

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



TESIS:

“Factores actuantes en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación
Cusco en la ciudad de Abancay, 2022”.

Presentado por:

Bach. LESLY ELIZABETH FARFÁN PHOCCO

Para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Abancay – Apurímac – Perú

2023

Tesis

“Factores actuantes en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación
Cusco en la ciudad de Abancay, 2022”

Línea de investigación

Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible

Asesor

Ing. Hugo Virgilio Acosta Valer



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“FACTORES ACTUANTES EN LA SERVICIABILIDAD DEL PAVIMENTO RÍGIDO
DE LA PROLONGACIÓN CUSCO EN LA CIUDAD DE ABANCAY, 2022”.**

Presentado por Bach. **LESLY ELIZABETH FARFÁN PHOCCO**, para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**.

Sustentado y aprobado el 30 de octubre del 2023, ante el jurado:

Presidente: PhD. Abbon Álex Vásquez Ramírez

Primer miembro: Ing. Holguer Cayo Baca

Segundo miembro: Ing. Cristhian Martínez Huamán

Asesor: Ing. Hugo Virgilio Acosta Valer

Factores actuantes en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay, 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

| | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| 21 % | 21 % | 2 % | 7 % |
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|----------|--|----------------|
| 1 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 5 % |
| 2 | repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet | 4 % |
| 3 | repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet | 2 % |
| 4 | repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet | 2 % |
| 5 | Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante | 1 % |
| 6 | repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet | 1 % |
| 7 | www.slideshare.net Fuente de Internet | <1 % |
| 8 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante | <1 % |

DEDICATORIA

A mi madre Edith Phocco León por ser la mujer más increíble que conozco, a mi padre Lucho Farfán Huamani, por su dedicación y por enseñarme el valor de la perseverancia y el esfuerzo.

A mis hermanos: Jean, Andrea, Mauricio Andrés y Gustavo por ser mi fuente de inspiración para poder seguir con mis metas.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, me gustaría agradecer a Dios por ser mi fortaleza constante. A mis padres y familia por el apoyo inquebrantable.

A los docentes de la universidad por compartir su sabiduría y experiencia.

A mi asesor Ing. Hugo Virgilio Acosta Valer, al Ing. Marco Antonio Gálvez Quintana por su orientación y apoyo en el desarrollo de esta investigación y a todas aquellas personas y amigos que me motivaron a seguir adelante.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|-------|
| PORTADA..... | i |
| POSTPORTADA..... | ii |
| PÁGINA DE JURADOS..... | iii |
| REPORTE DE SIMILITUD..... | iv |
| DEDICATORIA..... | v |
| AGRADECIMIENTO..... | vi |
| ÍNDICE DE CONTENIDO..... | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xiv |
| ÍNDICE DE ECUACIONES..... | xvii |
| ACRÓNIMOS Y SIGLAS..... | xviii |
| RESUMEN..... | xix |
| ABSTRACT..... | xx |
| INTRODUCCIÓN..... | xxi |
| CAPÍTULO I: PLAN DE INVESTIGACIÓN..... | 1 |
| 1.1 Realidad problemática..... | 1 |
| 1.2 Identificación y formulación del problema..... | 3 |
| 1.2.1 Problema general..... | 3 |
| 1.2.2 Problemas específicos..... | 3 |
| 1.3 Justificación de la investigación..... | 4 |
| 1.4 Objetivos de la investigación..... | 5 |
| 1.4.1 Objetivo general..... | 5 |

| | | |
|---------------------------------|--|----|
| 1.4.2 | Objetivos específicos | 5 |
| 1.5 | Delimitación de la investigación | 5 |
| 1.5.1 | Espacial..... | 5 |
| 1.5.2 | Temporal..... | 5 |
| 1.5.3 | Social | 5 |
| 1.5.4 | Conceptual..... | 6 |
| 1.6 | Viabilidad de la investigación | 6 |
| 1.7 | Limitaciones de la investigación | 6 |
| CAPITULO II: MARCO TEÓRICO..... | | 8 |
| 2.1 | Antecedentes de investigación..... | 8 |
| 2.1.1 | A nivel internacional | 8 |
| 2.1.2 | A nivel nacional..... | 10 |
| 2.1.3 | A nivel regional y local..... | 14 |
| 2.2 | Bases teóricas..... | 15 |
| 2.2.1 | Pavimento rígido | 15 |
| 2.2.2 | Componentes que constituyen un pavimento rígido | 15 |
| 2.2.3 | Factores que afectan la serviciabilidad del pavimento rígido | 16 |
| 2.2.4 | Fallas en pavimentos | 18 |
| 2.2.5 | Tipos de fallas en pavimentos rígidos | 18 |
| 2.2.6 | Evaluación del pavimento | 36 |

| | | |
|--|--|----|
| 2.2.7 | Tipos de evaluación | 37 |
| 2.2.8 | Requisitos de los materiales | 59 |
| 2.2.9 | Serviciabilidad | 62 |
| 2.2.10 | Procedimiento de la investigación..... | 63 |
| 2.3 | Marco conceptual | 64 |
| CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN | | 66 |
| 3.1 | Hipótesis | 66 |
| 3.1.1 | Hipótesis general | 66 |
| 3.1.2 | Hipótesis específica | 66 |
| 3.2 | Método | 67 |
| 3.2.1 | Método | 67 |
| 3.2.2 | Enfoque..... | 67 |
| 3.3 | Tipo de investigación..... | 67 |
| 3.4 | Nivel o alcance la investigación..... | 67 |
| 3.5 | Diseño de la investigación..... | 68 |
| 3.6 | Operacionalización de variables..... | 69 |
| 3.7 | Población, muestra y muestreo | 71 |
| 3.7.1 | Población | 71 |
| 3.7.2 | Muestra | 71 |
| 3.7.3 | Muestreo | 72 |

| | | |
|--|---|-----|
| 3.8 | Técnicas e instrumentos | 72 |
| 3.8.1 | Técnicas..... | 72 |
| 3.8.2 | Instrumentos | 73 |
| 3.9 | Consideraciones éticas | 73 |
| 3.10 | Procesamiento estadístico | 74 |
| CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | | 75 |
| 4.1 | Resultados | 75 |
| 4.1.1 | A nivel de la variable independiente..... | 75 |
| 4.1.2 | A nivel de la variable dependiente..... | 110 |
| 4.2 | Discusión de resultados..... | 114 |
| CONCLUSIONES..... | | 118 |
| RECOMENDACIONES | | 120 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 122 |
| ANEXOS | | 124 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 <i>Tipo de fallas en pavimentos rígidos</i> | 19 |
| Tabla 2 <i>Niveles de severidad para losa dividida</i> | 21 |
| Tabla 3 <i>Niveles de severidad para escala</i> | 23 |
| Tabla 4 <i>Niveles de severidad para punzonamiento</i> | 31 |
| Tabla 5 <i>Niveles de severidad para descascaramiento de esquina</i> | 35 |
| Tabla 6 <i>Niveles de severidad para descascaramiento de junta</i> | 36 |
| Tabla 7 <i>Rangos de calificación del PCI</i> | 37 |
| Tabla 8 <i>Pesos mínimos para la muestra retenida en la malla N°4</i> | 42 |
| Tabla 9 <i>Cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado</i> | 43 |
| Tabla 10 <i>Métodos del ensayo de Proctor Modificado</i> | 49 |
| Tabla 11 <i>Valores asignados para el ensayo de CBR</i> | 53 |
| Tabla 12 <i>Carga abrasiva</i> | 54 |
| Tabla 13 <i>Gradación de muestras de ensayo</i> | 55 |
| Tabla 14 <i>Factor de corrección de resistencia</i> | 59 |
| Tabla 15 <i>Requerimientos granulométricos para base granular</i> | 60 |
| Tabla 16 <i>Valor relativo de CBR en función al tráfico en ejes equivalentes</i> | 60 |
| Tabla 17 <i>Valor relativo de CBR en función al tipo de vía</i> | 60 |
| Tabla 18 <i>Requerimiento del agregado grueso para base granular</i> | 61 |
| Tabla 19 <i>Requerimiento del agregado fino para base granular</i> | 62 |
| Tabla 20 <i>Operacionalización de variables</i> | 70 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 21 <i>Instrumentos a emplear</i> | 73 |
| Tabla 22 <i>Composición del tráfico vehicular de la vía prolongación Cusco</i> | 78 |
| Tabla 23 <i>Clasificación índice medio diario IMD y distribución de la vía prolongación Cusco</i> | 79 |
| Tabla 24 <i>Resultados del Estudio de Tráfico de la vía prolongación Cusco</i> | 80 |
| Ensayos realizados al material de Subrasante: | |
| Tabla 25 <i>Resultados del ensayo de Análisis Granulométrico</i> | 85 |
| Tabla 26 <i>Resultado del ensayo de Contenido de Humedad</i> | 87 |
| Tabla 27 <i>Resultados del ensayo de Limites de Consistencia</i> | 88 |
| Tabla 28 <i>Resultados del ensayo de Proctor Modificado</i> | 89 |
| Tabla 29 <i>Resultados del ensayo de CBR</i> | 91 |
| Tabla 30 <i>Resumen de resultados realizados al material de Subrasante</i> | 92 |
| Ensayos realizados al material de Base: | |
| Tabla 31 <i>Resultados del ensayo de Análisis Granulométrico</i> | 94 |
| Tabla 32 <i>Resultados del ensayo de Contenido de Humedad</i> | 96 |
| Tabla 33 <i>Resultados del ensayo de Limites de Consistencia</i> | 97 |
| Tabla 34 <i>Resultados del ensayo de Equivalente de Arena</i> | 98 |
| Tabla 35 <i>Resultados del ensayo de Proctor Modificado</i> | 99 |
| Tabla 36 <i>Resultados del ensayo de CBR</i> | 100 |
| Tabla 37 <i>Resultados del ensayo de Abrasión los Ángeles</i> | 101 |
| Tabla 38 <i>Resultados del ensayo de Sales Solubles</i> | 102 |
| Tabla 39 <i>Resumen de resultados realizados al material de Base</i> | 103 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 40 <i>Resultados del ensayo de Resistencia a la Compresión de Concreto</i> | |
| <i>Corazones Diamantinos</i> | 108 |
| Tabla 41 <i>Resultados del cálculo de Socavación General</i> | 109 |
| Tabla 42 <i>Resultados del Método del Índice de Condición del Pavimento PCI</i> | 110 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 <i>Calidad de la red de carreteras</i> | 2 |
| Figura 2 <i>Componentes de un pavimento rígido</i> | 15 |
| Figura 3 <i>Blowup/Buckling (21)</i> | 20 |
| Figura 4 <i>Grieta de esquina (22)</i> | 21 |
| Figura 5 <i>Losa dividida (23)</i> | 22 |
| Figura 6 <i>Grieta de durabilidad “D”(24)</i> | 23 |
| Figura 7 <i>Escala (25)</i> | 24 |
| Figura 8 <i>Daño del sello de la junta (26)</i> | 25 |
| Figura 9 <i>Desnivel carril/berma (27)</i> | 26 |
| Figura 10 <i>Grietas lineales (28)</i> | 27 |
| Figura 11 <i>Parche grande (29)</i> | 28 |
| Figura 12 <i>Parche pequeño (30)</i> | 29 |
| Figura 13 <i>Pulimiento de agregados (31)</i> | 29 |
| Figura 14 <i>Popouts (32)</i> | 30 |
| Figura 15 <i>Bombeo (33)</i> | 31 |
| Figura 16 <i>Punzonamiento (34)</i> | 32 |
| Figura 17 <i>Cruce de vía férrea (35)</i> | 33 |
| Figura 18 <i>Desconchamiento o mapa de grietas, craquelado (36)</i> | 34 |
| Figura 19 <i>Grietas de retracción (37)</i> | 34 |
| Figura 20 <i>Descascaramiento de esquina (38)</i> | 35 |
| Figura 21 <i>Descascaramiento de junta (39)</i> | 36 |

| | | |
|------------------|---|----------|
| Figura 22 | <i>Formato de exploración de condición para pavimentos rígidos PCI-02</i> | 38 |
| Figura 23 | <i>Formato para la obtención del máximo valor deducido corregido</i> | 39 |
| Figura 24 | <i>Grados de la condición del pavimento PCI</i> |40 |
| Figura 25 | <i>Esquema metodológico de la investigación</i> |68 |
| Figura 26 | <i>Ubicación de la vía en estudio</i> |76 |
| Figura 27 | <i>Conteo vehicular en la vía prolongación Cusco</i> |77 |
| Figura 28 | <i>Variación diaria de vehículos de la vía prolongación Cusco</i> |78 |
| Figura 29 | <i>Composición vehicular de la vía prolongación Cusco</i> |79 |
| Figura 30 | <i>Clasificación vehicular Índice Medio Diario de la vía prolongación Cusco</i> | ...80 |
| Figura 31 | <i>Calicata 01 progresiva 0+215</i> |81 |
| Figura 32 | <i>Calicata 02 progresiva 0+430</i> |82 |
| Figura 33 | <i>Calicata 03 progresiva 0+645</i> |83 |
| Figura 34 | <i>Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado</i> |84 |
| Figura 35 | <i>Curva Granulométrica del material de Subrasante</i> |86 |
| Figura 36 | <i>Ensayo de Contenido de Humedad</i> |87 |
| Figura 37 | <i>Ensayo de Límites de Consistencia</i> |88 |
| Figura 38 | <i>Ensayo de Proctor Modificado</i> |89 |
| Figura 39 | <i>Curva de Compactación</i> |90 |
| Figura 40 | <i>Ensayo de CBR - Valor Relativo de Soporte</i> |91 |
| Figura 41 | <i>Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado</i> |93 |
| Figura 42 | <i>Curva Granulométrica del material de Base</i> |95 |
| Figura 43 | <i>Ensayo de Contenido de Humedad</i> |96 |
| Figura 44 | <i>Ensayo de Límites de Consistencia</i> |97 |

| | |
|---|-----|
| Figura 45 <i>Ensayo de Equivalente de Arena</i> | 98 |
| Figura 46 <i>Ensayo de Proctor Modificado</i> | 99 |
| Figura 47 <i>Ensayo de CBR – Valor Relativo de Soporte</i> | 100 |
| Figura 48 <i>Ensayo de Abrasión los Ángeles</i> | 101 |
| Figura 49 <i>Ensayo de Sales Solubles</i> | 102 |
| Figura 50 <i>Perfil Estratigráfico C-01 Progresiva 0+215</i> | 104 |
| Figura 51 <i>Perfil Estratigráfico C-02 Progresiva 0+430</i> | 105 |
| Figura 52 <i>Perfil Estratigráfico C-03 Progresiva 0+645</i> | 106 |
| Figura 53 <i>Ensayo de Corazones Diamantinos</i> | 107 |
| Figura 54 <i>Resistencia de las muestras de Corazones Diamantinos</i> | 108 |
| Figura 55 <i>Socavación de la vía prolongación Cusco</i> | 109 |
| Figura 56 <i>Índice de Condición del Pavimento (PCI – Pavement Condición Index)</i> | 111 |
| Figura 57 <i>Rangos y valores característicos del PCI</i> | 112 |
| Figura 58 <i>Detalle del pavimento rígido existente según diseño</i> | 113 |
| Figura 59 <i>Detalle de la propuesta estructural del pavimento rígido según diseño</i> | 113 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| (1) Socavación general Método de José Antonio Maza 1968..... | 18 |
| (2) Cálculo del PCI en una sección de pavimento | 40 |
| (3) Porcentaje retenido de cada tamiz..... | 42 |
| (4) Porcentaje pasante del tamiz N°200 | 42 |
| (5) Porcentaje pasante en cada tamiz..... | 42 |
| (6) Contenido de humedad..... | 44 |
| (7) Contenido de humedad – Límite Líquido..... | 45 |
| (8) Límite plástico | 46 |
| (9) Índice de plasticidad..... | 46 |
| (10) Equivalente de arena | 48 |
| (11) Contenido de humedad – Proctor modificado | 50 |
| (12) Peso unitario húmedo – Proctor modificado..... | 50 |
| (13) Peso unitario seco – Proctor modificado..... | 50 |
| (14) Porcentaje de expansión..... | 52 |
| (15) Valor CBR..... | 53 |
| (16) Porcentaje de desgaste – Abrasión los ángeles | 56 |
| (17) Total de sales solubles..... | 57 |

