

Fuente: Elaboración propia

• **DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE – CBR MTC E 132**

Para evaluar la capacidad de carga de los suelos y determinar su resistencia para el diseño del pavimento, se lleva a cabo un procedimiento de CBR. Los resultados obtenidos de la demostración son los siguientes:



	ENERGÍA DE COMPACTACIÓN			VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.				
	Em	Ei	Es					
N° golpes	55	26	12	Al 100 % de M.D.S.	0.1"	65.00%	0.2"	84.00%
DENS. SECA	2.252	2.160	2.121					
C.B.R. 0.1"	65.43	48.36	34.14	Al 95 % de M.D.S.	0.1"	40.00%	0.2"	56.00%
C.B.R. 0.2"	84.39	65.43	43.62					

Tabla 21. Contenido de humedad

Fuente: Elaboración propia

A partir del CBR se correlaciona de acuerdo a la “Guidelines for Use of HMA Overlays to Rehabilitate PCC Pavements” y se calcula el Módulo Resiliente (Mpa).

• **Resistencia a la Erosión:**

Clase	Tipo de Material
1	(a) Hormigón pobre con 8 % de cemento o con resistencia a compresión de 14 Mpa a 28 días. (b) Mezcla de Concreto Asfáltico en caliente con 6% de cemento asfáltico.
2	(a) Base granular tratada con 5% de cemento y elaborada en planta central, o con resistencia a compresión a 28 días entre 10 y 14 MPa. (b) Base granular con 4% de asfalto.
3	(a) Base granular tratada con 3,5% de cemento y elaborada en planta central, o con resistencia a compresión a 28 días entre 5 y 10 MPa. (b) Base granular con 3% de asfalto y que pasa el ensayo de stripping.
4	Base granular de material triturado con graduación densa y agregados de alta calidad.
5	Suelos no tratados (Losa colocada sobre subrasante preparada /compactada)

Tabla 22. Resistencia a la erosión

Fuente: NCHRP

**5.2.1.2 Estudio de tráfico vial (Tasa de crecimiento)**

Tras la estandarización y consolidación de los datos obtenidos de los conteos, se obtuvieron las estadísticas del volumen de tránsito de cada uno de los subtramos de la vía, desglosadas por día, tipo de vehículo, sentido y datos combinados de ambos sentidos.

**Índice Medio Diario semanal (IMDS)**

El valor de tráfico promedio por día obtenidos en campo se otorgan en el índice Medio Diario semanal:

RESUMEN DEL VOLUMEN DE TRAFICO PROMEDIO DE SALIDA Y ENTRADA																				
Proyecto:		PAVIMENTOS ULTRADELGADOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO. HUANCAYO - JUNÍN - 2023*																		
Tramo		1														Ubicación		R. ICA CUADRA 28		
Cod Estación		E - 1														Sentido		AMBOS		
Estación		0														Día		D el 03/12/2023 AL 09/12/2023		
SENTIDO	AUTO	STATION	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMON			SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL
			WAGON	PICK UP	PANEL		COMBI RURAL	2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	
ENTRADA	32	4	2	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
SALIDA	31	4.86	3	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46
AMBOS	63	9	5	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90

Tabla 23. Clasificación vehicular promedio

Fuente: Elaboración propia

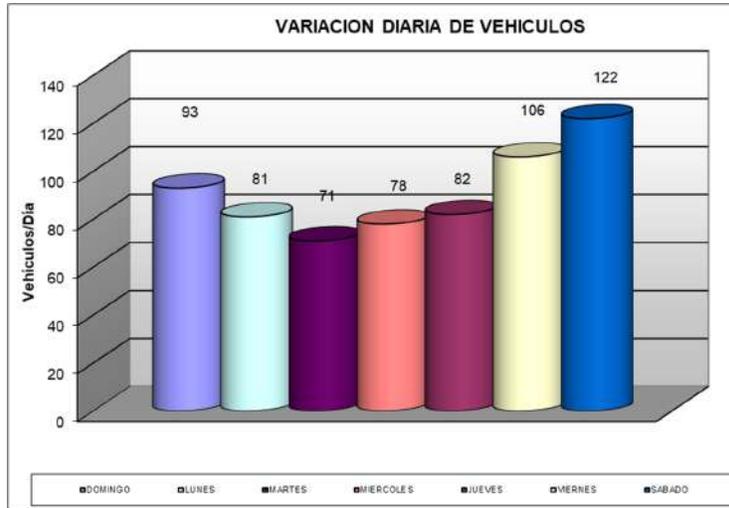


Figura 22. Variación Diaria

Fuente: Elaboración propia

### Índice Medio diario anual

Para determinar los factores de corrección estacional se utilizó el Peaje de Chacapampa por ser el más próximo al área del proyecto y el mes en el que se realizó el estudio es diciembre.

Fc Veh. Ligeros =	1.021519
Fc Veh. Pesados =	1.060132

Con las condiciones expuestas determina el Índice promedio por día Anual (IMDa) Primero para el año del 2023, es decir el año actual

DIA	AUTO	CAMIONETAS				MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYLER				TRAYLERS			
		WAGON	PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
IMDA - 2023	64	9	5	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
%	69.6	9.8	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	VEHICULOS LIGEROS					VEHICULOS PESADOS													

Tabla 24. Índice Medio Diario Anual para el año 2023

Fuente: Elaboración propia

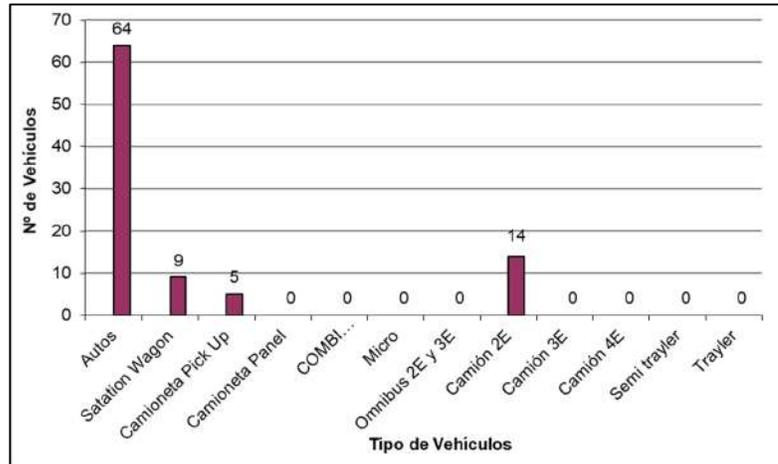


Figura 23. Índice Medio Diario Anual para el año 2023

Fuente: Elaboración propia

Según el manual de carreteras, asumiendo una fase de diseño y construcción de dos años, es fundamental predecir el IMDa para 2025, que sería el año en que el pavimento entre en operación. El aumento del tráfico se puede calcular utilizando una fórmula de progresión geométrica para los componentes del tráfico de vehículos de pasajeros y de carga:

$$\text{Ecuación 7: } T_{on} = T_o(1 + r)^{n-1}$$

En la que:

Ton = Tránsito proyectado al año “n” en veh/día

To= Tránsito actual (año base o) en veh/día

N= Número de años del periodo de diseño

r= Tasa anual del crecimiento de tránsito

Para el caso en estudio se cogen las tasas de crecimiento de la región Junín y un tiempo de 2 años para estudio y ejecución del proyecto:

Tasa anual de crecimiento Vehículo livianos	r:	2.04%
Tasa anual de crecimiento Vehículo Pesados	r:	2.84%
Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años)	n:	2.00

Tabla 25. Parámetros para el cálculo de IMDA al año 2025

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el Índice Medio Diario Anual (IMDa) al año 2025

Índice Medio Diario Anual al 2025																											
AÑO	AUTO	STATION			CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION				SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL			
		WAGON	PICK UP	PANEL	0	2E	>=3E		2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3								
IMDA - 2025	65	9	5	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94

Tabla 26. Cálculo IMDa al año 2025

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES

Las pautas de diseño de pavimentos establecen que el tráfico significativo de autobuses y camiones es la demanda más importante a considerar. El medidor de Eje Equivalente (EE), que mide el deterioro del pavimento causado por un solo eje de dos ruedas convencionales cargadas con 8,2 toneladas de peso y neumáticos a una presión de 80 lbs/in<sup>2</sup>, se utiliza para cuantificar el impacto del tráfico.

El grado de daño que varios tipos de ejes de vehículos pesados causan a la estructura del pavimento está representado por el Eje Equivalente (EE), que es factor de equivalencias. Según las definiciones de AASHTO, estas variables se utilizan para determinar el impacto destructivo de diversas cargas de vehículos en el estudio de diseño de pavimentos.

Conjunto de Eje (n)	Nomenclatura	Nº de Neumáticos	Gráfico
EJE SIMPLE (Con Rueda Simple)	1RS	02	
EJE SIMPLE (Con Rueda Doble)	1RD	04	
EJE TANDEM (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
EJE TANDEM (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
EJE TRIDEM (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

Tabla 27. Nomenclatura y tipos de Ejes

Fuente: Elaboración propia

Con las cantidades de IMDa conseguida se calcula el Eje Equivalente para cada clase de movil:

TIPO DE VEHÍCULO			IMDA	TIPO EJE	NUMERO DE LLANTAS	CARGA EJE TN	E. E. P. RÍGIDO	E. E. X IMDA P. RÍGIDO
			2025	TABLA				
VEHÍCULOS LIGEROS		Autos	65	SIMPLE	2	1	0.00043639	0.02849709
			65	SIMPLE	2	1	0.00043639	0.02849709
		S. Wagon	9	SIMPLE	2	1	0.00043639	0.00400740
			9	SIMPLE	2	1	0.00043639	0.00400740
		Pick Up	5	SIMPLE	2	1	0.00043639	0.00222634
			5	SIMPLE	2	1	0.00043639	0.00222634
CAMIÓN		2E	14	SIMPLE	2	7	1.27283418	18.32520221
			14	SIMPLE	4	11	3.33482627	48.01204027

Tabla 28. Cálculo de Ejes equivalentes por tipo de vehículo

Fuente: Elaboración propia

## CÁLCULO DE NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TON

Durante el diseño, se empleará la expresión siguiente por tipo de movil para calcular el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 ton, de acuerdo con el Manual de Carreteras. El resultado final será la sumatoria de los diferentes tipos de vehículos pesados encubiertos:

$$\text{Nrep de EE}_{8.2 \text{ ton}} = \sum [\text{EE}_{\text{día-carril}} \times \text{Fca} \times 365]$$

Cálculo del factor FCA:

$$\text{Ecuación 8. Factor} = \frac{=(1+r)^n - 1}{n}$$

Donde:

R: Tasa anual de crecimiento

N: Periodo de diseño

$$Factor = \frac{=(1+0.0284)^{20}-1}{0.0284} = 26.43$$

De esta manera, y con los datos ya obtenidos se procede a calcular el ESAL.