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

| | |
|--------|--|
| PCI | : Pavement Condition Index o Índice de Condición del Pavimento |
| ASTM | : American Society for Testing and Materials |
| MTC | : Ministerio de Transportes y Comunicaciones |
| AASHTO | : American Association of State Highway and Transportation Officials |
| SUCS | : Sistema Unificado de Clasificación de Suelos |
| CBR | : California Bearing Ratio |
| IMDS | : Índice Medio Diario Semanal |

RESUMEN

El presente estudio se desarrolló con el propósito de analizar los distintos factores actuantes en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay teniendo en cuenta el estado en el que se encuentra ante daños existentes.

Se empleó la siguiente metodología: el enfoque es cuantitativo y el diseño es no experimental – transversal descriptivo. Para esto se realizó la evaluación funcional y estructural del pavimento por medio de procedimientos de ingeniería basados en estudios y ensayos correspondientes; el tramo evaluado tiene una longitud de 657 metros y un ancho de calzada de 6 metros, cuenta con 438 losas. Para la evaluación funcional se empleó el método del índice de condición del pavimento PCI y con ello determinar el estado del pavimento, de igual manera se realizó el estudio de tráfico que tuvo por efecto cuantificar el volumen diario de los vehículos. Para la evaluación estructural se consideró 3 puntos de investigación entre las progresivas 0+215, 0+430 y 0+645 donde se realizaron calicatas para poder extraer muestras representativas de material y evaluar sus características físicas y mecánicas, las mismas para la extracción de testigos de concreto con el propósito de obtener la resistencia a la compresión. Finalmente se realizó la evaluación ante precipitaciones pluviales en la progresiva 0+430 lado derecho con el fin de obtener la profundidad de socavación.

Conociendo los resultados, se dio paso a obtener las conclusiones del análisis y las recomendaciones adecuadas para mejorar la serviciabilidad del pavimento.

Palabras clave: factores actuantes, serviciabilidad, pavimento.

ABSTRACT

The present study was developed with the purpose of analyzing the different factors acting on the serviceability of the rigid pavement of the Cusco extension in the city of Abancay, taking into account the state in which it is found due to existing damages.

The following methodology was used: the approach is quantitative and the design is non-experimental-descriptive cross-sectional. For this, the functional and structural evaluation of the pavement was carried out through engineering procedures based on studies and tests; The evaluated section has a length of 657 meters and a road width of 6 meters, it has 438 slabs. For the functional evaluation, the PCI pavement condition index method was used to determine the condition of the pavement. In the same way, the traffic study was carried out, which had the effect of quantifying the daily volume of vehicles. For the structural evaluation 3 research points were demonstrated between the progressive 0+215, 0+430 and 0+645 where pits were made to be able to extract representative samples of material and evaluate their physical and mechanical characteristics, the same for the extraction of cores of concrete for the purpose of obtaining compressive strength. Finally, the evaluation was carried out against rainfall on the progressive 0+430 right side in order to obtain the scour depth.

Knowing the results, the conclusions of the analysis and appropriate recommendations were obtained to improve the serviceability of the pavement.

Keywords: factors acting, serviceability, pavement.

INTRODUCCIÓN

La calidad de la infraestructura vial es de gran importancia para el desarrollo social y económico de un país. Por tanto, su función primordial es brindar un excelente servicio a los usuarios dentro del periodo de diseño. La diversidad de daños que presentan los pavimentos rígidos son debido a un diseño deficiente, uso de materiales de mala calidad, factores climáticos desfavorables y un mal proceso constructivo.

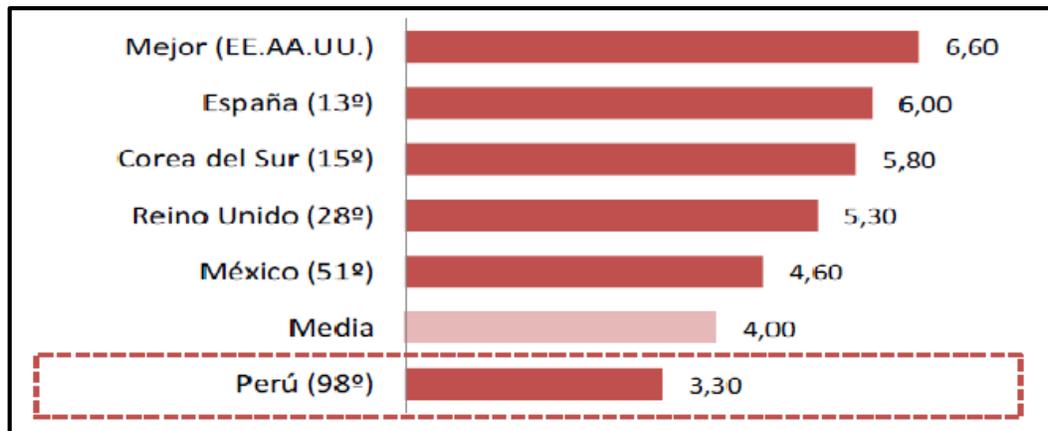
Por tal motivo, esta tesis se enfoca en el estudio de los distintos factores actuantes por medio de métodos, ensayos correspondientes y con ello determinar su influencia en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay. Posteriormente plantear alternativas de solución e implementar una serie de parámetros y criterios a ser tomados en cuenta para un adecuado control de calidad de los nuevos pavimentos que se implementan en nuestra ciudad asegurando así la durabilidad y vida útil de los pavimentos.

CAPÍTULO I: PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.1 Realidad problemática

Actualmente, la vida útil de las vías pavimentadas es una preocupación constante para todos los ciudadanos, ya que todos los pavimentos se deterioran sin excepción alguna, esto a causa de distintos factores. Por tal razón un buen proceso constructivo, un mejor diseño, así como también el mantenimiento continuo es de gran importancia, para mejorar las características de los pavimentos.

Los Países como Estados Unidos, España, Corea del Sur y Reino Unido cuentan con considerables redes de infraestructura teniendo en cuenta el índice de calidad. No obstante, Perú se encuentra en desventaja en comparación con otros países en términos del desarrollo de la infraestructura de transporte (MTC, 2014).

Figura 1*Calidad de la red de carreteras*

Nota: Escala de índice de competitividad en infraestructuras viales en el mundo

Fuente: Comunicaciones, informe N° 3. Desarrollo de la arquitectura y plan maestro de sistemas inteligentes de transporte ITS de Perú, 2014.

En nuestro País el estado de los pavimentos rígidos presenta diversos problemas en su infraestructura vial dicho de otro modo presentan diversos tipos de daños que impiden conservar su nivel de servicio a lo largo de su uso (Paucar, 2019). Asimismo, se tiene muchas vías que se encuentran en mal estado motivo por el cual se debería contar con una mejoría en la calidad de los pavimentos por medio de mantenimientos y conservación, siendo de vital importancia para poder brindar serviciabilidad a los usuarios (Bellido y Ochoa, 2017).

El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2018) indica: Perú tiene 26.916 kilómetros de vías pavimentadas quedando 135.000 kilómetros restantes de vías no pavimentadas entre nacionales, departamentales y vecinales. Es por ello que el Foro Económico Mundial, organismo encargado de clasificar el nivel de desarrollo de un país por medio de uno de sus pilares como es la infraestructura, el cual evalúa la calidad de las vías, nos sitúa en el puesto 108 del ranking de 137 países.

Dado el uso diario de los sistemas de transporte terrestre es necesario contar con un sistema que sea capaz de cuantificar la cantidad de daños considerando el aumento de las cargas aplicadas a los pavimentos. Sin embargo, el problema principal es que no existe un mantenimiento apropiado ni se toma en cuenta el plan de subsistencia de la vía. Esto quiere decir que no se evalúa el comportamiento de los pavimentos a lo largo del tiempo, solo se interviene cuando el pavimento está gravemente dañado (Zevallos, 2018).

Uno de los problemas más graves en la ciudad de Abancay, es el pésimo estado de los pavimentos urbanos, esto viene causando malestares constantes a los pobladores, tanto a peatones como conductores que circulan las distintas calles, además de causar mal aspecto a una ciudad que se encuentra en vías de desarrollo. Este es un problema latente en nuestra ciudad, pavimentos rígidos que presentan deterioros basta con recorrer las principales calles para darnos cuenta que se encuentran deterioradas, sin que nuestras autoridades tomen cartas en el asunto lo cual origina un deterioro más rápido disminuyendo su servicio óptimo, por tanto, es necesario conocer el estado de los pavimentos ya que en ella influyen diversos factores actuantes.

1.2 Identificación y formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿De qué manera influyen los factores actuantes en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay, 2022?

1.2.2 Problemas específicos

P1. ¿Cómo influye un diseño deficiente en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay, 2022?

P2. ¿Cómo influye la precipitación pluvial en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay, 2022?

1.3 Justificación de la investigación

La presente investigación se centró en las condiciones actuales que se encuentra el pavimento rígido de la prolongación Cusco ubicado entre la avenida Prado alto y avenida Tamburco ya que se ha identificado diferentes tipos de daños y/o deterioros con diferentes niveles de severidad y extensión.

Este estudio es de suma importancia, ya que busca “Determinar la influencia de los factores actuantes en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay” para proponer alternativas de solución y aplicar parámetros que deberán ser tomados en cuenta para un correcto control de calidad de los nuevos pavimentos que se implementan en nuestra ciudad asegurando así la durabilidad y vida útil de los pavimentos. Todos estos resultados obtenidos serán de beneficio para las entidades públicas y usuarios particulares.

Socialmente esta investigación tendrá como finalidad mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal que viene causando malestares constantes a los pobladores, tanto a conductores como peatones.

En el aspecto metodológico la investigación se realizó de forma ordenada y sistematizada empleando metodologías existentes dadas por normas técnicas, teniendo como resultado datos confiables asegurando la validez de la presente investigación. Esto será de aporte a otros investigadores ya que se brindará información y sugerencias a la problemática.

En el aporte práctico se brindará información obtenida de los resultados cuantitativos de los procedimientos de campo y laboratorio permitiendo adoptar el desarrollo de la investigación como modelo en la mejora de procesos constructivos, este aporte será fundamental para los profesionales en el rubro de la construcción.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Determinar la influencia de los factores actuantes en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay, 2022.

1.4.2 Objetivos específicos

O1. Analizar la influencia de un diseño deficiente en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay, 2022.

O2. Analizar la influencia de la precipitación pluvial en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay, 2022.

1.5 Delimitación de la investigación

1.5.1 Espacial

La investigación se desarrolló, en la prolongación Cusco de la ciudad de Abancay, región Apurímac; teniendo en cuenta el estado en la que se encuentra la pavimentación ante daños y/o deterioros existentes.

1.5.2 Temporal

La ejecución del presente estudio se llevó a cabo durante los meses de setiembre del 2022 a julio del 2023.

1.5.3 Social

Esta delimitación no es aplicable en la presente investigación, esto debido que el estudio se realizó a una vía pavimentada.

1.5.4 Conceptual

Los fundamentos conceptuales del estudio se basan en procedimientos de ingeniería como estudios, métodos y ensayos correspondientes.

1.6 Viabilidad de la investigación

Científicamente este estudio posee metodologías dadas por normas técnicas como métodos, trabajos de campo y ensayos de laboratorio para determinar la influencia de los factores actuantes en la serviciabilidad del pavimento rígido.

Técnicamente es viable porque, se dispuso de equipos de laboratorio calibrados y certificados, así como instrumentos a utilizar para el correcto desarrollo de la investigación.

Socialmente es viable ya que se mejorará la transitabilidad vehicular y peatonal proporcionando seguridad y comodidad a todos los residentes de la zona.

Desde el punto de vista económico se contó con el financiamiento para poder cubrir los gastos necesarios durante todo el proceso hasta la culminación de la investigación logrando resultados favorables.

1.7 Limitaciones de la investigación

La primera limitación del estudio son las fuentes de información, ya que la entidad ejecutora en este caso el Fondo Nacional de Compensación y Desarrollo Social (FONCODES) no nos pudo brindar la información requerida debido a que no se cuenta con ella.

Para la realización de los trabajos de campo y/o ensayos se tuvo que solicitar el permiso del uso de la vía a la Municipalidad Provincial de Abancay, motivo por el cual se tuvo que hacer los trámites correspondientes, sin duda esto dificultó en el avance de la investigación.

Por otro lado, al ser una investigación desarrollada de forma individual, existen muchas dificultades en cuanto a la realización de los trabajos de campo que se realizó en la vía en estudio, por lo que se solicitó apoyo del personal para su realización.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

2.1.1 *A nivel internacional*

Giancarlo (2017), en su investigación realizado en Venezuela, propuso como objetivo determinar los factores que influyen en el deterioro del pavimento en el tramo las Salinas carretera Carayaca. Uso la metodología descriptiva y diseño no experimental; teniendo como conclusiones lo siguiente:

Después de la inspección realizada por el PCI se tiene valores que se encuentran entre los rangos de malo y muy malo; donde la falla que presenta un alto porcentaje de deterioro son las grietas longitudinales y transversales teniéndose un 19 %, como también se presentaron otras fallas como hundimientos en un 15 %, 13 % de huecos, 11 % piel de cocodrilo, 12 % depresión, 10 % de disgregación, 11 % de desnivel de calzada y por último un 9 % de descascaramiento; así mismo otro de los factores que producen el deterioro del pavimento son las altas temperaturas donde la temperatura promedio anual es mayor a 25°C lo cual amerita mayores exigencias en la calidad del concreto. Finalmente, de la evaluación estructural se determinó la inestabilidad del suelo por presentarse suelos de arcillas expansivas lo cual fue otro factor que ha influido en el deterioro del pavimento.

Fiallos (2017), en su trabajo elaborado en la Universidad de Cuenca – Ecuador, tuvo como propósito fundamental investigar la situación del deterioro temprano del pavimento rígido para desarrollar un plan de manejo del deterioro del pavimento en la vía Cumbe - La Jarata; arribó a las siguientes conclusiones:

A través de las pruebas no destructivas se pudo determinar que el pavimento presenta daños estructurales debido a los bajos valores de los módulos elásticos de las losas, la utilización de cámaras para el conteo vehicular permitió una mejor aproximación en comparación con el conteo realizado en campo. Hay que mencionar que en el diseño no se tomó en cuenta la calidad del sistema de drenaje, siendo uno de los factores que han contribuido en el deterioro temprano.

García (2017), en su trabajo de investigación elaborado en Guayaquil – Ecuador, planteó como objetivo principal evaluar el pavimento rígido de la calle Ciruelos - Guayaquil; el investigador concluye:

Con el resultado del cálculo de tráfico promedio diario semanal en la calle Ciruelos (23) los cuales se tiene un tráfico promedio diario semanal (TPDS) de diseño=1012 vehículos mixtos de 2 sentidos y tráfico promedio diario semanal (TPDS) actual =1240 vehículos mixtos de 2 sentidos, habiendo un incremento de vehículos de 228 vehículos mixtos de 2 sentidos; así mismo de los resultados del número de repeticiones de carga que producen los ejes equivalentes se tiene un ESAL de diseño = 1'053.556 y un ESAL de diseño actual= 1'475.534 con una diferencia de ESAL = 4'219.78. Finalmente se concluye con el método no destructivo ensayo de esclerómetro se obtuvo una resistencia a la compresión de $f^c = 331 \text{ kg/cm}^2$.

Díaz (2016), en su investigación realizada en la Universidad de Guayaquil - Ecuador; su propósito fue conocer los factores que influyen en el deterioro del pavimento de la avenida Universitaria, la metodología empleada fue de diseño no experimental; el autor concluye:

El estado funcional del pavimento a través del índice de estado de la vía indica que un 50 % de la longitud vial se encuentra en un estado de regular a malo; por otro lado, el tráfico promedio diario semanal (TPDS) = 5640 vehículos/día existente y un número de cargas por ejes equivalentes ESAL = 5'922.999; mediante los ensayos de suelos se demostró que los valores de CBR van de 1 a 3 % demostrándose que la capacidad de soporte del suelo de fundación es casi nula. Con el cálculo de deflexiones y módulos elásticos que se midieron con el deflectómetro “viga Benkelman”, se demostró que la estructura existente no es apta para soportar la demanda del tráfico actual.

Hurtado (2016), su propósito principal fue verificar el estado del pavimento de la avenida Abdón Calderón por medio de una evaluación funcional y estructural llegando a las siguientes conclusiones:

De acuerdo a las tasas de crecimiento la vía soporta 472 vehículos por día, pero en unos 20 años el tráfico aumentara a 824 vehículos por día a todo esto, según la clasificación de suelos AASHTO se obtuvo un tipo de suelo arcilloso (A-6), un valor de CBR de 5.8 % y un valor de módulo de resiliencia de 8, 700.00 psi lo que indica que la subrasante se encuentra en condiciones desfavorables y deberá ser remplazado con material de base. Para terminar la vía presenta baches predominantes con severidad alta, fisuras longitudinales y transversales.

2.1.2 A nivel nacional.

Domingo y Elescano (2021), tuvieron como objetivo general determinar los factores actuantes en el comportamiento del pavimento rígido de la calle Luis Galvani - Ate Vitarte – Lima, la metodología empleada fue no experimental, transaccional descriptivo; llegando así a las siguientes conclusiones:

Por medio del método del PCI evaluaron el comportamiento funcional del pavimento rígido con un valor de 36.97, lo que significa que la condición de la vía en estudio tiene una clasificación mala; los resultados, por otra parte, revelaron un IMDS= 3,027.00 vehículos/día, un ESAL=

12'773.747 de 8.2 toneladas. En cuanto a las características físicas y mecánicas del material de subrasante según el sistema de clasificación de suelos AASHTO en la C-01 Prog. 0+043 y C-02 Prog. 0+037 se obtuvo un tipo de suelo grava y arena arcillosa o limosa (A-2-4) y un valor de CBR al 100 % de 106.7 %. Del material de base un tipo de suelo grava y arena arcillosa o limosa (A.2.6), valores de CBR de 71.1 % C-01 y 96.7 % C-02. Por último una resistencia a la compresión de 321 kg/cm² losa pavimento Prog. 0+163, 302 kg/cm² losa pavimento Prog. 0+086, 271 kg/cm² losa pavimento Prog. 0+210 y del análisis de los factores climáticos un gradiente térmico negativo producidas cuando la temperatura ambiente es de 11.1 ° C.

García y Ynfante (2021) en su investigación, titulada “*Evaluación del deterioro del pavimento rígido en el Jirón Maximiliano Moran Provincia de Zarumilla, Departamento de Tumbes*” (Tesis pregrado), donde el propósito de su estudio fue evaluar y diagnosticar el estado del pavimento rígido, donde el pavimento en estudio tiene 725 metros de longitud, 9 metros de ancho y cuenta con 323 losas. Para la evaluación emplearon el método PCI tomando como muestra 28 losas y en base a ello determinar las fallas existentes, por otro lado, para poder identificar el diseño existente realizaron dos calicatas a una profundidad de 1.50 metros en las progresivas 0+350 - 0+620 para realizar los diferentes ensayos correspondientes al estudio de suelo e identificar los espesores del pavimento, finalmente realizar un diseño estructural a través del estudio de tráfico (tráfico promedio semanal); arribaron así a las siguientes conclusiones:

De la evaluación mediante el método del PCI se obtuvo como resultado un valor PCI de 40, encontrándose en el rango 40-25 lo que significa que la condición de la vía en estudio tiene una clasificación mala; de la identificación del diseño existente tomando como muestra la realización de dos calicatas, obteniendo como resultado según el estudio de suelo que la primera progresiva 0+350 está compuesta por 0.20 m de losa deteriorada y 0.15 m de arena gruesa con arcilla con respecto al material de base y arcilla de mediana plasticidad con respecto al material de subrasante

en la segunda progresiva 0+620 está compuesta por 0.20 m de losa deteriorada, 0.20 m de afirmado granular correspondiente al material de base y arcilla de mediana plasticidad correspondiente al material de subrasante concluyendo así que el pavimento está compuesto por materiales que no son aptos para la zona. Por último, se concluyó con la realización de un nuevo diseño de pavimento rígido haciendo uso de la norma AASHTO 93, que la estructura del pavimento estará compuesta por un espesor de 0.20 m de losa, 0.20 m de afirmado seleccionado y 0.30 m de hormigón grueso.

Hernández y Ayala (2019), en su tesis elaborado en la región de Cajamarca – Perú, tuvieron como propósito primordial evaluar la condición del deterioro superficial en el pavimento rígido de la avenida Pakamuros para determinar la serviciabilidad, donde el pavimento en estudio tiene 1300 metros de longitud, constituido por 722 losas, los autores concluyen:

Los resultados a través del método del PCI tuvo una calificación buena, cabe mencionar que se ha identificado en el pavimento fallas predominantes como: parcheo, desconchamientos y grietas lineales. Por último, el PSI calculado es de 2.03 siendo un valor muy por debajo de lo establecido por el MTC esto significa que el pavimento necesita ser reconstruido.

Granda (2019), trazó como objetivo primordial evaluar la condición del pavimento rígido del Anillo Vial tramo Chaupimarca – Yanacancha – Pasco, el investigador utilizó un diseño no experimental y arribó a las siguientes conclusiones:

Al aplicar la metodología PCI en las 3 zonas evaluadas se encontró un índice de 32 que se encuentra en el rango de 40-25 lo que significa que la condición de la vía en estudio tiene una clasificación mala; además se identificó 18 tipos de fallas a lo largo de los 2,508 km de longitud; de la vía teniendo en cuenta que las fallas más predominantes son losas divididas, descascaramiento de junta y popouts.

Cordero (2019), cuyo objetivo principal fue determinar el nivel de serviciabilidad del pavimento flexible y la transitabilidad en la avenida Carlos Izaguirre intersección avenida 12 de octubre, distrito San Martín de Porres, la población en estudio son las vías de la avenida Santa Rosa, avenida Pacasmayo, avenida Bertello y avenida 12 de octubre, la metodología aplicada fue diseño no experimental; presentando así las siguientes conclusiones:

Según la evaluación superficial se identificó las siguientes fallas depresiones, huecos, desprendimiento, agrietamiento en bloque y parches con diferentes grados de daño; así mismo los resultados del PCI en la vía auxiliar fue de 55 lo que significa que el pavimento en estudio se encuentra en un estado regular y la vía principal muestra un PCI de 69 lo que quiere decir que el pavimento está en perfectas condiciones, por otra parte, a partir de la evaluación del pavimento realizada por el equipo de Merlín, se calcularon los siguientes índices de rugosidad: un IRI de 2.03 m/km la vía auxiliar y 1.68 m/km la vía principal encontrándose en una categoría buena ya que está dentro del rango de 0 – 3.6 m/km; además el mantenimiento más adecuado a los problemas en la pavimentación en estudio según los resultados de las evaluaciones será el rutinario considerando que ayudaría a mantener y aumentar el nivel de servicio constará de actividades a realizar como: limpieza de la carpeta asfáltica y reparación de los baches. Para terminar, se concluye que con los índices de rugosidad obtenidas de campo ($IRI_a=2.03$ m/km, $IRI_p=1.68$ m/km) estos ayudaron a encontrar los niveles de serviciabilidad ($PSI_a=3.46$, $PSI_p=3.68$) los mismos que indican que la avenida Carlos Izaguirre con la avenida 12 de octubre tanto la vía auxiliar como la principal se encuentra en una clasificación y transitabilidad buena.

Irigoin (2017), tuvo como propósito primordial analizar los factores que afectan la durabilidad del concreto en el pavimento rígido de la ciudad de Chulucanas y el planteamiento de recomendaciones para ampliar su vida útil, la población fue el sistema vial en el jirón libertad cuadra 9,10 y 11; el tesista concluye lo siguiente:

El pavimento rígido en el Jr. Libertad en las cuadras 9,10 y 11 del cercado de Chulucanas se encuentra en mal estado presentándose así fallas relevantes; en la cuadra 11 se observa un 80 % de fallas debido a un mal proceso constructivo y en la cuadra 10 se tiene un porcentaje de 50 % de fallas por abrasión de malos materiales; espesor de juntas mayor a lo recomendado superando una pulgada; así mismo pérdida de finos al entrar aguas producto de las precipitaciones pluviales ocasionando un mal sellado de juntas de dilatación; presencia de alabeo en losas debido al tráfico vehicular pesado durante la noche y presencia de hundimientos originados por un mal proceso de compactación del suelo del pavimento. Para finalizar se concluye de los resultados obtenidos que la vía en estudio no se le ha realizado un mantenimiento es ahí donde recae su mal estado.

2.1.3 A nivel regional y local

Ccasani y Ferro (2017), en su investigación elaborado en la Universidad Tecnológica de los Andes (tesis de pregrado), su objetivo durante su investigación fue la evaluación y análisis de la estructura de los pavimentos, la metodología empleada fue diseño no experimental de corte transversal, nivel descriptivo; los autores llegan a la conclusión:

Del análisis y evaluación del estado físico de los pavimentos se ha podido evidenciar diferentes tipos de deterioros, en pavimentos rígidos corresponden a fallas como: losas sub divididas y fisuras en bloque, en pavimentos flexibles se registraron fallas estructurales como: grietas lineales; se debe mencionar que se observó deficiencias en el sellado de juntas que permitieron el acceso de agua provocando daños irreversibles a la sub-base; en el caso de la evaluación de las propiedades de los materiales empleados en la estructura del pavimento se logró obtener que no cumplen con

los requisitos establecidos. El estudio de tráfico concluyó con una mayor frecuencia de automóviles (taxis).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Pavimento rígido

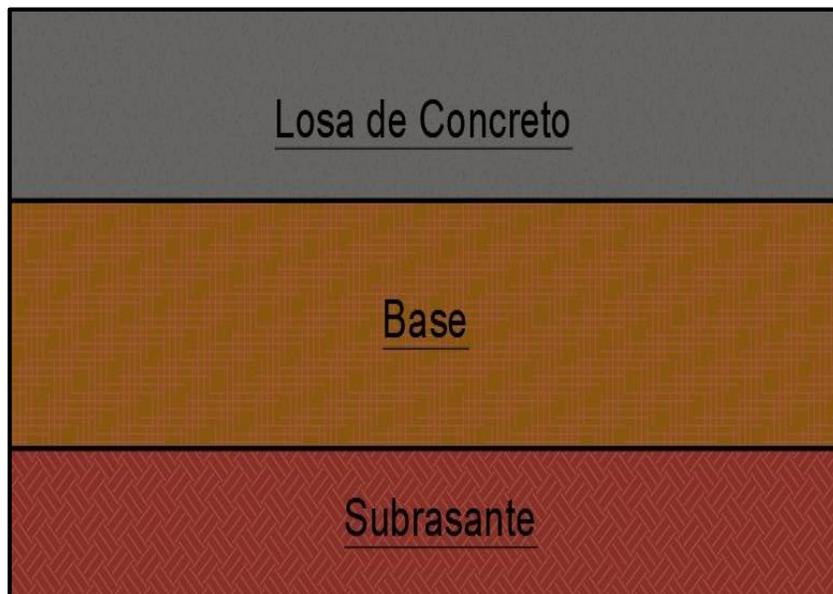
Contiene específicamente una losa de concreto; además es una estructura que está conformada por varias capas construidas sobre la subrasante para resistir y distribuir esfuerzos originados por las de cargas de tránsito (MTC, 2013).