Pavimento Rígido		
Tasa anual de crecimiento Vehículos pesados	r:	2.84%
Tiempo de vida útil de pavimento (años)	n:	20
Factor FCA Vehículos pesados Factos Fca	Fca	26.43
Factor direccional*Factor Carril(Fd*Fc)	Fc*Fd	0.5
Número derepeticiones de ejes equivalentes (ESAL) #REE = 365 * (ΣEEXIMDa)*Fd*Fc*Fca	ESAL	<b>320298.4205</b>

Tabla 29. Cálculo de ESAL

Fuente: Elaboración propia

**ESAL : 320 299**

### 5.2.1.3 Características del clima (Temperatura ambiental y precipitaciones)

#### Días de Precipitación al año

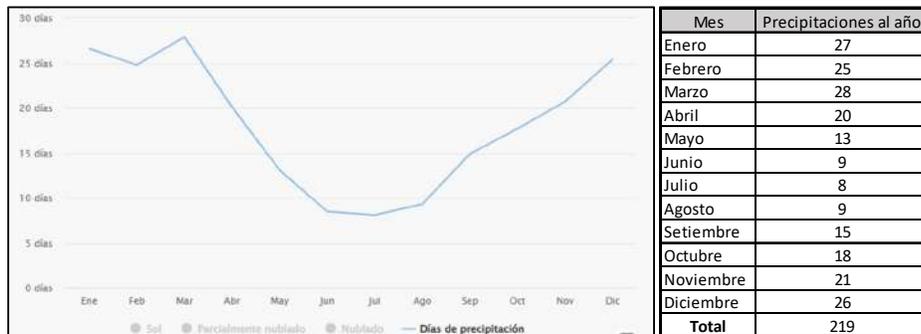


Figura 24. Días de precipitación al año

Fuente: Meteoblue

## Temperatura Media

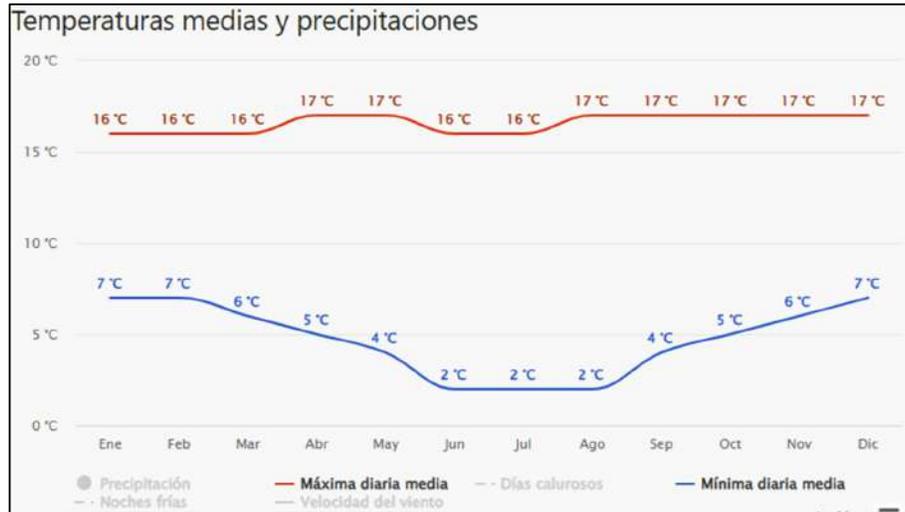


Figura 25. Temperatura media

Fuente: Meteoblue

Mes	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Temperatura Media
Enero	7	16	11.5
Febrero	7	16	11.5
Marzo	6	16	11.0
Abril	5	17	11.0
Mayo	4	17	10.5
Junio	2	16	9.0
Julio	2	16	9.0
Agosto	2	17	9.5
Setiembre	4	17	10.5
Octubre	5	17	11.0
Noviembre	6	17	11.5
Diciembre	7	17	12.0

Tabla 30. Cálculo de ESAL

Fuente: Elaboración propia

Temperatura Media Invierno °C : 9.66

Temperatura Media Verano °C : 11.33

#### 5.2.1.4 Propiedades del concreto

##### Resistencia a compresión y flexo tracción

Con base en la clasificación de la vía de estudio, que resultó tener menos de 5.000.000 de ejes equivalentes, la tabla 14.7 del Manual de Carreteras de 2018 establece que la resistencia mínima a la tracción a la flexión ( $M_r$ ) y la resistencia mínima a la compresión equivalente ( $F'c$ ) del hormigón, respectivamente, debe ser de 40 kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

RANGOS DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE	RESISTENCIA MÍNIMA A LA FLEXOTRACCIÓN DEL CONCRETO ( $M_r$ )	RESISTENCIA MÍNIMA EQUIVALENTE A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO ( $F'c$ )
$\leq 5'000,000$ EE	40 kg/cm <sup>2</sup>	280 kg/cm <sup>2</sup>
$> 5'000,000$ EE $\leq 15'000,000$ EE	42 kg/cm <sup>2</sup>	300 kg/cm <sup>2</sup>
$> 15'000,000$ EE	45 kg/cm <sup>2</sup>	350 kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 31. Resistencia a la compresión y flexo tracción recomendada

Fuente: Manual de carreteras(2018)

##### Confiabilidad de la Mezcla

Para cuantificar la variabilidad del material y servir como indicador del elemento de seguridad del hormigón, se introdujo la confiabilidad. Debido a la clasificación del tráfico como Tipo de Tráfico (Tp2), se asumió una confiabilidad del 75%, de acuerdo con los datos establecidos en la Tabla 14.5 del Manual de Tráfico (2018).

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)	DESVIACIÓN ESTANDAR NORMAL (Z <sub>R</sub> )
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T <sub>P0</sub>	100,000	150,000	65%	-0.385
	T <sub>P1</sub>	150,001	300,000	70%	-0.524
	T <sub>P2</sub>	300,001	500,000	75%	-0.674
	T <sub>P3</sub>	500,001	750,000	80%	-0.842
	T <sub>P4</sub>	750,001	1,000,000	80%	-0.842
Resto de Caminos	T <sub>P5</sub>	1,000,001	1,500,000	85%	-1.036
	T <sub>P6</sub>	1,500,001	3,000,000	85%	-1.036
	T <sub>P7</sub>	3,000,001	5,000,000	85%	-1.036
	T <sub>P8</sub>	5,000,001	7,500,000	90%	-1.282
	T <sub>P9</sub>	7,500,001	10'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P10</sub>	10'000,001	12'500,000	90%	-1.282
	T <sub>P11</sub>	12'500,001	15'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P12</sub>	15'000,001	20'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P13</sub>	20'000,001	25'000,000	90%	-1.282
	T <sub>P14</sub>	25'000,001	30'000,000	90%	-1.282
T <sub>P15</sub>		>30'000,000	95%	-1.645	

Tabla 32. Confiabilidad de la mezcla

Fuente: Manual de carreteras(2018)

### Desviación Estándar de Diseño

Esta desviación es parte del proceso de fabricación del hormigón. Se aconseja utilizar 0,4 MPa. (TCPAVEMENTS: Optipave2, Guía de Documentación y Diseño)

### Aumento de Resistencia 28-90 Días

El término "aumento de porcentaje en la oposición a la flexotracción" se refiere al aumento en la resistencia de las losas de concreto desde el día 28 hasta el día 90 después de su colocación. El valor de este incremento puede variar según la mezcla específica utilizada, pero se recomienda utilizar un valor predeterminado de 1.1, lo que representa un aumento del 10% en la resistencia (TCPAVEMENTS: Documentación y Guía de Diseño, Optipave2).

### Módulo de Elasticidad

Un elemento esencial al diseñar del pavimento es el módulo of elasticidad, que indica la habilidad del material para resistir a distintas cantidades de mal formación. El Manual de Carreteras sugere que se emplee la siguiente formula, la cual establece una correlación entre el módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión:

$$E = 57,000x( f'c)^{0.5}; (f'c \text{ en PSI})$$

$$E = 57000 x \sqrt{3982.54}$$

$$E = 3597120.02 \text{ Psi} = 24821 \text{ Mpa}$$

### **Peso Específico**

Se refiere a la masa de hormigón dividida por el volumen de sólidos. Aplicando un valor de 2.300 kg/m<sup>3</sup>.

### **Módulo de Poisson**

El vínculo entre la deformación transversal y la deformación axial que ocurre cuando se aplica una carga en la dirección axial se mide mediante el módulo de Poisson del hormigón. El módulo de Poisson del hormigón tiene un valor predeterminado de 0,15, pero puede variar entre 0,1 y 0,25, según "TCPAVEMENTS: Documentación y Guía de Diseño, Optipave2". Se recomienda utilizar 0,15 como opción preferible en Optipave2.

### **Coefficiente de Expansión Térmico**

La expansión o contracción de un material en respuesta a los cambios de temperatura se mide y se conoce como coeficiente de expansión termomecánica. En general, se emplea un valor previsto de  $1\sqrt{10^{-5}} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , a menos que se determine un valor específico mediante pruebas de laboratorio. Según lo establecido en "TCPAVEMENTS: Documentación y Guía de Diseño, Optipave2", en este caso específico se utilizó el valor por defecto de  $1\sqrt{10^{-5}} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

#### **.Retracción del Concreto a 365 Días**

A crucial parameter in concrete is retraction because it affects the passage of loads between two joints. According to the image, as the concrete ages, the retraction increases until it reaches a maximum before stabilizing. En esta posición, la retracción se mantiene constante y no se reduce incluso si la mezcla seguiría continuamente siendo duro.