2.2.2 Componentes que constituyen un pavimento rígido

Los componentes o elementos principales que constituye la estructura de pavimento rígido son la subrasante, base granular y losa de concreto (MTC, 2013).

Figura 2

Componentes de un pavimento rígido



Nota: Componentes principales que constituyen una estructura de pavimento rígido

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2.1 Subrasante

Es el estrato de suelo natural sobre el cual se apoyará toda la estructura del pavimento, su capacidad de soporte es un factor primordial para garantizar la durabilidad del pavimento (Brito, 2011).

2.2.2.2 Base

Es la capa de material granular que se coloca directamente sobre la subrasante y debe cumplir con ciertas especificaciones para su uso (MTC, 2014).

2.2.2.3 Losa – Carpeta de rodadura

Es la capa superior del pavimento que está hecha por una mezcla de agregados, agua, cemento y en algunos casos aditivos, de tal manera que su diseño brinde una superficie duradera y resistente para el tráfico tanto peatonal como vehicular (Montejo, 1998).

2.2.3 Factores que afectan la serviciabilidad del pavimento rígido

Existen diversos factores que influyen en la serviciabilidad de los pavimentos los mismos que deberán ser considerados como modelos de predicción de condición (Violini y Pappalardi, 2008).

- El uso de métodos de diseño actualmente inadecuados como, la evaluación incorrecta de las propiedades geotécnicas de los materiales empleados y el tránsito existente.
- Factores climáticos desfavorables como la presencia de precipitaciones pluviales estos pueden producir la erosión y el desgaste superficial del pavimento.

a) El suelo de la subrasante

Es uno de los factores más importantes que debe ser considerado dado que proporciona soporte estructural para soportar cargas de tráfico de manera uniforme (Smith y otros, 2006).

b) El material de base

Deberá tener la estabilidad adecuada para resistir cargas dinámicas y estáticas de tránsito, como también deberán cumplir con los parámetros físico- mecánicos y químicos (Smith y otros,2006).

c) Cargas de tránsito

Otro factor a considerar son las cargas de tránsito ya producen grandes efectos como defecciones unitarias y esfuerzos sobre el pavimento (Morales, 2005).

d) Factores climáticos

Los factores climáticos tienen impactos relevantes en el comportamiento de los pavimentos esto debido a que todos los materiales de la superficie de carreteras están expuestos al medio ambiente especialmente los materiales de las capas superiores; los materiales de las capas inferiores suelen estar expuestos a altos niveles de humedad (Morales, 2005).

Así mismo la presencia de precipitaciones pluviales pueden originar el fenómeno natural de socavación, el cual será desarrollado en la presente investigación.

Socavación

Sandoval (2012) afirma: Es el fenómeno natural de largo plazo y la excavación del material existente a causa del incremento de caudal. Los factores que influyen en la profundidad de socavación son factores hidrológicos (precipitaciones pluviales) y factores geomorfológicos (tipo de suelo, topografía).

Existen diferentes métodos para determinar la profundidad de socavación, el método desarrollado se detalla a continuación:

Socavación general - Método de José Antonio Maza 1968

Este método permite el cálculo de la socavación general, consiste en determinar la profundidad crítica para la condición de equilibrio que ocurre cuando dentro de un proceso de socavación la velocidad media de flujo iguala a la velocidad máxima necesaria, la profundidad socavada se calculará de la siguiente manera:

$$H_s = \left(\frac{H_o^{5/3} * S^{1/2}}{n * 0.68 * dm^{0.28} * \beta} \right)^{\frac{1}{1+x}} \quad (1)$$

Donde:

H_s = Profundidad socavada.

H_o = Profundidad máxima de la sección antes de la erosión.

dm = Diámetro medio de las partículas del material granular de acuerdo a la curva granulométrica.

β = Coeficiente que depende de la frecuencia con la que se presente la crecida de análisis.

X = Exponente variable en función del diámetro medio de la partícula.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

S = Pendiente del terreno.

2.2.4 Fallas en pavimentos

Son indicadores expuestos externamente en la estructura de un pavimento, causados por diversos factores actuantes (Núñez, 2018).

2.2.5 Tipos de fallas en pavimentos rígidos

Se tiene 19 tipos de fallas definidas (Manual Paviment Condition Index PCI, 2002).

Tabla 1*Tipos de fallas en pavimentos rígidos*

| Código de falla | Tipo de falla |
|-----------------|--|
| 21 | Blowup/Buckling |
| 22 | Grieta de esquina |
| 23 | Losa dividida |
| 24 | Grieta de durabilidad “D” |
| 25 | Escala |
| 26 | Sello de junta |
| 27 | Desnivel carril/Berma |
| 28 | Grietas lineales |
| 29 | Parqueo grande |
| 30 | Parqueo pequeño |
| 31 | Pulimiento de agregados |
| 32 | Popouts |
| 33 | Bombeo |
| 34 | Punzonamiento |
| 35 | Cruce de vía férrea |
| 36 | Desconchamiento/Mapa de grietas/Craquelado |
| 37 | Grietas de retracción |
| 38 | Descascaramiento de esquina |
| 39 | Descascaramiento de junta |

Fuente: Manual PCI, 2002.

Blowup/Buckling (21)

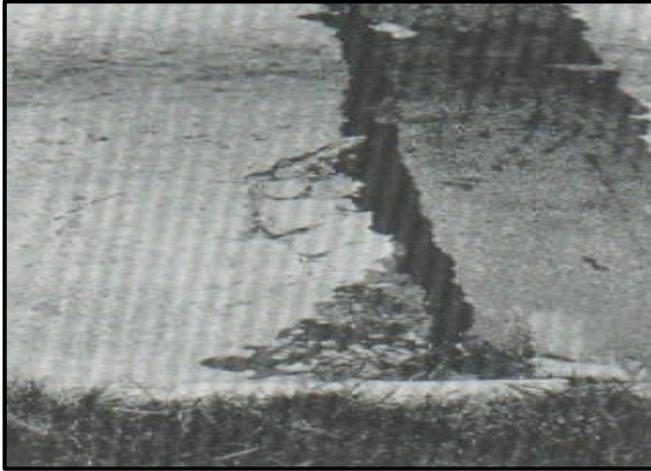
Este tipo de falla se desarrollan en tiempos cálidos, es la división de la junta y es común en los bordes de los sumideros y zanjas que se construyen para la instalación de servicios públicos.

Niveles de severidad:

L: Causa una calidad de tránsito de baja severidad.

M: Causa una calidad de tránsito de severidad media.

H: Causa una calidad de tránsito de alta severidad.

Figura 3*Blowup/Buckling (21)*

Nota: Blowup/Buckling de baja severidad

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Grieta de esquina (22)

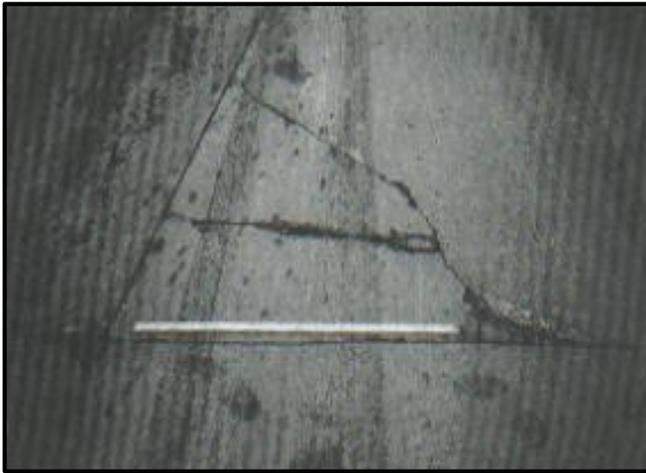
Es una grieta que separa las juntas de una losa en ambos lados a una distancia menor o igual a la mitad de su longitud.

Niveles de severidad:

L: Está definida por una grieta de baja severidad con poca o ninguna grieta en el área entre las grietas y las juntas.

M: Está definida por una grieta de severidad media con moderada grieta en el área entre las grietas y las juntas.

H: Está definida por una grieta de severidad alta con mayor agrietamiento en el área entre las grietas y las juntas.

Figura 4*Grieta de esquina (22)*

Nota: Grieta de esquina de severidad media

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Losa dividida (23)

Este tipo de falla se da cuando la losa se divide por grietas de cuatro o más partes, esto se debe a la sobrecarga inadecuada.

Tabla 2*Niveles de severidad para losa dividida*

| Severidad de la mayoría de las grietas | Número de pedazos en la losa agrietada | | |
|--|--|-------|---------|
| | 4 a 5 | 6 a 8 | 8 o más |
| L | L | L | M |
| M | M | M | H |
| H | M | M | H |

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Figura 5

Losa dividida (23)



Nota: Losa dividida de alta severidad

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Grieta de durabilidad “D” (24)

Tiene un patrón de grietas paralelas y cercanas a una grieta lineal y se produce como resultado de la expansión de los agregados.

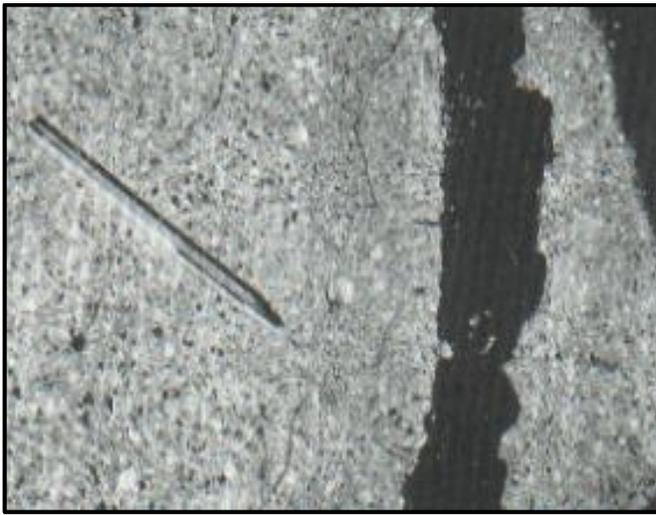
Niveles de severidad:

L: Cubren menos del 15 % del área de la losa, la mayoría de las grietas están cerradas, pero es posible que algunas piezas pueden haberse desprendido.

M: Para este nivel de severidad existen ciertas condiciones:

- Cubren menos del 15 % del área de la losa y la mayoría de los pedazos se han desprendido y pueden moverse fácilmente.
- Cubren más del 15 % del área de la losa y la mayoría de las grietas están cerradas, pero algunos pedazos se han desprendido y pueden removerse con facilidad.

H: Cubren más del 15 % del área de la losa, la mayoría de los pedazos se han desprendido y pueden removerse con facilidad.

Figura 6*Grieta de durabilidad "D" (24)*

Nota: Grieta de durabilidad de baja severidad

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

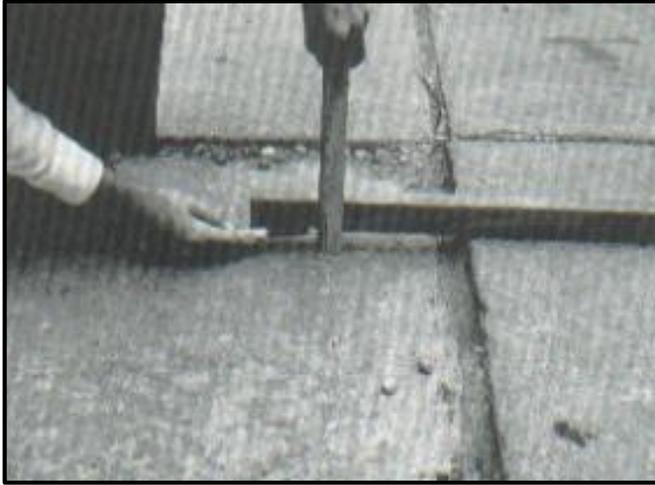
Escala (25)

Es la diferencia de nivel entre la junta y los bordes de la losa, causada por una fundación blanda y variaciones de temperatura.

Tabla 3*Niveles de severidad para escala*

| Nivel de severidad | Diferencia en elevación |
|--------------------|-------------------------|
| L | 3 a 10 mm |
| M | 10 a 19 mm |
| H | Mayor que 19 mm |

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Figura 7*Escala (25)*

Nota: Escala de alta severidad

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Daño del sello de la junta (26)

Este tipo de falla permite la acumulación de material y de grandes cantidades de agua en las juntas.

Niveles de severidad:

L: Se comporta bien, con solo daños menores. El sellante está en general en buenas condiciones en toda la sección.

M: Está en condiciones regulares en toda la sección, con uno o más tipos de daño en grado moderado. Después de dos años el sellante debe ser reemplazado.

H: Está en condición generalmente mala en toda la sección, con uno o más tipos de daño. El sellante requiere el reemplazo inmediato.

Figura 8*Daño del sello de la junta (26)*

Nota: Daño del sello de la junta de severidad media
Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Desnivel carril/berma (27)

Es la diferencia de nivel entre el borde del pavimento y el asentamiento de la berma. La desigualdad del nivel puede afectar la comodidad y la seguridad.

Niveles de severidad:

L: La diferencia de nivel entre el borde del pavimento y la berma es de 25.0 mm a 51.0 mm.

M: La diferencia de niveles es de 51.0 mm a 102.0 mm.

H: La diferencia de niveles es mayor que 102.0 mm.

Figura 9

Desnivel carril/berma (27)



Nota: Desnivel carril/berma de baja severidad

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Grietas lineales (28)

Estas fallas se originan por la combinación de dos factores, la repetición de carga de tráfico y la deformación debido a gradientes de temperatura o humedad.

Niveles de severidad:

Losas sin refuerzo:

L: Grietas no selladas de menos de 12.0 mm de ancho o grietas selladas de cualquier ancho.

M: Para este nivel de severidad existen ciertas condiciones:

- Grietas no selladas con un ancho entre 12.0 mm y 51.0 mm.
- Grietas no selladas de cualquier ancho hasta 51.0 mm con escala menor que 10.0 mm.
- Grieta sellada de cualquier ancho con escala menor que 10.0 mm.

H: Para este nivel de severidad existen ciertas condiciones:

- Grietas no selladas con un ancho mayor de 51.0 mm.
- Grietas selladas de cualquier ancho con escala mayor que 10.0 mm.

Figura 10*Grietas lineales (28)*

Nota: Grietas lineales de alta severidad

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Parche grande (29)

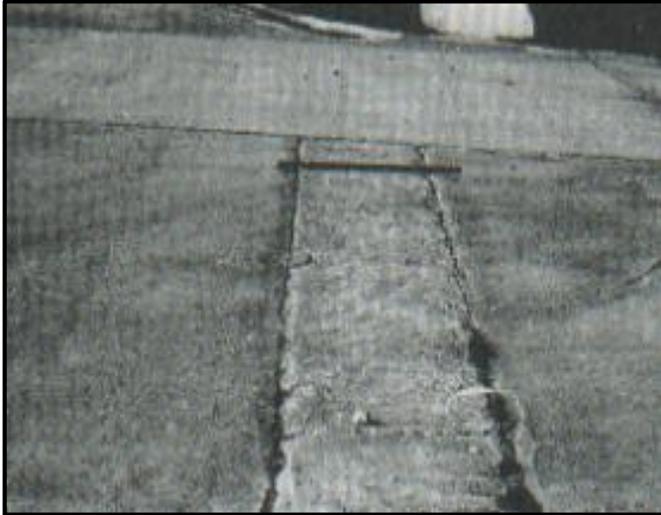
Esta falla se origina cuando se elimina pavimento original y es remplazado por un material nuevo un claro ejemplo son las excavaciones para los servicios públicos, que permiten las instalaciones y mantenimientos subterráneos.

Niveles de severidad:

L: El parche funciona bien con poco o ningún daño.

M: El parche esta moderadamente deteriorado o descascarado en sus bordes. Así mismo el material del parche puede ser retirado.

H: El parche está muy dañado y requiere remplazo.

Figura 11*Parche grande (29)*

Nota: Parche grande y acometida de servicios públicos de severidad media

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Parche pequeño (30)

Esta falla se produce cuando se extrae el pavimento original y se reemplaza con un material de relleno.

Niveles de severidad:

L: El parche funciona bien con poco o ningún daño.

M: El parche esta moderadamente deteriorado. Así mismo el material del parche puede ser retirado.

H: El parche está muy deteriorado y requiere remplazo.

Figura 12

Parche pequeño (30)



Nota: Parche pequeño de severidad media

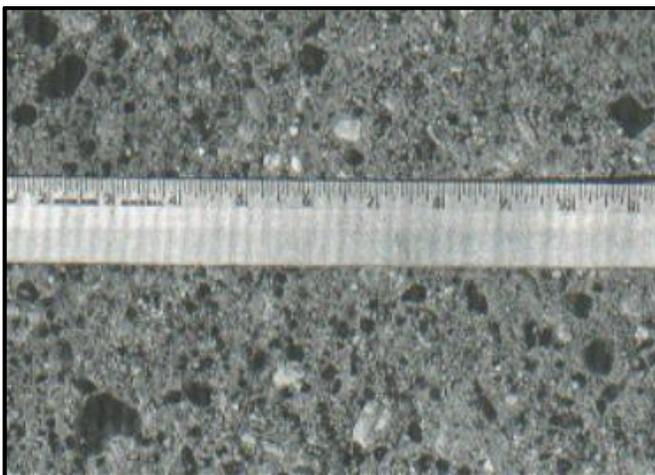
Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Pulimento de agregados (31)

Esta falla es despreciable y suave al tacto, se extiende sobre el pavimento. Se origina producto a las cargas de tráfico repetidas, los grados de severidad no están definidos.

Figura 13

Pulimiento de agregados (31)



Nota: Pulimiento de agregados

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Popouts (32)

Esta falla se da cuando una parte del pavimento se desprende de la superficie; los grados de severidad no están definidos.

Figura 14

Popouts (32)



Nota: Popouts

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Bombeo (33)

Esta falla se identifica por la presencia de manchas y material de base o sub rasante en la superficie del pavimento, no están definidos los grados de severidad será suficiente indicar su existencia.

Figura 15*Bombeo (33)**Nota:* Bombeo

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Punzonamiento (34)

Se presenta en fragmentos; puede tener una variedad de formas y figuras.

Tabla 4*Niveles de severidad para punzonamiento*

| Severidad de la mayoría de las grietas | Número de pedazos | | |
|--|-------------------|-------|----------|
| | 2 a 3 | 4 a 5 | Más de 5 |
| L | L | L | M |
| M | L | M | H |
| H | M | H | H |

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Figura 16

Punzonamiento (34)



Nota: Punzonamiento de alta severidad

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Cruce de vía férrea (35)

Esta falla se distingue por abultamientos o depresiones alrededor de los rieles.

Niveles de severidad:

L: El cruce de vía férrea origina calidad de tránsito de baja severidad.

M: El cruce de vía férrea origina calidad de tránsito de severidad media.

H: El cruce de vía férrea origina calidad de tránsito de alta severidad.

Figura 17

Cruce de vía férrea (35)



Nota: Cruce de vía férrea de baja severidad

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Desconchamiento o mapa de grietas, craquelado (36)

Se origina por la manipulación en exceso en cuanto al acabado y puede producir la rotura de la superficie.

Niveles de severidad:

L: El craquelado se presenta en la mayor parte del área de la losa; la superficie está en buena condición con un menor descamado presente.

M: La losa se encuentra descamada por otro lado menos del 15 % está afectada.

H: La losa se encuentra descamada más del 15 % de su área.

Figura 18

Desconchamiento o mapa de grietas, craquelado (36)



Nota: Desconchamiento de alta severidad

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Grietas de retracción (37)

Este tipo de fallas ocurre durante el fraguado y curado del concreto, sus grados de severidad no están establecidos.

Figura 19

Grietas de retracción (37)



Nota: Grietas de retracción

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Descascaramiento de esquina (38)

Es la fractura de la losa aproximadamente 0.6 m de la esquina.

Tabla 5

Niveles de severidad para descascaramiento de esquina

| Profundidad de descascaramiento | Diferencia en elevación | |
|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| | 127.0 x 127.0 mm a 305.0 x 305.0 mm | Mayor que 305.0 x 305.0 mm |
| Menor de 25.0 mm | L | L |
| > 25.0 mm a 51.0 mm | L | M |
| Mayor de 51.0 mm | M | H |

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Figura 20

Descascaramiento de esquina (38)



Nota: Descascaramiento de esquina de severidad media

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

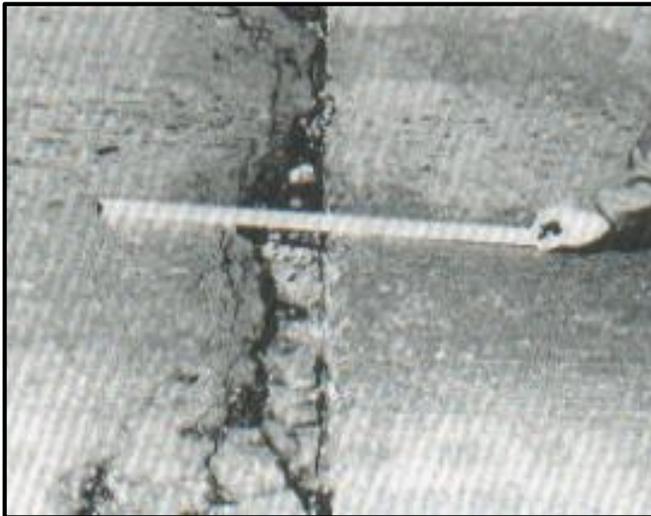
Descascaramiento de junta (39)

La falla de este tipo ocurre cuando los bordes de la losa se rompen a 0.60 metros de la junta.

Tabla 6*Niveles de severidad para descascaramiento de junta*

| Ancho del descascaramiento | Longitud del descascaramiento | |
|----------------------------|-------------------------------|---------|
| | < 0.6m | > 0.6 m |
| < 102 mm | L | L |
| > 102 mm | L | L |
| < 102 mm | L | M |
| >102 mm | L | M |
| < 102 mm | L | M |
| > 102 mm | M | H |

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Figura 21*Descascaramiento de junta (39)**Nota:* Descascaramiento de junta de alta severidad

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

2.2.6 Evaluación del pavimento

Implica medir el deterioro de la vía y evaluar la capa de rodadura., así mismo tiene por objetivo obtener datos sobre el estado del pavimento a fin de generar soluciones de rehabilitación o mantenimiento sostenible (Morales, 2004).

2.2.7 Tipos de evaluación

2.2.7.1 Evaluación funcional

Consiste en la inspección superficial realizada a una vía teniendo en cuenta la severidad y magnitud, para poseer un indicador referencial de su condición (Morales, 2004).

Método del índice de condición del pavimento (PCI - Pavement Condition Index)

Considerado como el método más completo para evaluar y calificar objetivamente los pavimentos, no requiere de un equipo sofisticado o especializado para su evaluación. Se realiza en función al manual de daños obtenidos de la superficie del pavimento.

El PCI es un índice numérico que mide las condiciones superficiales del pavimento (en este caso pavimento rígido). La puntuación cero (0) indica que el pavimento está en mal estado o fallado, mientras que la puntuación cien (100) indica que el pavimento está en perfecto estado. (Vásquez, 2002).

Tabla 7

Rangos de calificación del PCI

| Rango | Clasificación |
|--------------|----------------------|
| 100-85 | Excelente |
| 85-70 | Muy bueno |
| 70-55 | Bueno |
| 55-40 | Regular |
| 40-25 | Malo |
| 25-10 | Muy malo |
| 10-0 | Fallado |

Fuente: (ASTM D 6433).

Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento rígido

La primera etapa es el trabajo de campo, donde se identifican los daños existentes teniendo en cuenta su clase, severidad y extensión acorde con el catálogo de fallas, por consiguiente, los datos adquiridos son registrados en formatos apropiados.

Figura 22

Formato de exploración de condición para pavimentos rígidos PCI-02

| EXPLORACIÓN DE LA CONDICIÓN POR UNIDAD DE MUESTREO | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-----------------|--------------------------|----------------|-----------------------------|---|---|---|---|-----|
| ZONA | | ABSCISA INICIAL | | | UNIDAD DE MUESTREO | | | | | |
| CÓDIGO VÍA | | ABSCISA FINAL | | | NÚMERO DE LOSAS | | | | | |
| INSPECCIONADA POR | | | | | FECHA | | | | | |
| No. | Daño | No. | Daño | No. | Daño | | | | | |
| 21 | Blow up / Buckling. | 27 | Desnivel Carril / Berma. | 34 | Punzonamiento. | | | | | |
| 22 | Grieta de esquina. | 28 | Grieta lineal. | 35 | Cruce de vía férrea | | | | | |
| 23 | Losa dividida. | 29 | Parqueo (grande). | 36 | Desconchamiento | | | | | |
| 24 | Grieta de durabilidad "D". | 30 | Parqueo (pequeño) | 37 | Retracción | | | | | |
| 25 | Escala. | 31 | Pulimento de agregados | 38 | Descascaramiento de esquina | | | | | |
| 26 | Sello de junta. | 32 | Popouts | 39 | Descascaramiento de junta | | | | | |
| | | 33 | Bombeo | | | | | | | |
| Daño | Severidad | No. Losas | Densidad (%) | Valor deducido | ESQUEMA | | | | | |
| | | | | | o | o | o | o | o | |
| | | | | | | | | | | 10 |
| | | | | | o | o | o | o | o | |
| | | | | | | | | | | 9 |
| | | | | | o | o | o | o | o | |
| | | | | | | | | | | 8 |
| | | | | | o | o | o | o | o | |
| | | | | | | | | | | ... |
| | | | | | o | o | o | o | o | |
| | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | |

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

a) Unidades de muestra

El área de la unidad de muestra debe estar dentro del rango de 20 ± 8 losas.

b) Determinación de las unidades de muestreo

Se inspeccionó todas las unidades de muestra para la evaluación, las mismas que nos brindarán una confiabilidad del 100 % de los resultados.

c) Evaluación de la condición

El procedimiento varía dependiendo del tipo de superficie del pavimento. Para obtener un valor de PCI confiable debe seguirse estrictamente la definición de los daños dados en el manual.

La evaluación de la condición comprende los siguientes aspectos:

Equipo:

- Manual de daños del PCI y los formatos correspondientes.
- Regla y cinta métrica.

Equipo de inspección:

- Para el desplazamiento en la vía inspeccionada deberá implementarse todas las medidas de seguridad tales como dispositivos de señalización.

Cálculo del PCI de las unidades de muestra

Al finalizar la inspección de campo, se da inicio al cálculo del PCI “valores deducidos” de cada daño puede ser manual o computarizado.

Figura 23

Formato para la obtención del máximo valor deducido corregido

| No. | VALORES DE DUCIDOS | | | | | | | | | | TOTAL | q | CDV |
|-----|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------|---|-----|
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Manual Pavement Condition Index (PCI), 2002.

Cálculo del PCI en una sección de pavimento

Para las secciones que han sido evaluadas en su totalidad el PCI promedio de las unidades de muestreo se calculará de la siguiente manera:

$$PCI_S = \frac{\sum_{i=1}^N PCI}{N} \quad (2)$$

Donde:

PCI_S = PCI promedio de la sección del pavimento.

$\sum_{i=1}^N PCI$: Sumatoria de todos los PCI obtenidos de cada unidad de muestreo.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección.

Figura 24

Grados de la condición del pavimento PCI

| PCI | Escala de clasificación | Colores sugeridos |
|--------|-------------------------|-------------------|
| 100-85 | Excelente | Verde Oscuro |
| 85-70 | Muy Bueno | Verde claro |
| 70-55 | Bueno | Amarillo |
| 55-40 | Regular | Rojo claro |
| 40-25 | Malo | Rojo Mediano |
| 25-10 | Muy Malo | Rojo Oscuro |
| 10-0 | Fallado | Gris Oscuro |

Nota: Grados de la condición del pavimento (PCI), escala de clasificación y colores sugeridos

Fuente: (ASTM D 6433), 2003.

2.2.7.2 Evaluación estructural

Es la evaluación más completa que se basa en la obtención de los materiales que conforman las capas de un pavimento. Los métodos para este tipo de evaluación son los destructivos y no destructivos (Hoffman y Del Águila, 1985).

Métodos destructivos:

Se lleva a cabo a través de perforaciones, la ejecución de sondeos o calicatas es el método destructivo más conocido (Soengas, 2002).

Determinación del análisis granulométrico por tamizado

Este ensayo tuvo por finalidad determinar la distribución cuantitativa de una muestra de suelo, según el procedimiento del MTC E 107.

Equipos y materiales a utilizar:

- Juego de tamices de 3", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", N°4, N°8, N°10, N°16, N°30, N°40, N°50, N°100, N°200.
- Balanza con sensibilidad de 0.1 gr.
- Horno a 110 ± 5 °C de temperatura.
- Cuarteador y taras.