Por defecto, se determina que la retracción a los 365 días se incrementa en un 30% respecto al valor final. Para este propósito, se utiliza un valor predeterminado de 0,0007 (700µε) para representar la retracción. (TCPAVEMENTS: Documentación y Guía de Diseño, Optipave2)

### **Contenido de Aire**

El TMN del agregado grueso de ½" se considera, por lo que se empleó un contenido de aire del 2.5%.

### **Relación Agua/Cemento**

El valor obtenido a partir del diseño de mezcla es de 0.44.

### **Resistencia residual**

La determinación de la resistencia residual se llevó a cabo utilizando las normas ASTM C 1399, que es el " Método analítico para calcular la porosidad residual del cemento reforzado con fibras. ". Esta norma se utiliza principalmente para evaluar el esfuerzo residual promedio después de la fisuración controlada de una viga de concreto con refuerzo de fibras. Lo que es particularmente notable de esta norma es que no requiere el uso de una máquina de falla controlada por la deflexión de la viga.

<b>RESISTENCIA RESIDUAL DEL CONCRETO</b>			
<b>Dosificación fibra de acero</b>	<b>Edad de concreto (días)</b>		
	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>28</b>
<b>0 kg/m3</b>	0.19 Mpa	0.23 Mpa	0.25 Mpa
<b>10 kg/m3</b>	1.19 Mpa	1.20 Mpa	1.71 Mpa
<b>20 kg/m3</b>	2.25 Mpa	2.48 Mpa	2.60 Mpa

*Tabla 33. Resistencia Residual del concreto*

*Fuente: Elaboración propia*

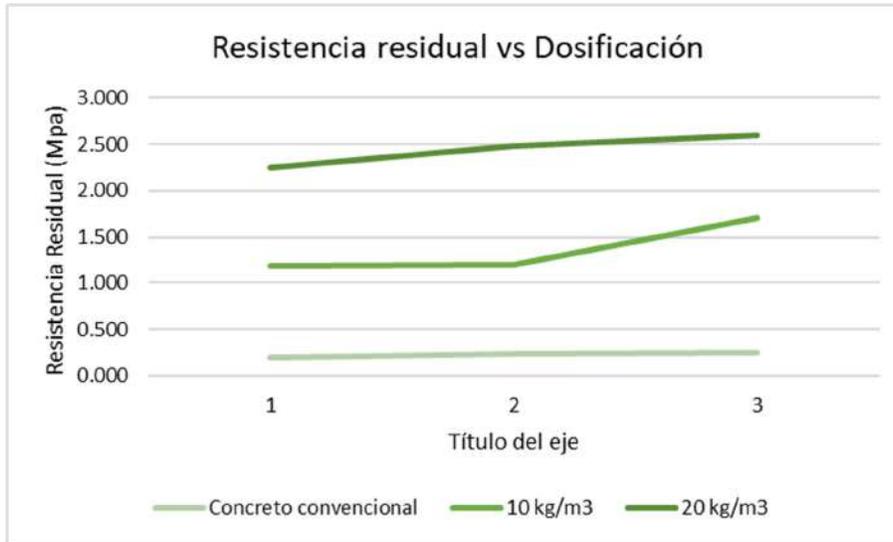


Figura 26. Resistencia Residual del concreto

Fuente: Elaboración propia

## 5.2.2 Resultados de la investigación

### 5.2.2.1 Influencia de las fibras de acero en el espesor de los Pavimentos

Después de la iteración, el software muestra que, in ambos casos, el pavimento tiene una base de 15 cm y un espesor de 11 cm, y se ha diseñado con y senza adición de fibras:

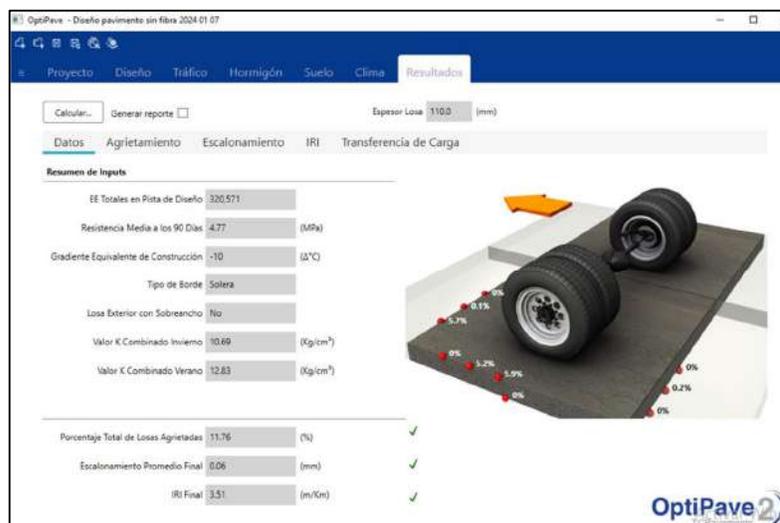


Figura 27. Resultados de espesor en diseño sin adición de fibras

Fuente: Elaboración propia

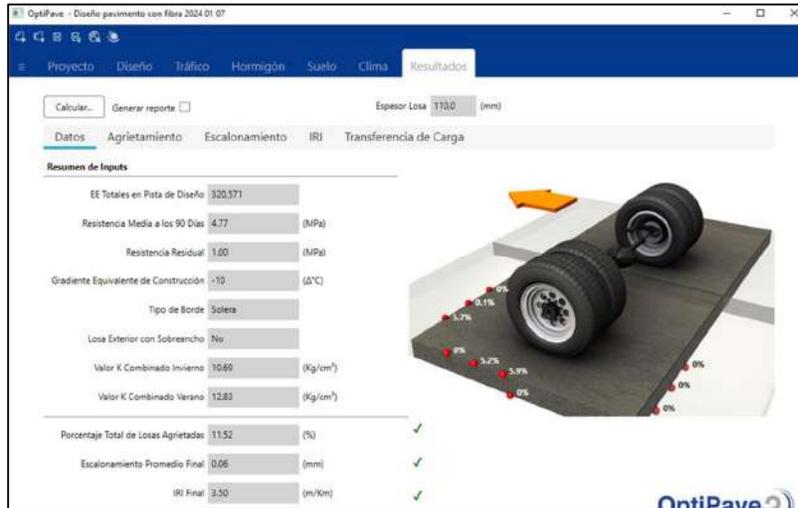


Figura 28. Resultados de espesor en diseño con adición de fibras

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2.2 Influencia de las fibras de acero en el porcentaje de losas agrietadas

Los porcentajes de agrietamiento se muestran en la figura siguiente, conforme al tiempo del asfalto diseñado. Se confirma que el porcentaje de los agrietadas de diseño no se superasa a través del porcentaje de los agrietamientos totales (azul), transversales (naranja) y longitudinales (verde)..

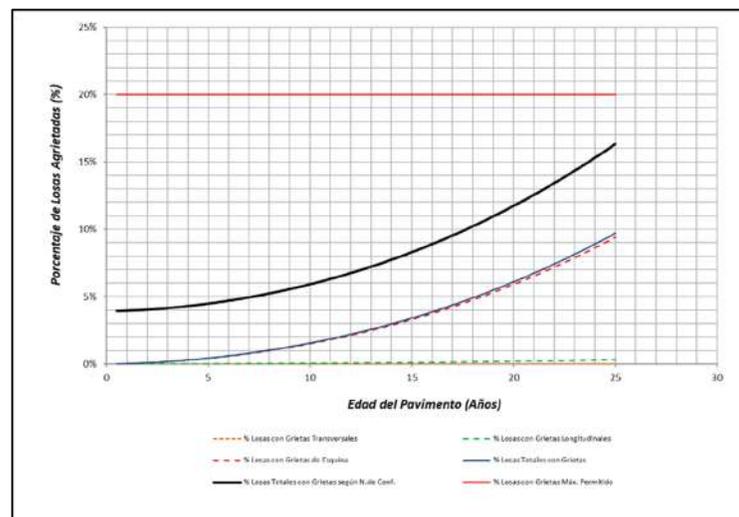


Figura 29. Porcentaje de losas agrietadas Diseño sin adición de fibras

Fuente: Elaboración propia

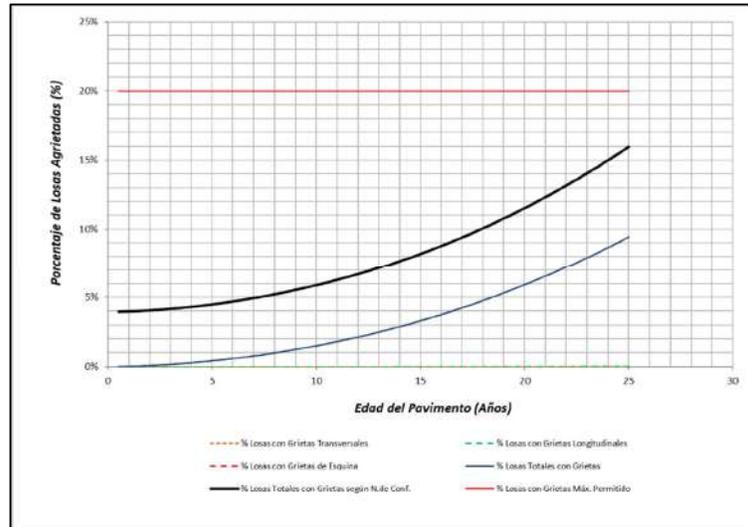


Figura 30. Porcentaje de losas agrietadas Diseño con adición de fibras

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2.3 Influencia de las fibras de acero en el costo

En la siguiente tabla, se obtiene el costo directo por m2 del Pavimento TCP, en cual es de S/. 71.91 de un pavimento de concreto de 11 cm de espesor sin adición de fibra.