Procedimiento:

a) Análisis de tamizado de la fracción retenida tamiz (N° 4)

- Como primer paso el material, se pasará a través de diferentes tamices 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", N°4, realizando movimientos de un lado a otro.
- Seguidamente se calcula el peso de las fracciones retenidas de cada tamiz en una balanza para luego realizar el registro correspondiente.

b) Análisis granulométrico de la fracción fina

- El primer paso a realizar es secar la muestra en el horno por un tiempo de 12 a 16 horas, seguidamente se deja enfriar y se procede a pesar la cantidad requerida para realizar el ensayo.
- Como segundo paso se lava la muestra haciendo uso del tamiz N°200, inmediatamente se procede con el secado del material.

- Con el material seco se coloca al juego de tamices en secuencia progresiva de números N°4, N°8, N°10, N°16, N°30, N°40, N°50, N°100, N°200 y el fondo, realizando movimientos de un lado a otro.
- Por último, se pesan las partes retenidas en cada tamiz y se registran.

Tabla 8

Pesos mínimos para la muestra retenida en la malla N° 4

| Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg) | Peso mínimo aproximado de la porción (g) |
|--|--|
| 9.5 (3/8") | 500 |
| 19.6 (3/4") | 1000 |
| 25.7 (1") | 2000 |
| 37.5 (1 1/2") | 3000 |
| 50.0 (2") | 4000 |
| 75.0 (3") | 5000 |

Nota. Pesos mínimos a usar según al TMN del agregado grueso.

Fuente: MTC (2016)

Cálculos:

- El porcentaje retenido en cada tamiz debe calcularse haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100 \quad (3)$$

- La siguiente ecuación se utilizará para determinar el porcentaje pasante del tamiz N° 200:

$$\% \text{ Pasante N° 200} = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso retenido en el tamiz N° 200}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100 \quad (4)$$

- El porcentaje pasante se calculará utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Pasante} = 100 \% - \text{Retenido acumulado} \quad (5)$$

Determinación del contenido de humedad

Este ensayo se llevó a cabo de acuerdo al procedimiento del MTC E 108.

Equipos y materiales a utilizar:

- Una balanza con sensibilidad de 0.1 gr.
- Horno de secado a 110 ± 5 °C de temperatura.
- Recipientes apropiados a cambios de temperatura.
- Sujetador o guantes para la manipulación de los recipientes calientes.

Procedimiento:

- Determinar el peso del recipiente.
- Seleccionar muestras representativas.
- Colocar el espécimen húmedo en un recipiente, seguidamente se debe determinar el peso del recipiente y material húmedo haciendo uso de la balanza de precisión.
- Poner el recipiente con el material húmedo al horno durante 16 a 18 horas.
- Finalmente se dejará enfriar el recipiente y material para poder registrar su peso.

Tabla 9

Cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado

| Máximo tamaño de partículas (pasa el 100 %) | Tamaño de malla estándar | Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados | |
|---|--------------------------|---|------------|
| | | a \pm 0,1% | a \pm 1% |
| 2 mm o menos | 2,00 mm (N° 10) | 20 g | 20 g* |
| 4,75 mm | 4,760 mm (N° 4) | 100 g | 20 g* |
| 9,5 mm | 9,525 mm (3/8") | 500 g | 50 g |
| 19,0 mm | 19,050 mm (3/4") | 2,5 kg | 250 g |
| 37,5 mm | 38,1 mm (1 1/2") | 10 kg | 1 kg |
| 75,0 mm | 75,0 mm | 50 kg | 5 kg |

Nota: Cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total.

Fuente: MTC (2000)

Cálculos:

- El contenido de humedad del material, se debe calcular empleando la siguiente ecuación:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100 \quad (6)$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 10$$

Donde:

W = es el contenido de humedad, (%).

Mcws = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos.

Mcs = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos.

Mc = es el peso del contenedor, en gramos.

Mw = es el peso del agua, en gramos.

Ms = es el peso de las partículas sólidas, en gramos.

Determinación del límite líquido (L.L)

Este método de ensayo se procederá de acuerdo a los estándares del MTC E 110.

Equipos y materiales:

- Aparato de Casagrande.
- Recipiente de porcelana de 115 mm (4 ½”) de diámetro aproximadamente.
- Balanza con sensibilidad de 0,01 g.
- Acanaladores.
- Recipientes Espátula.
- Tamiz N° 40 (0,420 mm).
- Agua destilada.

Procedimiento:***Método multipunto:***

- Se debe usar el material pasante por el tamiz N°40 obteniendo una muestra representativa de 150 a 200 gramos seguidamente saturar el material durante 24 horas.
- Se debe de colocar una cantidad de muestra húmeda en la cuchara de Casagrande, seguidamente con el acanalador se divide la muestra formando una ranura.
- Se debe registrar la cantidad de golpes necesarios con una altura de 1 cm para cerrar la ranura, posteriormente son llevados al horno y se pesa.
- Se debe lavar y secar la cuchara Casagrande para las siguientes pruebas de 25 a 35 golpes la primera prueba, entre 20 y 30 golpes la segunda prueba y de 15 a 25 golpes la tercera prueba.

Cálculos:

- Para el cálculo del porcentaje de humedad, se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$W (\%) = \frac{\text{Peso del suelo húmedo} - \text{Peso del suelo seco al horno}}{\text{Peso del suelo seco al horno}} \times 100 \quad (7)$$

Determinación del límite plástico (L.P) e índice de plasticidad (I.P)

Este método de ensayo se procederá de acuerdo al procedimiento del MTC E 111.

Equipos y materiales:

- Vidrio grueso esmerilado.
- Horno a 110 ± 5 °C de temperatura.
- Tamiz N° 40.
- Balanza de sensibilidad 0,01 g.

- Recipiente de porcelana.
- Espátula de hoja flexible.
- Agua destilada.

Procedimiento:

- Se debe usar el material pasante del tamiz N°40, seguidamente se prepara el suelo con agua destilada hasta obtener una mezcla posible de amasar.
- Como segundo paso, se continúa rolando las barritas de suelo de (1/8”) hasta lograr su agrietamiento.
- Como tercer paso se introduce las barritas de suelo dentro de dos recipientes con la finalidad de promediar el valor de la humedad obtenido con cada uno.
- Como último paso se pesan los recipientes con la muestra húmeda, luego son llevados al horno durante 16 a 18 horas se deja enfriar y se vuelve a pesar.

Cálculos:

- El límite plástico de cada espécimen de suelo, se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$LP = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso del suelo seco al horno}} \times 100 \quad (8)$$

- El índice de plasticidad se determinará con la siguiente ecuación:

$$IP = LL - LP \quad (9)$$

Donde:

LL: Límite líquido.

LP: Límite plástico.

IP: Índice de plasticidad.

Método de Equivalente de arena de suelos y agregado fino

Se procederá de acuerdo al MTC E 114, dicho procedimiento establece como determinar el valor de equivalente de arena de los suelos.

Equipos y materiales:

- Probeta de plástico.
- Horno.
- Tamiz N°4.
- Solución Stock.
- Agua destilada.
- Embudo.
- Reloj.

Procedimiento:

- Como primer paso se debe llenar la solución de trabajo con el tubo irrigador hasta la altura de 4" en la probeta, seguidamente se vierte el material a ensayar en una medida de tara enrazada, con la palma de la mano golpear la parte baja de la probeta varias veces para humedecer completamente la muestra y desaparecer las posibles burbujas de aire.
- Como segundo paso se debe registrar el tiempo (hora de entrada) y dejar reposar durante minutos se deberá hacer lo mismo con las demás probetas.
- Como tercer paso se debe registrar el tiempo (hora de salida) y posteriormente tapar la probeta con el tapón de jebe y en sentido horizontal agitarla durante 45 segundos de izquierda a derecha haciendo 100 ciclos en dicho tiempo.
- Luego con la probeta en posición vertical poner el tapón de jebe y con el tubo irrigador lavar el material con la solución de trabajo por todos los lados de la probeta e introducir el tubo irrigador hasta el fondo de la misma lavando el material arcilloso y aplicando al tubo

irrigador con un movimiento ascendente, descendente y de giro entre los dedos de la mano, llenar la solución hasta que alcance las 15” de altura seguidamente se debe sacar el tubo irrigador y registrar el tiempo de entrada.

- Después se deja reposar por un tiempo de 20 minutos.
- Como cuarto paso se registra el tiempo de (hora de salida) y medición de la altura de material fino.
- Como quinto paso se introduce la varilla lentamente hasta que descansa sobre la arena girando ligeramente sin empujar hacia abajo.
- Finalmente se debe medir la altura de la arena en la base de la varilla.

Cálculos:

- Para su obtención se hará uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100 \quad (10)$$

- Se reportará como el número entero superior.

Determinación del ensayo de compactación (Proctor modificado)

Das (2013) afirma: Se hizo una modificación en el ensayo de Proctor estándar para mostrar las condiciones de campo de manera más clara esto se refiere al ensayo de Proctor modificado, que tiene como propósito conseguir la curva de compactación, que es la relación entre el contenido de agua y la densidad seca de los suelos.

Se plantearon 3 métodos como se muestra a continuación:

Tabla 10*Métodos del ensayo de Proctor Modificado*

| Método | % Retenido acumulado N°4 | % Retenido acumulado 3/8" | % Retenido acumulado 3/4" | Material a usar pasante | Diámetro del molde | Número de golpes/ Capa | Número de capas |
|--------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------|------------------------|-----------------|
| A | ≤20% | - | - | N°4 | 4" | 25 | 5 |
| B | >20% | ≤20% | - | 3/8" | 4" | 25 | 5 |
| C | - | >20% | ≤30% | 3/4" | 6" | 56 | 5 |

Nota. Métodos a emplear para el ensayo de Proctor modificado.

Fuente: Elaboración propia

Se seguirá el procedimiento del MTC E 115.

Equipos y materiales:

- Molde cilíndrico de (6") de diámetro.
- Martillo con un peso de 10 lb.
- Horno.
- Balanza 0.1 g. de precisión.
- Tamiz de 3/4".
- Probetas graduadas de 1000 ml.
- Enrasador de acero.
- Bandejas metálicas.

Procedimiento:

Método C:

- Como primer paso es la preparación de muestras para el ensayo, seguidamente se procede a secar el material.

- Se debe obtener cuatro muestras de 6 a 8 kg mediante el tamiz $\frac{3}{4}$ ", que serán los puntos para la curva.
- Se registra el peso del molde y posteriormente se coloca papel filtro en la base para evitar que la muestra de suelo se adhiera, a su vez se coloca el collarín y se asegura con los tornillos.
- Las muestras serán colocadas en una bandeja metálica añadiendo cierto porcentaje de agua con una variación de 2 % de muestra a muestra; luego se mezcla con un badilejo de tal forma obtener una mezcla homogénea.
- Como segundo paso se distribuye uniformemente cinco porciones iguales de la muestra en cada molde donde el número de capas es de 5 con 56 golpes por capa.
- Como tercer paso, terminada la compactación se retirará el collarín y se enrasa el suelo compactado del molde. Por otro lado, se deberá rellenar cualquier abertura con material pasante del tamiz N° 4.
- Finalmente se extrae una fracción de muestra de suelo en unos recipientes el cual son llevados al horno a una temperatura de 110° durante 16 a 18 horas y de este modo determinar el contenido de humedad.

Cálculos:

- El contenido de agua se calculará mediante la siguiente ecuación.

$$\% W = \frac{\text{Peso del suelo humedo} - \text{Peso del suelo seco}}{\text{Peso del suelo seco}} \times 100 \quad (11)$$

- El peso unitario húmedo se calculará mediante la siguiente ecuación.

$$\gamma_h = \frac{(\text{Peso del molde y base} + \text{Suelo compactado}) - \text{Peso del molde}}{\text{Volumen del molde}} \times 100 \quad (12)$$

- El peso unitario seco se calculará mediante la siguiente ecuación.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + w/100} \times 100 \quad (13)$$

Donde:

γ_h = Peso unitario húmedo (densidad húmeda).

γ_d = Peso unitario seca (densidad seca).

w = Contenido de humedad expresado en porcentaje.

Determinación de CBR en laboratorio (California Bearing Ratio)

Este método de ensayo se emplea para determinar la capacidad de soporte de los suelos o materiales utilizados en proyectos de pavimentación. El procedimiento a seguir se hará bajo la norma del MTC E 132.

Equipos y materiales:

- Prensa hidráulica.
- Pistón de sección circular diámetro de 2”.
- Molde de metal cilíndrico de 6” y un collar de 2”.
- Disco espaciador de acero 150.8 mm de diámetro.
- Martillo de 10 lb de peso.
- Pesas anulares de 5 lbs (2 pesas).
- Trípode y dial deformímetro con aproximación 0.001”.
- Horno.
- Balanza 0.1 g de precisión.
- Tamiz 3/4”.
- Cronómetro.

Procedimiento:

- Como primer paso es la preparación de muestras, seguidamente se procede a secar el material a una temperatura de 60°C.

- Cuartear y conseguir 20 kg de material.
- Tamizamos por el tamiz $\frac{3}{4}$ " y usamos una espátula para mezclar, inmediatamente llevamos el material a la condición de humedad ideal establecida por el ensayo de Proctor.
- Como segundo paso es el moldeado de muestras, para ello en el cilindro colocamos el espaciador.
- Llenamos el molde en 5 capas compactados con un martillo con un peso de 10 lb con los golpes necesarios molde 1 con 56 golpes, molde 2 con 25 golpes y molde 3 con 12 golpes.
- Quitamos el collar y enrasamos, para luego pesar los moldes ensayados.
- Como tercer paso es la inmersión de muestras en agua que consiste, en sumergir los moldes ensayados por un tiempo de 48 horas donde se monta el trípode con un dial para medir la expansión de la muestra de suelo, la toma de lectura se hará cada 24 horas. La siguiente ecuación se utiliza para calcular la expansión:

$$\% \text{ Expansión} = \frac{L2-L1}{127} * 100 \quad (14)$$

Donde:

L1: Lectura inicial en mm.

L2: Lectura final en mm.

- Se drenará la muestra por aproximadamente 15 minutos y se procede a pesar.
- Como cuarto paso es la resistencia a la penetración que consiste en colocar el molde 1 con 56 golpes en la prensa, iniciando la penetración a una velocidad uniforme de (0,05") por minuto.

- Tomamos lecturas cada (0.025”) de penetración y registramos la carga en cada punto, cuando llegemos a (0.5”) de penetración paramos de leer y soltamos la carga.
- Como quinto y último paso, evaluamos las muestras saturadas.