Item	Descripción	UND	METRADO	COSTO	TOTAL
<b>01.00.00</b>	<b>Pavimento TCP e= 11 cm</b>				<b>22.28</b>
<b>01.01.00</b>	<b>Movimiento de tierras</b>				
01.01.01	Trazo, nivelación y replanteo	m2	1.00	1.46	1.46
01.01.02	Corte superficial hasta subrasante c/máquina	m3	0.20	5.36	1.07
01.01.03	Preparación de subrasante	m2	1.00	5.26	5.26
01.01.04	Colocación de base E=20 cm	m2	1.00	11.52	11.52
01.01.05	Eliminación de material ecedente c/ máquina D<4km	m3	0.24	12.35	2.96
<b>1.02.00</b>	<b>Pavimento rígido</b>				<b>49.63</b>
01.02.01	Suministro de concreto F'c= 280 Kg/cm2	m3	0.11	308.00	33.88
01.02.02	Curado de losa	m2	1.00	2.56	2.56
01.02.04	Encofrado, Vaciado y acabado	m2	1.00	13.19	13.19
	<b>Costo directo</b>				<b>71.91</b>

Tabla 34 Presupuesto por m2 con la Metodología TCP sin adición de fibra

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla, se obtiene el costo directo por m2 del Pavimento TCP, en cual es de S/. 82.91 de un pavimento de concreto de 11 cm de espesor con adición de fibra en una dosificación de 10 kg/m3.

Item	Descripción	UND	METRADO	COSTO	TOTAL
<b>01.00.00</b>	<b>Pavimento TCP e= 11 cm</b>				
01.01.00	Movimiento de tierras				<b>22.28</b>
01.01.01	Trazo, nivelación y replanteo		1.00	1.46	1.46
01.01.02	Corte superficial hasta subrasante c/máquina		0.20	5.36	1.07
01.01.03	Preparación de subrasante		1.00	5.26	5.26
01.01.04	Colocación de subbase E=20 cm		1.00	11.52	11.52
01.01.05	Eliminación de material excedente c/ máquina D<4km		0.24	12.35	2.96
1.02.00	Pavimento rígido				<b>60.63</b>
01.02.01	Suministro de concreto F'c= 280 Kg/cm2 inc. Fibra		0.11	408.00	44.88
01.02.02	Curado de losa		1.00	2.56	2.56
01.02.04	Encofrado, Vaciado y acabado		1.00	13.19	13.19
	<b>Costo directo</b>				<b>82.91</b>

Tabla 35. Presupuesto por m2 con la Metodología TCP

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3 Contrastación de la hipótesis

#### 5.2.3.1 Prueba de la primera hipótesis específica

**El planteamiento de la hipótesis específica N°01 es la siguiente:**

“Las fibras de acero reducen el espesor de los Pavimentos Ultradelgados de Concreto en Huancayo – Junín - 2023.”

Como ejemplo de cómo contrastar una hipótesis se tiene:

- Hipótesis Nula:  $H_0$  = Las fibras de acero no reducen el grosor del Pavimento Ultradelgados de Concreto en Huancayo – Junín - 2023.

- Hipótesis alterna:  $H_1$  = La fibra de acero reducen el grosor del Pavimentos Ultra delgados de Concreto en Huancayo – Junín - 2023.

El software Optipave 2 arrojó resultados que demostraron que: La fibra de acero no reduce el espesor del Pavimento de Concreto Ultrafinos en Huancayo – Junín – 2023, según lo verifican los hallazgos de la investigación. Los valores obtenidos en un diseño con adición de fibras con dosificación de 10 kg/m<sup>3</sup> de fibras es de 11 cm de espesor, y para un diseño de pavimento sin adición de fibras también da el mismo resultado de 11 cm de espesor de pavimento. A la luz de estos hallazgos,  $H_0$  está aprobado.

**El planteamiento de la hipótesis específica N°02 es la siguiente:**

“La adición de fibras de acero reduce la cantidad de losa agrietada del Pavimento Ultradelgados de Concreto en Huancayo - Junín – 2023”.

Como ejemplo de cómo contrastar una hipótesis se tiene:

- Hipótesis Nula:  $H_0$  = La adición de fibras de acero no reduce la cantidad de losa agrietada del Pavimento Ultradelgado de Concreto en Huancayo - Junín – 2023.

- Hipótesis alterna:  $H_1$  = El aumento de fibra de acero disminuye la cantidad de losa agrietada del Pavimento Ultradelgados de Concreto en Huancayo - Junín – 2023.

De acuerdo a los resultados arrojados por el software Optipave 2; los valores obtenidos en un diseño con adición de fibras en una cantidad de 10 kg/m<sup>3</sup> de fibras es de 16 % en porcentaje de losas agrietadas; y para un diseño de pavimento sin adición de fibra arroja un resultado de 16.4 % de losas agrietadas; por lo tanto, se aprueba  $H_1$  y se determina que: el aumento de fibras de acero disminuye la cantidad de losa agrietada del Pavimento Ultradelgados de Concreto en Huancayo - Junín – 2023, tal como se demuestra en el resultado del estudio.

**El planteamiento de la hipótesis específica N°03 es la siguiente:**

“Las fibras de acero disminuyen el costo de los Pavimentos Ultradelgados de concreto en Huancayo - Junín – 2023”.

Compararemos los gastos de diseños tradicionales (sin adición de fibra) con pavimentos que utilizan 10 kg/m<sup>3</sup> y 20 kg/m<sup>3</sup> de fibras para determinar los resultados de esta prueba.

Independientemente de la dosificación utilizada, el programa utilizado para el cálculo de los resultados tiene en cuenta un diseño que incorpora adición de fibras cuando la resistencia residual del hormigón supera 1 Mpa. Con base en el resultado adquirido, queda claro que esta necesidad se satisface cuando se agregan 10 kg/m<sup>3</sup> de fibra. Por lo tanto, para la validación de

este ensayo se tuvieron en cuenta los resultados de los ensayos donde se obtuvieron valores de resistencia residual para probetas de hormigón con el aimento de 10 kg/m<sup>3</sup> de fibras. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Edad Concreto (Días)	Dosificación (Kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia Residual (Mpa)
7	10	1.1920
7	10	1.1950
7	10	1.1900
14	10	1.2000
14	10	1.2060
14	10	1.2080
28	10	1.7080
28	10	1.7120
28	10	1.7180

Tabla 36. Resultado para resistencia residual del concreto con adición de 10 kg/m<sup>3</sup> de fibra

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados se determinó lo siguiente con ayuda del software IBM SPSS:

Estadísticas para una muestra				
	N	Media	Desv. estándar	Media de error estándar
R.Residual	9	1.3699	.25716	.08572

Tabla 37. Parámetros estadísticos

Fuente: IBM SPSS

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 1.2						
Significación						
	t	gl	P de un factor	P de dos factores	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia
						Inferior Superior
R.Residual	1.982	8	.041	.083	.16989	-.0278 .3676

Tabla 38 Parámetros estadísticos

Fuente: IBM SPSS

Según lo mostrado, el nivel de significancia es de 0.083, lo cual es superior a 0.05 (grado de error asumido); para lo cual, no aceptamos  $H_0$  y se concluye, con un nivel de significancia del 5%, que, con una dosificación de 10 kg/m<sup>3</sup>, es efectivo utilizar el software con un parámetro de uso de fibra.

De esta manera y teniendo en cuenta lo demás costos directos correspondientes para la construcción de pavimentos de concreto, se tienen los siguientes costos por m<sup>2</sup> de acuerdo a la dosificación empleada.

<b>Dosificación</b>	<b>Costo Directo / m<sup>2</sup></b>	<b>Variación</b>
0 kg/m <sup>3</sup>	S/. 71.91	
10 kg/m <sup>3</sup>	S/. 82.91	15%

*Tabla 39. Costo directo*

*Fuente: Elaboración propia*

Para la contrastación de hipótesis se plantea:

- Hipótesis Nula:  $H_0$  = La fibra de acero no disminuyen el costo de los Pavimentos Ultradelgados de concreto en Huancayo - Junín – 2023.

- Hipótesis alterna:  $H_1$  = Las fibras de acero disminuyen el costo de los Pavimentos Ultradelgados de concreto en Huancayo - Junín – 2023.

De acuerdo a la Tabla anterior; se puede apreciar que a mayor utilización de fibra se incrementan los costos directos, debido a que no hay disminución del espesor del pavimento. De acuerdo a los resultados se incremente el costo 15% para una cantidad de 10 kg/m<sup>3</sup> de fibras; por lo mismo aceptamos  $H_0$  y se determina que el resultado revela evidencias suficientes para decir que la incorporación de fibras de acero no disminuye el costo de los Pavimentos Ultradelgados de concreto en Huancayo - Junín – 2023.

### **5.2.3.2 Prueba de la hipótesis general**

Hipótesis Principal: “El comportamiento de los Pavimentos Ultradelgados de Concreto tiene una variación ventajosa debido a la adición de fibras de acero en Huancayo – Junín – 2023”.

Los hallazgos de las hipótesis secundarias N°01, N°02 y N°03 refutan la hipótesis general porque la adición de fibras en estas circunstancias no produce una disminución en el espesor, lo que a su vez no produce una disminución en el costo unitario y solo una disminución menor en el porcentaje de losas agrietadas.

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **6.1 Análisis del efecto de la fibra de acero en el espesor de los pavimentos ultradelgados de concreto.**

Este estudio comparó un diseño con la adición de fibras metálicas para encontrar el espesor ideal para la aplicación de pavimentos de hormigón ultra delgados (TCP). El porcentaje óptimo para el diseño es una adición de un 6% de fibras al concreto, el cual contiene un 10% de fibras de polipropileno y un 90% de fibras metálicas. Se obtuvo un espesor de 10.35 cm mediante el uso del software CSiBridge con el método TCP, como se establece en la tesis de pregrado, “Propuesta de pavimento rígido ultra delgado con fibras de polipropileno y metálicas en Quillo – Ancash”. En este estudio, una dosis de fibra metálica de 10 kg/cm<sup>2</sup> dio como resultado un espesor de 11 cm.

#### **6.2 Evaluación de la incidencia de la fibra de acero en el porcentaje de losas agrietadas de los pavimentos ultradelgados de concreto**

Con base en el porcentaje de losas fisuradas, se VISUALIZA que, en ambos escenarios (diseño con y sin adición de fibra), no se supera el porcentaje máximo de losas fisuradas. Sin embargo, se observa que, en el caso del diseño de Pavimento sin adición de fibras, el 9,5% del pavimento experimenta fisuración en las esquinas al final de su vida útil.

### **6.3 Análisis de la variación del costo de los pavimentos ultradelgados de concreto con la adición de fibra de acero**

De manera similar, Díaz & Hoyos (2019) comparan los pavimentos TCP y AASHTO93 en Jaén, con el objetivo de evaluar las ventajas técnicas y financieras de la nueva metodología de diseño de pavimentos rígidos. A partir de esta comparación concluyen que los pavimentos TCP en su estudio ofrecen un ahorro del 15,04%. así como daños por carga de vehículos pequeños y tensiones de flexión en el pavimento AASHTO93. El presente estudio calculó el costo/m<sup>2</sup> de un pavimento regular y encontró un ahorro del 20,65% al compararlo con el costo/m<sup>2</sup> del diseño TCP con fibra de acero agregada. En conclusión, los hallazgos de ambos estudios se alinean con las ventajas que ofrece el pavimento de concreto delgado sobre los pavimentos rígidos convencionales.

## CONCLUSIONES

1- Se realizó la simulación para pavimentos con adición de fibras y sin adición de fibras con soporte del software Optipave donde se ha podido observar que debido al CBR de nuestro caso específico, los resultados de espesor de pavimento son iguales con fibra y sin fibra estructural.

Pero con esta idea, donde cada losa tiene un juego de ruedas apoyadas, las tensiones se reducen respecto a las losas de tamaño convencional, permitiendo un pavimento más delgado que con los pavimentos típicos.

2- En el tiempo de diseño de pavimentos de concreto delgado (TCP) utilizando este método con adición de fibras, el porcentaje de losas fisuradas resulta del 16%, menor al 16.4% encontrado en el diseño de pavimentos de concreto delgado (TCP) sin adición de fibras. . Asimismo, en ambos casos se puede concluir que la proporción de losas fisuradas no supera el máximo permitido para este tipo de vías..

3- Con respecto al costo, se presenta un costo de S/. 71.91 / m<sup>2</sup> en un pavimento TCP sin adición de fibra y un costo de S/. 82.91 / m<sup>2</sup> para un pavimento TCP con adición de fibra. La razón por la que no se obtuvo una reducción en el costo, es por que la adición de fibra no resultó en una disminución del espesor del pavimento, sin embargo, al ser comparada con el costo de pavimentos tradicionales, se tiene una amplia reducción.

4- Los resultados desaprueban el uso de fibras estructurales cuando se tenga un CBR alto en la subrasante, ya que, al adicionar fibras en este tipo de condiciones no resulta en una reducción del espesor, por consiguiente, no se tiene reducción en el costo unitario y solo se tiene una reducción ligera en el porcentaje de losas agrietadas.

## RECOMENDACIONES

1-Se sugiere considerar el tamaño de los ejes del vehículo de diseño y el ancho de las carriles para lograr un mejor rendimiento del pavimento TCP. En vías with bajo tránsito y alto level de CBR, se sugere emplear el diseño de las cortas TCP como alternativa de aplicación..

2-Para comprobar la viabilidad de los mismos, se aconseja realizar una investigación sobre la evolución del deterioro del pavimento en estructuras construidas con dimensionamiento menos convencional. i) Realizar un estudio que verifique los resultados obtenidos con el método TCP actual y datos reales sobre el porcentaje de casos controvertidos.

3-Es recomendable hacer investigaciones con porcentajes de dosificación menores a los de la presente tesis porque el método requiere que la fibra tenga una resistencia residual de un MPa en el concreto durante su uso. Ambos los diseños realistas superaron el cual.

4- Es recomendable mejorar los métodos y herramientas utilizados en el desarrollo de esta investigación para futuros estudios. Utilizar el método ASTM C 1609 – Método de ensayo para determinar el desempeño del concreto reforzado con fibra (Usando una viga cargada en los tercios) para calcular la resistencia residual en el concreto, ya que se asemeja más a las cargas efectuadas en un pavimento de concreto.

5- Se recomienda utilizar la metodología U-TCP en caminos vecinales de bajo tránsito y con un CBR bueno ya que en los cuales no será necesaria incrementar fibra de acero y se obtendrá un pavimento optimizado en comparación a los pavimentos de concreto tradicionales.

## BIBLIOGRAFÍA

**Anaya Palacio, Juan Camilo. 2020.** Evaluación de la carpeta de rodadura en Pavimentos Hidráulicos, por Medio del Cambio de geometría convencional a Losas Cortas, aplicadas en las vías del área metropolitana de la ciudad de Santa Marta D.T.C.H con base en Los diseños empleados en los Países. *Tesis (Título de Ingeniero Civil). Santa Marta: Universidad Cooperativa de Colombia.* 2020. 45 pp. Disponible en: <https://repository.ucc.edu.co/items/cd3d81ba-e9a3-4d7a-9dea-999d708d53ab>.

**Bryan Uribe, Carlos Alberto y Duarte Rojas, Saúl Isaiás. 2018.** Comparación de los espesores de losa por los métodos de diseño TCP SYSTEM, PCA-84 Y RACIONAL para las condiciones de tránsito y subrasante en San Andres Islas. *Tesis (Titulo de Magister en Ingeniería de Pavimentos). Popayan: Universidad del Cauca.* 2018. 67. Disponible en: <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/handle/123456789/1444>.

**Campoy Bencomo, Noé Abimael , y otros. 2021.** Análisis esfuerzo-deformación de concreto reforzado con fibras metálicas y polímeros. *Investigación de Ingeniería.* 2021. ISSN 2594-0732. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432021000100007](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432021000100007).

**Díaz Zamora, Keyla Madeleine y Hoyos Fernández, Tito. 2019.** Comparación Técnico Y Económico de Pavimentos Optimizados (Tcp) Y Pavimentos Rígidos (Aashto 93), de Acuerdo con las condiciones locales de Jaén. *Tesis(Título de Ingeniería Civil). Jaen: Universidad Nacionael de Jaen.* 2019. 104 pp. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/270319120>.

**Espinoza Mendoza, Hilmar Yamil y Espinoza Mendoza, Olmer Carlitos. 2021.** Propuesta de un pavimento rígido ultra delgado con fibras de polipropileno y fibras metálicas

en Quillo - Ancash. *Tesis (Título de Ingeniería Civil). Ancash: Universidad nacional del Santa.*  
2021. 203 pp. Disponible en:  
<https://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14278/3726/52251.pdf?sequence=1>.

e-consulta. (2015, 29 de octubre). Están hechos de asfalto 90% de los pavimentos a nivel mundial. Recuperado de <https://www.e-consulta.com/nota/2015-10-29/universidades/estan-hechos-de-asfalto-90-de-los-pavimentos-nivel-mundial>

**Gómez Benites, Wilmer Mariano y Rivero Avila, Bryan Eduardo. 2019.** Análisis comparativo del diseño de Pavimento Rígido de Losa Corta y el Pavimento Rígido Tradicional en la zona El Trópico, Distrito de Huanchaco, Trujillo- La Libertad. *Tesis(Título de Ingeniería Civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego.* 2019. 143 pp. Disponible en: <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7095>.

Londoño, C. (s.f.). Cipriano Londoño – 360 EN CONCRETO. Recuperado de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/author/cipriano-londono/>

**Orellana Hinojosa, Cristian Cristian Orlando. 2018.** Evaluación técnica-económica del uso de losas de hormigón con geometría optimizada en la rehabilitación de pavimentos asfálticos. *Tesis (Ingeniero en Construcción). Santiago: Universidad Nacional Andres Bello.* 2018. Disponibl en: <https://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/24915>.

**Pablo Covarrubias, Juan. 2012.** Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada. *Investigación de ingeniería.* 2012. pp. 181 - 197. ISSN 0718-5073. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732012000300005](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732012000300005).

**aaa. sss. ccc : zzzz, aaa.**

**Supo Gutierrez, Wildo Alexis . 2021.** Aplicación de la tecnología de pavimentos de losas cortas TCP en la vía de acceso de la Universidad Peruana Unión, distrito de Juliaca – Puno.

*Tesis (Título de Ingeniería Civil). Puno: Universidad Peruana Unión. 2021. 116 pp.*  
Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/6118?show=full>.

**Vargas Ortiz, Guadalupe Brigitte y Yataco Barreda, Alvaro Gustavo. 2020.** Efecto de las fibras de acero y polipropileno en la resistencia a la flexión del concreto para Pavimentos Rígidos. *Tesis (Título de Ingeniería Civil). Lima: Universidad Ricardo Palma. 2020. 147 pp.*  
Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3678>.