Tabla 11

Valores asignados para el ensayo de CBR

| Milímetros | Pulgadas | Esfuerzo patrón correspondiente |
|------------|----------|--|
| 0.63 | 0.025 | |
| 1.27 | 0.050 | 1000 <i>lb/pulg²</i> o 70.5 <i>kg/cm²</i> |
| 1.90 | 0.075 | |
| 2.54 | 0.100 | |
| 3.17 | 0.125 | |
| 3.81 | 0.150 | |
| 5.08 | 0.200 | 1500 <i>lb/pulg²</i> o 105.7 <i>kg/cm²</i> |
| 7.62 | 0.300 | |
| 10.16 | 0.400 | |
| 12,70 | 0.500 | |

Nota. Valores de penetración y la carga patrón correspondiente a una piedra triturada.

Fuente: MTC (2016)

Cálculos:

- Para determinar el CBR se tiene la siguiente ecuación.

$$CBR = \frac{\text{Resistencia a la penetración (psi) requerida para penetrar 0.1 pulg}}{\text{resistencia patrón (1000 lb/pulg}^2\text{)}} \times 100 \quad (15)$$

Ensayo de Abrasión los Ángeles

Tiene por objetivo determinar la resistencia a la abrasión o trituración de los materiales que se emplean en carpetas y mezclas asfálticas. Se llevará a cabo de acuerdo con la norma MTC E 207.

Equipos y materiales:

- Máquina de los Ángeles.
- Un juego de esferas de acero de 45 a 50 mm de diámetro y con una masa de 440 ± 50 gr cada una.
- Tamices de 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8".
- Horno.
- Balanza capacidad de 30 kg con una precisión de 1 gr.
- Recipientes rectangulares metálicos.

Tabla 12*Carga abrasiva*

| Gradación | Número de esfera | Peso total en (g) |
|-----------|------------------|-------------------|
| A | 12 | 5 000 ± 25 |
| B | 11 | 4 584 ± 25 |
| C | 8 | 3 330 ± 20 |
| D | 6 | 2 500 ± 15 |

Nota. Carga abrasiva a utilizar según la gradación requerida.

Fuente: MTC - E 207 (2000)

Procedimiento:***Gradación A:***

- Como primer paso es la preparación de muestra, se necesitará 6 kg aproximadamente lavada y seca posteriormente se tamiza el material según los tamices especificados.
- Como segundo paso pesar las cantidades retenidas, para luego poner la muestra de ensayo junto a las 12 esferas en la máquina los Ángeles a 500 revoluciones.
- Después de completar las revoluciones prescritas se descarga el material de la máquina y se procede a retirar las esferas; así mismo se tamiza el material por el tamiz N° 12 (1,70 mm).

- El tercer paso consiste en el lavado del material retenido de la malla N° 12 para poder eliminar los finos adheridos a las partículas.
- Como cuarto paso se deberá secar el material en el horno y pesar en una balanza con precisión de 1 g.
- Como último paso se debe expresar la diferencia del peso original entre el peso final del material ensayado como porcentaje del peso original; donde este valor será el porcentaje de pérdida por abrasión.

A continuación, se muestra lo que debe cumplir el espécimen de ensayo:

Tabla 13

Gradación de muestras de ensayo

| Medida del tamiz (abertura cuadrada) | | Masa de tamaño indicado, g | | | |
|--------------------------------------|------------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Que pasa | Retenido sobre | Gradación | | | |
| | | A | B | C | D |
| 37,5 mm (1 ½ pulg) | 25,0 mm (1 pulg) | 1250 ± 25 | ----- | ----- | ----- |
| 25,0 mm (1 pulg) | 19,0 mm (¾ pulg) | 1250 ± 25 | ----- | ----- | ----- |
| 19,0 mm (¾ pulg) | 12,5 mm (½ pulg) | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | ----- | ----- |
| 12,5 mm (½ pulg) | 9,5 mm (⅜ pulg) | 1250 ± 10 | 2500 ± 10 | ----- | ----- |
| 9,5 mm (⅜ pulg) | 6,3 mm (¼ pulg) | ----- | ----- | 2500 ± 10 | ----- |
| 6,3 mm (¼ pulg) | 4,75 mm (N°4) | ----- | ----- | 2500 ± 10 | ----- |
| 4,75 mm (N° 4) | 2,36 mm (N° 8) | ----- | ----- | ----- | 5000 ± 10 |
| Total | | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 | 5000 ± 10 |

Nota: Se observa la gradación y la granulometría de la muestra para ensayo.

Fuente: MTC - E 207 (2000)

Cálculos:

- Para determinar el porcentaje de desgaste el cual recibe el nombre de coeficiente de desgaste de los ángeles se tiene la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Desgaste} = 100 (P1 - P2)/P1 \quad (16)$$

Determinación de sales solubles en suelos

Este ensayo se hará según las normativas AASHTO T290 /NTP 339.152, dicha normas establecen el procedimiento para determinar sales solubles en suelos.

Equipos y materiales:

- Un frasco erlenmeyer de 500 ml.
- Capsulas de porcelana de 200 cm³ de capacidad.
- Balanza analítica con una precisión de 0,1 gr.
- Horno de secado a 110 ± 5 °C.
- Matraces de 500 y 100 cm³ de capacidad.
- Un agitador.
- Agua destilada.
- Ácido clorhídrico.
- Pipeta.

Procedimiento:

- El primer paso corresponde a la preparación de la muestra para ello se deberá pesar 100 gr. pasada por el tamiz N° 10. Luego en el frasco erlenmeyer de 500 ml añadir 300 ml de agua destilada y ponerlo en agitación por un tiempo de una hora aproximadamente.
- Dejar el frasco en reposo hasta obtener un líquido claro, luego se extrae del líquido claro unos 250 cm³ por medio de una pipeta y filtrar; si el filtrado inicial no quedara

transparente se puede añadir una gota de ácido nítrico antes de la segunda filtración.

- Como segundo paso corresponde medir 100 cm³ del líquido filtrado en el matraz aforado y verterlos en una capsula de porcelana, las capsulas deben colocarse en el baño María hasta que toda el agua se haya evaporado completamente. Luego, desecar el desecho en el horno.
- Como tercer paso se debe dejar enfriar las capsulas para luego pesar en la balanza analítica de precisión.
- Como cuarto y último paso se debe lavar con sumo cuidado el interior de cada capsula para eliminar el residuo soluble, luego se seca nuevamente en la estufa a una temperatura de 180°C y después de enfriarlas se vuelve a pesar.

Cálculos:

- Para determinar el total de sales solubles en suelos se tiene la siguiente ecuación.

$$SS = \frac{(m_2 - m_1) \times D}{E} \times 10^6 \quad (17)$$

Donde:

SS = Total de sales solubles, en ppm (mg/kg).

$(m_2 - m_1)$ = Peso del residuo de evaporación, en g.

D = Relación de la mezcla suelo: agua, ejemplo: si la mezcla es 1:3; D=3.

E = Volumen de extracto acuoso evaporado, ml.

Método para la obtención y Ensayo de corazones diamantinos

Este ensayo tuvo como objetivo efectuar la evaluación estructural a partir de especímenes representativos, el procedimiento a seguir consiste básicamente en la extracción de los testigos diamantinos y la resistencia a compresión de los mismos, tal como indica las normas ASTM C42/NTP 339.059.

Equipos y materiales:

- Equipo de diamantina.
- Brocas diamantadas de 4" de diámetro.
- Detector de acero.
- Equipo de compresión de concreto.
- Bomba de agua inyectora.

Procedimientos:

La labor realizada durante la extracción de los testigos diamantinos incluye lo siguiente:

- Como primer paso es la ubicación de cada punto de extracción, posteriormente se fija el equipo de diamantina o equipo de perforación.
- Como segundo paso corresponde a la extracción de testigos de concreto (corazones diamantinos) por medio de una maquina saca núcleos, también llamada diamantina en la estructura en evaluación, es importante tener en cuenta que la ubicación de los puntos de extracción no coincida con el acero presente en los elementos estructurales, por lo que se utilizó el equipo de detector de acero.
- Como tercer paso corresponde a la medición, identificación y embalaje apropiado de los testigos de concreto.

La labor realizada en el laboratorio con los testigos diamantinos incluye lo siguiente:

- Medición de los testigos diamantinos tanto altura como diámetro.
- Se deberá nivelar las caras de los testigos diamantinos previo al ensayo de compresión colocando caping (refrentado).
- Por último, se procede a realizar el ensayo de resistencia en el equipo a la compresión de concreto.

Cálculos:

- Para el cálculo de la resistencia a la compresión de cada espécimen se utilizará el área transversal calculada sobre la base del diámetro promedio del espécimen.
- Si la relación longitud – diámetro ($L/D < 2$) se debe realizar la corrección en la resistencia a la compresión de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 14*Factor de corrección de resistencia*

| Relación longitud/diámetro (L/D) | Factor de corrección de resistencia |
|---|--|
| 2.00 | 1.00 |
| 1.75 | 0.98 |
| 1.50 | 0.96 |
| 1.25 | 0.93 |
| 1.00 | 0.87 |

Nota. Factor de corrección a utilizar según la relación longitud/diámetro.

Fuente: NTP 339.059 (2001)

2.2.8 Requisitos de los materiales

Se basa en función a los requerimientos y exigencias que los materiales deben cumplir, para ello nos basaremos en la Norma Técnica de Edificación CE.010 Pavimentos Urbanos.

2.2.8.1 Requerimientos granulométricos para base granular

Estos materiales deberán cumplir los requisitos de gradación establecidos en la siguiente tabla:

Tabla 15*Requerimientos granulométricos para base granular*

| Tamiz | Porcentaje que pasa en peso | | | |
|-----------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Gradación A | Gradación B | Gradación C | Gradación D |
| 50 mm (2") | 100 | 100 | ----- | ----- |
| 25 mm (1") | ----- | 75 - 95 | 100 | 100 |
| 9,5 mm (3/8") | 30 - 65 | 40 - 75 | 50 - 85 | 60 - 100 |
| 4,75 mm (N° 4) | 25 - 55 | 30 - 60 | 35 - 65 | 50 - 85 |
| 2,00 mm (N° 10) | 15 - 40 | 20 - 45 | 25 - 50 | 40 - 70 |
| 4,25 µm (N° 40) | 8 - 20 | 15 - 30 | 15 - 30 | 25 - 45 |
| 75 µm (N° 200) | 2 - 8 | 5 - 15 | 5 - 15 | 8 - 15 |

Nota: La curva de gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

Fuente: Sección 304 de las EG-2000 del MTC (2000)

2.2.8.2 Requerimientos de CBR para base granular

Para que un material granular sea utilizado como base granular para pavimentos, debe tener las siguientes características mecánicas:

Tabla 16*Valor relativo de CBR en función al tráfico en ejes equivalentes*

| Relación de soporte californiana (CBR) | Tráfico en ejes equivalentes < 1000000 | Mín. 80% |
|--|--|---|
| | | Tráfico en ejes equivalentes \geq 1000000 |

Nota: valores de CBR mínimos en función al tráfico en ejes equivalentes.

Fuente: MTC (2013)

Tabla 17*Valor relativo de CBR en función al tipo de vía*

| Relación de soporte californiana (CBR) | Vías colectoras y locales | Mín. 80% |
|--|---------------------------|----------------------------|
| | | Vías arteriales y expresas |

Nota: Valores de CBR mínimos en función al tipo de vía.

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2017)

2.2.8.3 Requerimiento del agregado grueso para base granular

Los materiales retenidos del tamiz N° 4 deben cumplir con las siguientes especificaciones:

Tabla 18

Requerimiento del agregado grueso para base granular

| Ensayo | Norma MTC | Norma ASTM | Norma AASHTO | Requerimientos Altitud | |
|--------------------------------------|-----------|------------|--------------|------------------------|---------------|
| | | | | < 3000 msnm | > = 3000 Msnm |
| Partículas con una cara Fracturada | MTC E 210 | D 5821 | | 80% mín. | 80% mín. |
| Partículas con dos caras Fracturadas | MTC E 210 | D 5821 | | 40% mín. | 50% mín. |
| Abrasión Los Ángeles | MTC E 207 | C 131 | T 96 | 40% máx. | 40% máx. |
| Partículas chatas y alargadas | | D4791 | | 15% máx. | 15% máx. |
| Sales solubles Totales | MTC E 219 | D 1888 | | 0,5% máx. | 0,5% máx. |
| Durabilidad al sulfato de magnesio | MTC E 209 | C 88 | T 104 | | 18% máx. |

Nota: Resumen de ensayos requeridos del agregado grueso para base en carreteras y pavimentos.

Fuente: MTC (2013)

2.2.8.4 Requerimiento del agregado fino para base granular

Los materiales pasantes del tamiz N°4 deben cumplir con las siguientes especificaciones:

Tabla 19*Requerimiento del agregado fino para base granular*

| Ensayo | Norma | Requerimientos altitud | |
|------------------------------------|-----------|------------------------|---------------|
| | | < 3000 msnm | > = 3000 msnm |
| Índice plástico | MTC E 111 | 4% máx. | 2% mín. |
| Equivalente de arena | MTC E 114 | 35% mín. | 45% mín. |
| Sales solubles | MTC E 219 | 0,5% máx. | 0,5% máx. |
| Durabilidad al sulfato de Magnesio | MTC E 209 | ----- | 15% |

Nota: Resumen de ensayos requeridos del agregado fino para base en carreteras y pavimentos.