## **ANEXOS**

## ANEXO 01 – MATRIZ DE CONSISTENCIA

“PAVIMENTOS ULTRA DELGADOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO. HUANCAYO - JUNÍN – 2023”							
PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADOR	METODOLOGÍA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿Cuál es la influencia de las fibras de acero en los Pavimentos Ultradelgados de concreto en Huancayo-Junín - 2023?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Determinar el comportamiento de los pavimentos ultradelgados de concreto con la adición de fibras de acero en Huancayo-Junín - 2023</p>	<p><b>ANTECEDENTES</b></p> <p>H. Espinoza (2021). En la tesis de pre grado titulado “PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRA DELGADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS EN QUILLO-ANCASH”, fijó como objetivo: Plantear una propuesta técnica de un pavimento rígido ultra delgado con adición de fibras de polipropileno y fibras metálicas en Quillo –Ancash. Concluyó que Se obtuvo una propuesta de diseño de pavimento rígido con un espesor de 10.35 cm, en base a la adición de un 6% de fibras (10% polipropileno y 90% de metálicas), aplicando de la tecnología</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p>El comportamiento de los pavimentos ultradelgados de concreto tiene una variación ventajosa debido a la adición de fibras de acero en Huancayo – Junín – 2023.</p>	<p><b>Variable independiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Fibras de acero</li> </ul>	<p>Dosificación</p>	<p>Grupo de control Dosificación 1 Dosificación 2</p>	<p><b>Método de investigación:</b> Científico</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Básico</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> explicativa</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> Cuasi experimental</p>
<p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b></p> <p>¿Cuál es la influencia de las fibras de acero en el espesor de los Pavimentos Ultradelgados de concreto en Huancayo-Junín? 2023?</p> <p>¿Cuál es la influencia de las fibras de acero en el porcentaje de losas agrietadas de los Pavimentos Ultradelgados de Concreto en Huancayo-Junín. 2023?</p> <p>¿Cuál es la influencia de las fibras de acero en el costo de los Pavimentos Ultradelgados de Concreto en Huancayo-Junín? 2023?</p>	<p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Analizar la influencia de las fibras de acero en el espesor de los pavimentos ultradelgados de concreto en Huancayo-Junín - 2023.</li> <li>•Evidenciar la influencia de las fibras de acero en el porcentaje de losas agrietadas de los pavimentos ultradelgados de concreto en Huancayo-Junín - 2023.</li> <li>•Evaluar la influencia de las fibras de acero en el costo de los pavimentos ultradelgados de concreto en Huancayo-Junín - 2023.</li> </ul>	<p><b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b></p> <p>Las fibras, son elementos delgados de longitud corta y diámetro pequeño. Estas fibras pueden clasificarse de acuerdo a su geometría en macrofibras y microfibras, y de acuerdo a su material en fibras de acero, polipropileno, vidrio, naturales.(Sika Group, 2015).</p>	<p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>-Las fibras de acero reducen el espesor de los pavimentos ultradelgados de concreto en Huancayo – Junín. 2023.</p> <p>-La adición de fibras de acero reduce el porcentaje de losas agrietadas en los pavimentos ultradelgados de concreto en Huancayo-Junín – 2023.</p> <p>- Las fibras de acero reducen el costo de los pavimentos ultradelgados de concreto en Huancayo-Junín – 2023.</p>	<p><b>Variable Dependiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Pavimentos Ultradelgados de Concreto.</li> </ul>	<p>Dimensiones</p> <p>Agrietamiento</p> <p>Costo</p>	<p>Espesor (Optipave 2.5)</p> <p>Porcentaje de losas agrietadas (Optipave 2.5)</p> <p>Costo/ m2</p>	<p><b>Población</b> Todas las vías de bajo tránsito de la ciudad de Huancayo</p> <p><b>Muestra</b> Jr. Ica Nueva – Cuadra 28 del Distrito de Huancayo</p> <p><b>Muestreo:</b> NO probabilístico</p> <p><b>Técnica</b> Observación directa, análisis documentado.</p> <p><b>Instrumento</b> Fichas de recolección de datos.</p>

ANEXO 02 – MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
<p><b>Variable independiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Fibras de acero</b></li> </ul>	<p>Las fibras, son elementos delgados de longitud corta y diámetro pequeño. Estas fibras pueden clasificarse de acuerdo a su geometría en macrofibras y microfibras, y de acuerdo a su material en fibras de polipropileno, vidrio y naturales. (Sika Group, 2015).</p>	<p><b>La variable 1: Fibras de acero se operacionaliza mediante su dimensión que es:</b> <b>D1: Dosificación.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dosificación</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja</li> <li>• Media</li> <li>• Alta</li> </ul>	<p>Equipos de laboratorio</p>
<p><b>Variable Dependiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Pavimentos Ultradelgados de Concreto.</b></li> </ul>	<p>UTCP, el cual permite disminuir el espesor de las losas tradicionales a partir de la optimización de su geometría de estas, considerando que la losa se apoyará sobre una base granular y partiendo de la premisa de que sobre una losa no se apoyará más de un set de ruedas. (Covarrubias, 2014).</p>	<p><b>La variable 2: Pavimentos Ultra delgados de concreto se operacionaliza mediante sus dimensiones que son:</b> <b>D1: Dimensiones</b> <b>D2: Agrietamiento</b> <b>D3: Costo</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Dimensiones</b></li> <li>• <b>Agrietamiento</b></li> <li>• <b>Costo</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espesor</li> <li>• Porcentaje de losas agrietadas</li> <li>• Costo / m2</li> </ul>	<p>Software Optipave</p> <p>Software Optipave</p> <p>Hojas de cálculo</p>



ANEXO 03. Ensayo de determinación de resistencia residual



ANEXO 04. Probeta ensayada para determinación de resistencia residual



ANEXO 05. Ejecución de Estudio de tráfico vial



ANEXO 06. Elaboración de calicata para Estudio de Mecánica de Suelos



ANEXO 07. Calicata 01



ANEXO 08. Elaboración de muestras para ensayos de resistencia residual



ANEXO 09. Dosificación de fibra SikaFiber CHO 80/60 NB

**PROYECTO** : PAVIMENTOS ULTRADELGADOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRA DE ACERO, HUANCAYO - JUNÍN - 2023\*  
**Adición de SIKAFIB** : 10 kg/m<sup>3</sup> **Fc** : 280 kg/cm<sup>2</sup>  
**Participario** : UZARDO STEVEN RIVAS LOZANO, **Nº de Especímenes** : 03  
**Ubicación** : HUANCAYO **Ensayado por** : E.T.P.  
**Fecha de recepción** : 10/11/ 2023 **Fecha de emisión** : 19/12/ 2023

ASTM C1399/C1399M-10(2015) - MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA OBTENER LA RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

1.- RECOLECCIÓN DE DATOS PREVIO AL ENSAYO

Fecha de Moldeo :	2023-11-17	CONDICIONES AMBIENTALES	TEMPERATURA	19 °C
Fecha de Ensayo :	2023-12-16		HUMEDAD RELATIVA	42%
Edad, días :	28			

	1	2	3	Promedio
"b", Ancho, mm :	102.8	102.13	101.34	102.42
"d", Alturas, mm :	103	102.64	102.91	102.85

"L" longitud del espacio", mm : 300

λ, mm	0.0002769
-------	-----------

2.- DATOS REGISTRADOS EN LA PRUEBA DE ENSAYO

2.1.- CICLO INICIAL

Deformímetro No. 01	0.166 mm	< 0.5 mm	CARGA, KN
Deformímetro No. 02	0.164 mm		32.38

2.1.- DEFLEXIONES ESPECIFICADAS

Deflexión de la viga, mm	0.5	0.75	1	1.25	PROMEDIO
Cargas, kN	5.33	5.88	6.78	6.88	
Cargas, N	5330	5880	6780	6880	6167.50

3.- INFORME

3.1.- PROPORCIONES DEL DISEÑO DE MEZCLA

CEMENTO	11.303	bis/m <sup>3</sup>
AGUIA	0.219	m <sup>3</sup>
ARENA	0.688	m <sup>3</sup>
GRAVA	0.736	m <sup>3</sup>
FIBRA	10.0	kg/m <sup>3</sup>

3.2.- PROPIEDAD Y CARACTERÍSTICAS DE LA FIBRA

TIPO DE FIBRA	SIKAFIBER
DENSIDAD	8.91 kg/L

$$ARF = (P_2 - P_3 - P_4 - P_5) \times 4 \quad (1)$$

valores:

$$L = L/b^2, \text{max}^{-1} (\text{in}^{-2})$$

ARF = average residual strength, MPa (psi).

P<sub>2</sub>+P<sub>3</sub>+P<sub>4</sub>+P<sub>5</sub> = sum of recorded loads at specified deflections, N (lbf)

3.3.- RESISTENCIA RESIDUAL PROMEDIO

Resistencia residual promedio	ARF	1.708 MPa
		17.414 kg/cm <sup>2</sup>

3.4.- GRÁFICO DE DEFLEXIONES ESPECIFICADAS



Note:

\* La longitud que sigue la ASTM C1399, es de 280 mm. A menos que se indique otra medida.

\*\* Especímen moldeado en laboratorio a condiciones ambientales controladas.

\*\*\* El curado se realizó a temperaturas controladas.

Observación:

1.- En este informe se detallan los resultados de ensayos en el laboratorio o condiciones ambientales.

2.- El presente documento no deberá reproducirse sin autorización escrita del laboratorio, salvo en caso de reproducción en su totalidad.

...Formato revisado y validado por Personal Técnico Lima Zúñiga.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO  
MTC E 107-2016**
**TESS :** PAVIMENTOS ULTRA DELGADOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO. HUANCAYO - JUNIN - 2023

**PETICIONARIO :** BACH. LIZARDO STEVEN RIVAS LOZANO

**ATENCIÓN :** UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**UBICACIÓN :** JR. ICA NUEVA CUADRA 25-HUANCAYO

**Calicata :** 01

**Progresiva :** 0+020

**Fecha de recepción :** 28-11-2023

**Muestra :** N - 1

**Lote :** Izquierda

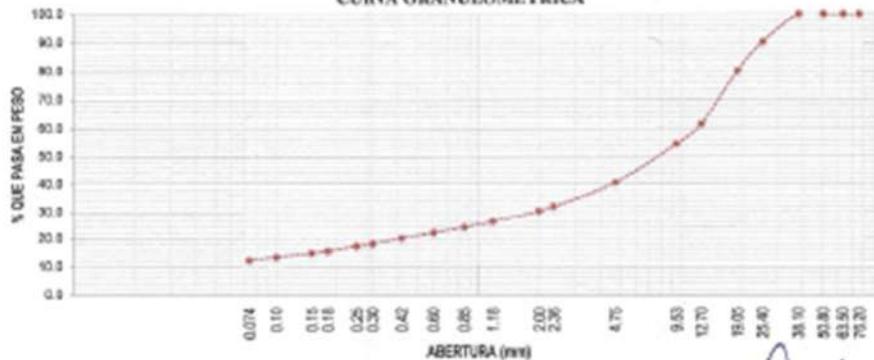
**Fecha de ensayo :** 28-11-2023

**Profundidad :** 0.00 - 1.50 m

**Asesor Técnico :** R.A.P.M.

**Fecha de emisión :** 06-12-2023

TAMICES		PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ADUMBLADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
pulg.	mm					
5"	127.0					Muestra Total 2172.3 g
2 1/2"	63.50					Tamaño Máximo 1 1/2"
2"	50.80					% Gravas 59.4
1 1/2"	38.10				100.0	% Arenas 38.3
1"	25.40	208.4	9.6	9.6	90.4	M.F. 5.11
3/4"	19.05	226.4	10.4	19.8	80.2	
1/2"	12.70	401.1	18.5	38.2	61.8	Pasa N° 200 (MTC E 137) 12.3%
3/8"	9.53	193.4	8.9	47.1	52.9	
N° 4	4.75	306.3	14.1	61.2	38.8	% Humedad (MTC E 108) 6.4 %
N° 8	2.36	180.00	8.3	69.5	30.5	
N° 10	2.00	35.50	1.6	71.1	28.9	Límite Líquido (MTC E 110) NP
N° 16	1.18	91.40	4.2	75.3	24.7	Límite Plástico (MTC E 111) NP
N° 20	0.85	46.40	2.1	73.0	27.0	Índice Plástico (MTC E 111) NP
N° 30	0.60	40.00	1.8	71.2	28.8	Clasificación SUCS (ASTM D 2487-11) OM - Grava limosa
N° 40	0.42	42.70	2.0	69.2	30.8	Clasificación AASHTO (ASTM D 3082-05) A-1-s(1)
N° 50	0.30	44.50	2.0	67.2	32.8	
N° 60	0.25	16.50	0.8	66.4	33.6	D10 : 0.06 mm Cu : 197.45
N° 80	0.18	37.50	1.7	64.5	35.5	D30 : 1.50 mm Cc : 5.17
N° 100	0.15	16.50	0.8	63.7	36.3	
N° 140	0.10	31.20	1.4	62.3	37.7	
N° 200	0.075	26.20	1.2	61.1	38.9	D60 : 11.91 mm
Fondo		296.80	13.7	100.0		

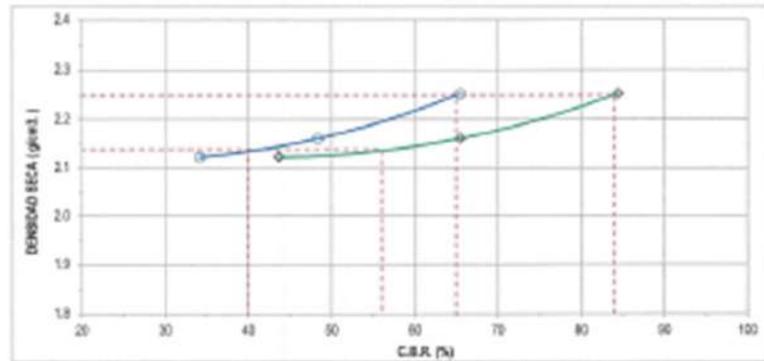
**CURVA GRANULOMÉTRICA**

**Referencias Normativas:**

- ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
- ASTM D 2487-11: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).
- ASTM D 3082-05: Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes.
- NTP 335.128.000 (versión 01/2010): SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico. 1ª Edición.

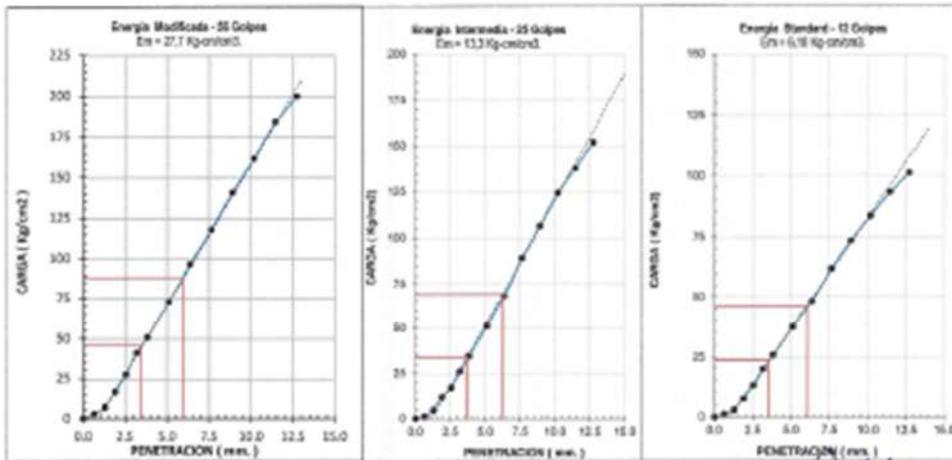


**DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE - CBR  
 MTC E 132**

**TEBIS :** PAVIMENTOS ULTRA DELGADOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO HUANCAYO - JUNIO - 2023  
**PETICIONARIO :** BACH. LIZARDO STEVEN RIVAS LOZANO  
**ATENCIÓN :** UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
**UBICACIÓN :** JR. ICA NUEVA CUADRA 29- HUANCAYO  
**Calle:** 01 **Proyecto :** I-000 **Fecha de recepción :** 29-11-2023  
**Muestra :** M - 1 **Lote :** Ingeniería **Fecha de ensayo :** 29-11-2023  
**Profundidad :** 0.06 - 1.52 m **Técnico :** R.A.P.M. **Fecha de emisión :** 06-12-2023



ENERGÍA DE COMPACTACIÓN				VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.				
	E <sub>m</sub>	G <sub>s</sub>	E <sub>s</sub>					
N° golpes	55	28	12					
DENS. SECA	2.262	2.160	2.121	Al 100% de R.D.S.	0.1"	65.00%	0.2"	84.00%
C.B.R. 0.1"	93.43	46.36	34.14					
C.B.R. 0.2"	84.33	65.45	43.62	Al 95% de R.D.S.	0.1"	48.00%	0.2"	56.00%



Referencia Normativa:  
 ASTM D 1557 Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soils.

  
 Ing. Carlos E. Rivas Lozano  
 INGENIERO PROFESIONAL Nº 20468  
 OFICINA DE MECÁNICA DE SUELOS  
 CONCRETO Y PAVIMENTOS

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO  
MTC E 108**

**PROYECTO** : PAVIMENTOS ULTRA DELGADOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO. HUANCAYO - JUNIN - 2023

**PETICIONARIO** : BACH. LIZARDO STEVEN RRAS LOZANO

**ATENCIÓN** : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**UBICACIÓN** : J.L. ICA NUEVA CLINDRA 2B- HUANCAYO

**Cantera** : 01

**Procesiva** : E-020

**Fecha de recepción** : 20-11-2023

**Muestra** : M - 1

**Leño** : —

**Fecha de ensayo** : 20-11-2023

**Profundidad** : 0.00 - 1.50 m

**Técnico** : R.A.P.M.

**Fecha de emisión** : 06-12-2023

Recipiente	V - 7
Peso del recipiente (g)	292.8
Peso de suelo húmedo + recip. (g)	895.4
Peso de suelo seco + recipiente (g)	836.2
Peso del agua (g)	47.2
Peso del suelo seco (g)	795.7
Humedad (w%)	6.4
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD (%)</b>	<b>6.4 %</b>

**Referencias Normativas:**

- ASTM D 2230 Standard Test Method of Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock

- NTP 228.027-2008 (modificado 2018) SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1ª Edición

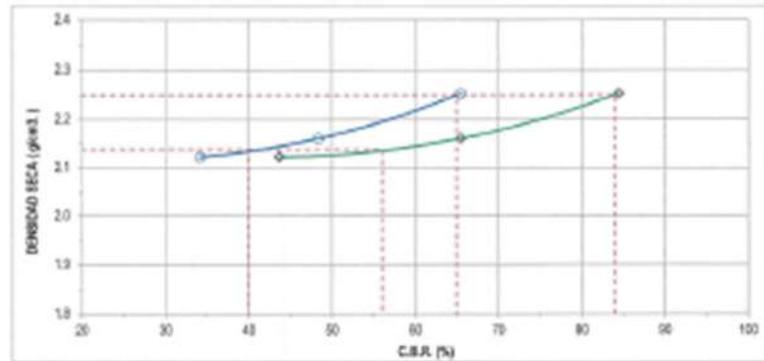


Ing. Gerardo Rivero Alvarado  
 INGENIERO MECÁNICO CIP. N° 28408  
 ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA SUELOS  
 CONCRETO Y PAVIMENTOS

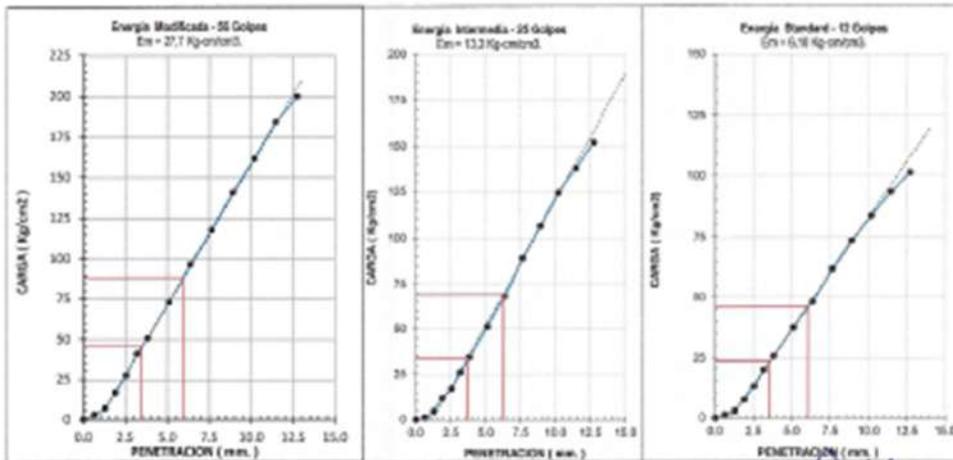


**DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE - CBR  
MTC E 132**

TESIS : PAVIMENTOS ULTRA DELGADOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO HUANCAYO - JUNIO - 2023  
 PETICIONARIO : BACH. LIZARDO STEVEN RIVAS LOZANO  
 ATENCIÓN : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 UBICACIÓN : JR. ICA NUEVA CUADRA 29- HUANCAYO  
 Calzate : 01 Progresiva : E-020 Fecha de recepción : 29-11-2023  
 Muestra : M - 1 Lote : Ingeniería Fecha de ensayo : 25-11-2023  
 Profundidad : 0.00 - 1.50 m Técnico : P.A.P.M. Fecha de emisión : 06-12-2023



	ENERGÍA DE COMPACTACIÓN			VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.				
	56	28	12					
N° golpes	56	28	12					
DENS. SECA	2.252	2.160	2.121	At 100% de R.D.S.	0.1"	65.00%	0.2"	84.00%
C.B.R. 0.1"	65.43	46.96	34.14	At 95% de R.D.S.	0.1"	48.00%	0.2"	50.00%
C.B.R. 0.2"	84.39	66.45	43.62					



Referencia Normativa:  
ASTM D 1557 Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory Compacted Soils.

*Edybal*  

 Lic. Carlos Eduardo Pizarro Morales  
 INGENIERO PROFESIONAL Nº 208488  
 ESPECIALIDAD EN MECÁNICA DE SUELOS  
 CONCORDIA Y HUANCAYO



# ICONEG E.I.R.L.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

## DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE - CBR MTC E 132 - 2016

TEB9 : PAVIMENTOS ULTRA DELGADOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO. HUANCAYO - JUN - 2023

PETICIONARIO : BACH. LIZARDO STEVEN RIVAS LOZANO

ATENCIÓN : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

UBICACIÓN : JR. ICA NUEVA CUADRA 26 - HUANCAYO

Calicota : 01

Proyectos : 0-02 : 0-020

Fecha de recepción : 25-11-2023

Muestra : M - 1

Tipología : Inclinada

Fecha de ensayo : 25-11-2023

Profundidad : 0.30 - 1.30 m

Asesor Técnico : R.A.P.M.

Fecha de emisión : 06-12-2023

### DATOS PROCTOR MODIFICADO

Humedad Óptima	(%)	6.58
Máxima Densidad Seca	(g/cm <sup>3</sup> )	2.230

### COMPACTACIÓN DEL MOLDE CBR

N° de golpes	Molde	55		25		12	
		M - 1		M - 2		M - 3	
Condición de la muestra		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso Molde + Suelo Compacto	(g)	1220	1330	1300	1360	1340	1340
Peso de Molde	(g)	816	856	805	875	805	835
Peso Suelo Compacto	(g)	404	474	495	485	535	505
Volumen del Molde	(cm <sup>3</sup> )	211	211	214	214	211	211
Densidad Suelo Humedo	(g/cm <sup>3</sup> )	2.307	2.445	2.368	2.335	2.556	2.391

### DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

N° de recipiente		1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10	1-11	1-12
Peso Suelo Humedo + Recipiente	(g)	523.8	478.6	583.0	523.4	585.3	578.2	558.9	588.7	586.8	602.5	616.4	591.5
Peso Suelo Seco + Recipiente	(g)	504.6	462.1	557.6	502.2	535.3	505.1	523.8	539.9	535.1	580.1	591.8	528.9
Peso del Agua	(g)	19.2	16.5	25.4	21.2	20.0	22.1	27.1	28.8	28.7	22.4	24.5	32.6
Peso de Proctor	(g)	239.8	282.6	217.2	215.3	275.2	213.5	202.6	209.4	203.3	214.9	213.3	217.2
Peso Suelo Seco	(g)	254.8	295.5	340.4	288.9	300.1	340.8	321.2	330.5	321.8	374.2	368.8	361.7
Contenido de Humedad	(%)	6.51%	6.36%	7.49%	7.39%	6.25%	6.45%	8.44%	8.77%	6.43%	6.25%	6.39%	6.54%
Humedad promedio	(%)		6.44%		7.43%		6.35%		8.59%		6.34%		6.45%
Densidad Suelo Seco	(g/cm <sup>3</sup> )		2.350		2.376		2.169		2.588		2.121		2.548

### DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

(mm)	0.00	0.00	0.00
(mm)	0.00	0.00	0.00
(mm)	0.00	0.00	0.00
(mm)	0.00	0.00	0.00
(mm)	0.00	0.00	0.00
(mm)	0.00	0.00	0.00
Expansión		0.06%	0.04%

### DETERMINACIÓN DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE

Penetración (mm)	Carga Estándar (Kg/cm <sup>2</sup> )	MOLDE N° 55				MOLDE N° 25				MOLDE N° 12			
		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
		Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	%
0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00			0.00	0.00			
0.63	0.025	54.30	2.75		22.06	1.16			23.86	1.21			
1.27	0.050	136.30	6.81		86.75	4.40			86.00	3.94			
1.90	0.075	224.10	15.44		236.10	11.67			150.00	7.61			
2.54	0.100	316.40	21.37	46.00	65.43	333.70	16.80	34.00	49.36	280.00	13.49	24.00	36.14
3.17	0.125	408.70	28.03	88.00	41.03	511.10	26.83			385.00	20.54		
3.81	0.150	501.00	34.67			682.00	34.50			570.00	28.88		
5.08	0.200	1432.50	72.58	89.00	84.36	1016.00	51.24	88.00	85.43	740.00	37.56	48.00	43.62
6.35	0.250	1905.00	95.65			1348.00	67.89			980.00	48.20		
7.62	0.300	2223.00	117.90			1758.00	88.94			1202.00	62.00		
8.89	0.350	2770.00	140.54			2106.00	105.54			1450.00	73.57		
10.16	0.400	3187.00	161.73			2450.00	124.30			1680.00	80.71		
11.43	0.450	3671.40	184.24			2728.00	138.00			1940.00	95.35		
12.70	0.500	3841.20	192.06			3000.00	152.21			2080.00	101.47		

Referencias Normativas:

EST M 11 1992 Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Soils and Soils-Aggregates





**ICONEG E.I.R.L.**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

**COMPACTACIÓN DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA  
MTC E 115 - 2016**

TESIS : PAVIMENTOS ULTRA DELGADOS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO. HUANCAYO - JUNIO - 2023

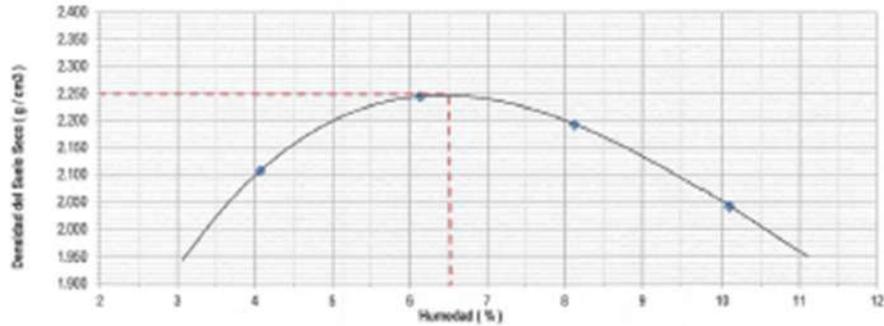
PETICIONARIO : BACH. LIZARDO STEVEN RIVAS LOZANO

ATENCIÓN : UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES - FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

UBICACIÓN : JR. YCA NUEVA D.JORDA 28-HUANCAYO

Calicata : 01	Progresiva : 0-029	Fecha de recepción : 28-11-2023
Muestra : M - 1	Lado : Izquierda	Fecha de ensayo : 28-11-2023
Profundidad : 0.00 - 1.50 m	Asesor Técnico : R.A.P.M.	Fecha de emisión : 06-12-2023

ENERGÍA DE COMPACTACIÓN		PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		Óptimo Contenido Humedad (OCM)	6.30 %
N° de capas	5	Retenido Tamiz 90"	17.2 %	Máxima Densidad Seca (MDS)	2.250 gr/cm <sup>3</sup>
Peso del pisón (Estandar)	4.52 Kg	Retenido Tamiz 30"	29.2 %		
Altura de caída del pisón	45.70 cm	Retenido Tamiz N°104	39.4 %		
Número de golpes por capa	56	Pasa Tamiz N°94	60.6 %		
Energía de compactación	37 488 kJ/m <sup>2</sup>	Método de compactación	C		



Prueba N°	1	2	3	4
-----------	---	---	---	---

COMPACTACIÓN					
Peso del Suelo Húmedo + Molde	[g]	11236.0	19356.0	19510.0	11350.0
Peso del Molde	[g]	8930	8630	8630	8630
Peso del Suelo Compacto	[g]	4026	5005	4683	4720
Volumen del molde	[cm <sup>3</sup> ]	2100.0	2100.0	2100.0	2100.0

HUMEDAD									
Recipiente N°	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	
Peso del Suelo Húmedo + Recip.	[g]	845.00	890.00	835.00	862.00	878.00	871.00	883.00	877.00
Peso del Suelo Seco + Recipiente	[g]	826.00	851.00	816.00	833.00	850.00	844.00	851.00	838.00
Peso del Agua	[g]	17.00	18.00	18.00	19.00	28.00	27.00	49.00	49.00
Peso del Recipiente	[g]	206.00	213.00	212.00	217.00	202.00	215.00	45.41	42.75
Peso del Suelo Seco	[g]	422.00	438.00	304.00	318.00	348.00	326.00	485.59	485.21
Contenido de Humedad (%)		4.03	4.11	6.25	6.01	8.05	8.21	10.09	10.10
Promedio de Humedad (%)		4.07		6.13		8.13		10.09	

DENSIDAD					
Densidad del Suelo Húmedo	[g/cm <sup>3</sup> ]	2.925	2.983	2.371	2.248
Densidad del Suelo Seco	[g/cm <sup>3</sup> ]	2.938	2.246	2.193	2.642

**Referencias Normativas:**

- NTP 220.761. Juicio. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 708 014.010) (26 800) (04-09/2016)
- ASTM D 1557. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (2 708 014.010) (26 800) (04-09/2016).