Fuente: MTC (2013)

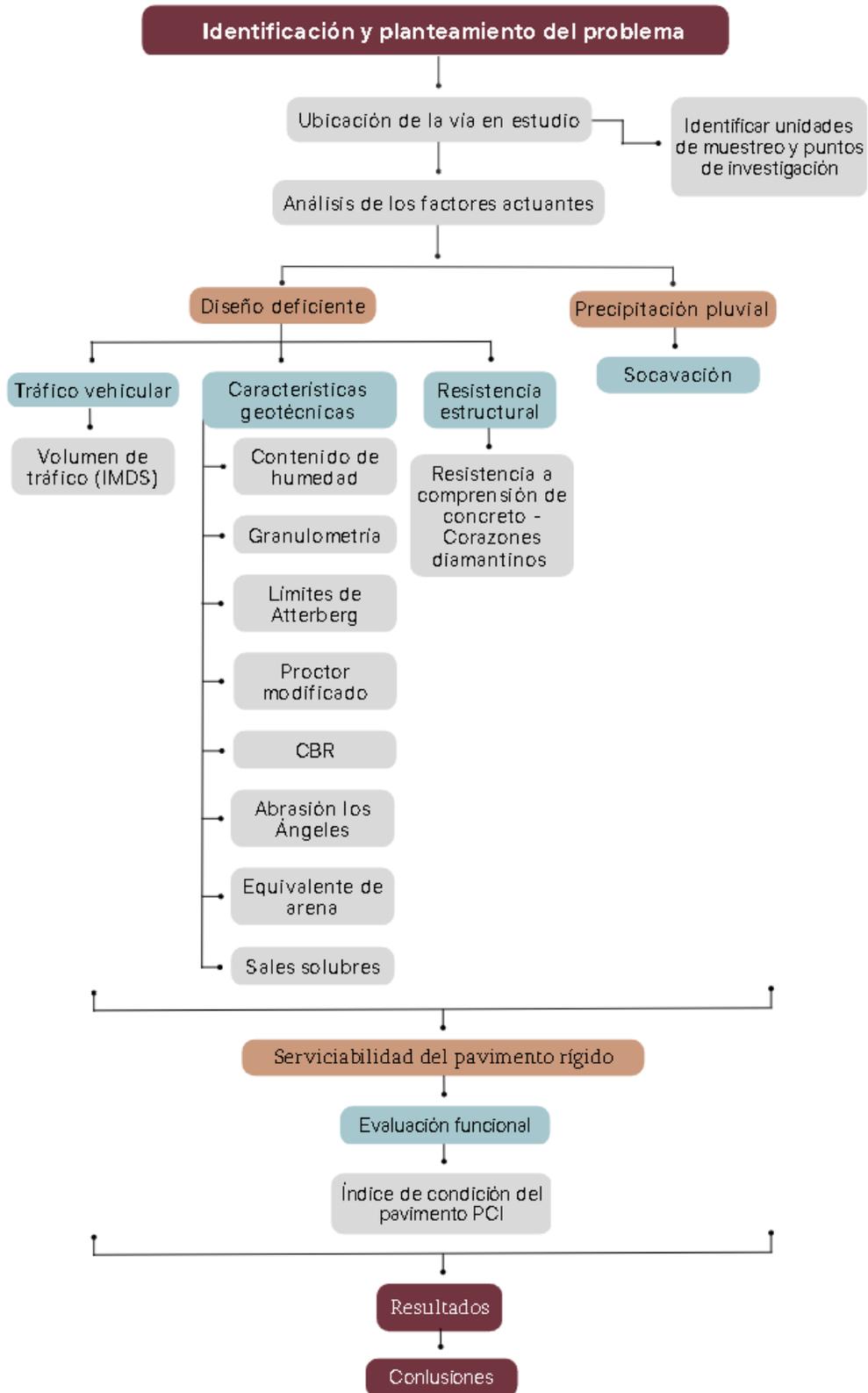
2.2.9 *Serviciabilidad*

Es una medida de comportamiento del pavimento en relación con la seguridad y la comodidad que los usuarios pueden obtener al circular por una vía (comportamiento funcional). También está relacionado con las características físicas (comportamiento estructural) que pueden manifestarse como fallas que afectan la capacidad de soporte de la estructura del pavimento (Dujisin y Arroyo, 1995).

El concepto de serviciabilidad se basa en los siguientes aspectos fundamentales:

- Las vías están construidas para garantizar seguridad y comodidad a los usuarios.
- La serviciabilidad se puede expresar a través de calificaciones de las vías realizada por los usuarios.
- La opinión de los usuarios es una respuesta subjetiva sobre la calidad y comodidad de la transitabilidad.

2.2.10 Procedimiento de la investigación



Fuente: Elaboración propia.

2.3 Marco conceptual

Factores actuantes: Factores tanto de la naturaleza como del hombre que intervienen en la serviciabilidad del pavimento como el volumen de tráfico (cargas de los vehículos), características geotécnicas (calidad de los materiales) y factores climáticos.

Serviciabilidad: Medida de comportamiento que se relaciona con el estado y funcionalidad del pavimento a lo largo de su vida útil (Dujisin y Arroyo, 1995).

Pavimento rígido: Un pavimento rígido contiene específicamente una losa de concreto; además es una estructura que está conformada por varias capas construidas sobre la subrasante para resistir y distribuir esfuerzos originados por las de cargas de tránsito (MTC, 2013).

Diseño deficiente: Es el empleo de métodos de diseño actualmente inadecuados como la evaluación incorrecta de las propiedades geotécnicas de los materiales empleados y el tránsito existente (Violini y Pappalardi, 2008).

Precipitación pluvial: Se refiere a cualquier forma de agua, sólida o líquida que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno puede manifestarse como lluvia, llovizna, granizo o nieve (Fattorelli y Fernández, 2007).

Evaluación funcional: Consiste en inspeccionar superficialmente una vía para determinar su estado y severidad (Morales, 2004).

Índice de condición del pavimento (PCI): Método que determina la evaluación funcional del pavimento en base a la clase, severidad y cantidad de daño (Manual PCI, 2002).

Fallas en pavimentos: Son indicadores expuestos externamente en la estructura de un pavimento, causados por diversos factores actuantes (Núñez, 2018).

Evaluación estructural: Se basa en la obtención de los materiales que conforman las capas de un pavimento. Los métodos actuales para este tipo de evaluación son destructivos y no destructivos (Hoffman y Del Águila, 1985).

Índice medio diario semanal (IMDS): Es el volumen total que pasa en una sección dada de la vía en ambos sentidos, en un día promedio durante una semana (MTC, 2008).

Volumen de tráfico: Cantidad de vehículos que pasan por un punto de carril de una vía en un tiempo determinado (MTC, 2008).

Socavación: Es el fenómeno natural de largo plazo y la excavación de material existente a causa del incremento de caudal (Sandoval, 2012).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Hipótesis

3.1.1 *Hipótesis general*

Los factores actuantes influyen en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay, 2022.

3.1.2 *Hipótesis específicas*

H₁. Un diseño deficiente influye en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay, 2022.

H₂. La precipitación pluvial influye en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay, 2022.

3.2 Método

3.2.1 Método

La presente investigación empleo el método analítico, se basa en descomponer el objeto de estudio, permitiendo separar cada uno de sus elementos que lo constituyen para estudiarlo de manera individual y a partir de ello observar las causas, la naturaleza y los efectos (Hernández R. y otros, 2014).

3.2.2 Enfoque

El enfoque es cuantitativo porque es secuencial y probatorio, utiliza la recolección de datos para verificar las hipótesis formuladas, al mismo tiempo se caracteriza por realizar mediciones prácticas para establecer patrones de comportamiento (Hernández R. y otros, 2014).

3.3 Tipo de investigación

Según Muñoz R. (2011) indica: Se denomina aplicada, al estudio que se caracteriza por la aplicación de conocimientos obtenidos de la investigación básica para poder resolver problemas empíricos, prácticos y técnicos al beneficio y progreso de los sectores de producción de bienes y servicios de la sociedad.

En este entender se consideró el estudio de los distintos factores actuantes para plantear alternativas de solución, asegurando así la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay.

3.4 Nivel o alcance de la investigación

Para Fernández y Baptista, (2014): El nivel descriptivo describe fenómenos en condiciones reales, en un área geográfica y en un tiempo determinado con el fin de describir variables y estimar parámetros.

En este entender la investigación cumple con los requisitos para ser una investigación de nivel descriptivo, principalmente porque se evaluó, recolectó y midió datos sobre las variables y dimensiones del fenómeno en estudio.

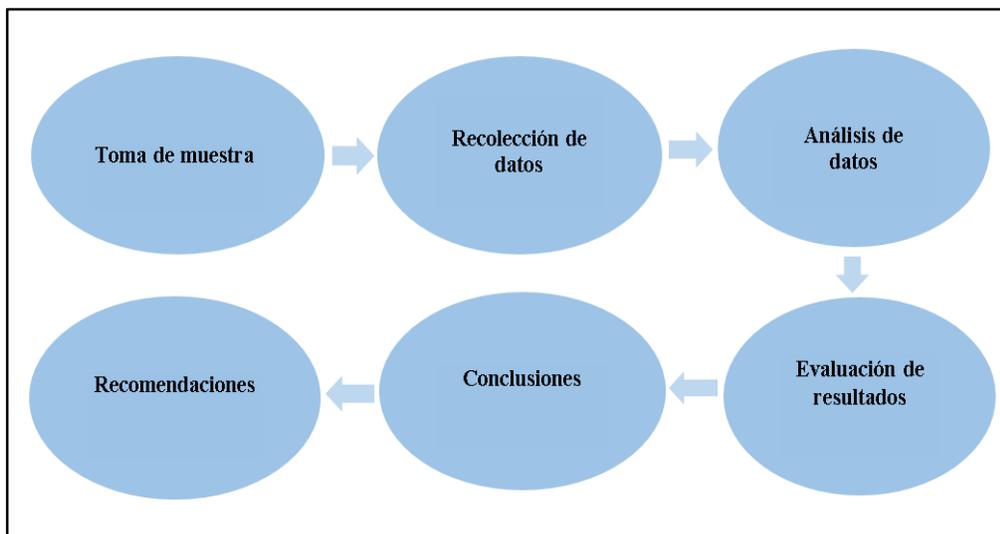
3.5 Diseño de la investigación

Según Hernández y Mendoza, (2018) señala: En el diseño no experimental – transversal descriptivo no se manipula las variables se observan los fenómenos en estudio en su contexto natural en lugar de provocarlos intencionalmente, son estudios puramente descriptivos.

Por lo tanto, se utilizó el diseño de investigación no experimental – transversal descriptivo debido a que las variables analizadas no fueron modificadas intencionalmente, los resultados observados se han producido durante el desarrollo de la investigación en un espacio y tiempo determinado.

Figura 25

Esquema metodológico de la investigación



Fuente: Elaboración propia

3.6 Operacionalización de variables

Variable independiente:

Factores actuantes.

Dimensiones:

Diseño deficiente, precipitación pluvial.

Variable dependiente:

Serviciabilidad del pavimento rígido.

Dimensiones:

Evaluación funcional.

3.7 Población, muestra y muestreo

3.7.1 Población

Es el conjunto de personas, elementos, sucesos y acontecimientos que son el enfoque de estudio (Silvestre y Huamán,2019).

En esta investigación la población está constituida por la longitud de la pavimentación de la prolongación Cusco en la ciudad de Abancay, que tiene 657 metros lineales de longitud y un ancho de vía de 6 metros.

3.7.2 Muestra

Se define como un subconjunto de casos de una población específica para los que se busca recopilar datos o información. Por lo tanto, todas las muestras posibles deben ser consideradas máximas o mínimas (Hernández R. y otros ,2014).

En este sentido para la evaluación funcional del pavimento la muestra es igual a la población donde el manual del PCI establece que, el área de unidad de muestra debe estar dentro del rango 20 ± 8 losas por lo tanto, dentro de la longitud se consideró tramos de estudio ubicado entre las progresivas 0+000 al 0+657 de igual manera para el estudio de tráfico y para la evaluación ante precipitaciones pluviales (socavación) se consideró un tramo en estudio ubicado en la progresiva 0+430 lado derecho aguas abajo. Para la evaluación estructural del pavimento la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos establece que, el número de puntos de investigación será de acuerdo con el tipo de vía por lo tanto, la vía en estudio es de tipo local donde el número de puntos de investigación corresponde a 1 cada 1800 m² de área y teniendo un área de 3942 m² se consideró 3 puntos de investigación entre las progresivas 0+215, 0+430 y 0+645 donde se realizaron (calicatas a una profundidad de 1.50 m) para poder extraer muestras representativas de material, las mismas para la extracción de testigos diamantinos.

3.7.3 *Muestreo*

El muestreo no probabilístico intencional ocurre cuando los elementos elegidos para la muestra no dependen de la probabilidad sino de razones relacionadas con las características de la investigación o el criterio del investigador (Hernández R. y otros ,2014).

Es allí donde se fijó puntos de trabajo tal como se mencionó anteriormente, para así poder realizar los trabajos de campo, ensayos in situ y la recolección de muestras de material para realizar ensayos en laboratorio.

3.8 **Técnicas e instrumentos**

Son un conjunto de acciones que realiza el investigador para recopilar datos que le permitan lograr sus objetivos, para lograr esto se utilizan instrumentos válidos y confiables o se adaptan (Hernández R. y otros ,2014).

3.8.1 *Técnicas*

Observación: Se empleó la observación directa ya que nos permite analizar los comportamientos y conocer los resultados de los trabajos de campo, ensayo in situ y los ensayos en laboratorio.

Pruebas estandarizadas: Los ensayos realizados tuvieron como referencia el manual de ensayos de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones y las Normas Técnicas Peruanas

Métodos y procedimientos específicos: El método de evaluación de la condición del pavimento tubo como referencia el Manual (PCI – Pavement Condition Index), de igual manera para el estudio de tráfico se tuvo como referencia el Manual de Diseño Geométrico (DG-2018) Por último, para determinar la profundidad de socavación se tuvo como referencia el método de José Antonio Maza.

3.8.2 Instrumentos

Recursos utilizados por el investigador para registrar datos o información sobre las variables estudiadas (Hernández R. y otros ,2014).

Se utilizó instrumentos o formatos de los diferentes ensayos y métodos a emplear tal como se detalla a continuación:

Tabla 21

Instrumentos a emplear

| Método /Ensayo | Instrumento empleado | Norma técnica empleada |
|-------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| Evaluación funcional | Formato PCI-02 | ASTM D6433 |
| Estudio de tráfico | Formato de conteo vehicular | MTC |
| Análisis granulométrico | Formato de granulometría | MTC E 107 |
| Contenido de humedad | Formato de contenido de humedad | MTC E 108 |
| Límites de consistencia | Formato de limite líquido y plástico | MTC E 110 – 111 |
| Equivalente de arena | Formato de equivalente de arena | MTC E 114 |
| Proctor modificado | Formato de Proctor modificado | MTC E 115 |
| CBR en laboratorio | Formato de CBR | MTC E 132 |
| Abrasión los ángeles | Formato de abrasión los ángeles | MTC E 207 |
| Sales solubles | Formato de sales solubles | NTP 339 152 |
| Corazones diamantinos | Formato de corazones diamantinos | NTP 339 059 |

Nota: Instrumentos y normas a emplearse de los diferentes métodos y ensayos planteados en la investigación.

Fuente: Elaboración propia

3.9 Consideraciones éticas

La presente investigación se desarrolló tomando en cuenta los siguientes aspectos éticos:

- Veracidad de los datos obtenidos.
- Reconocer claramente a todos los autores de la bibliografía.
- Honestidad.

3.10 Procesamiento estadístico

El procesamiento de información se llevó a cabo siguiendo los protocolos establecidos del mismo modo los datos obtenidos son fiables ya que fueron analizados de acuerdo a las normas técnicas. Posterior a la obtención de datos de los ensayos y métodos realizados en la investigación estas fueron tabuladas y analizadas con el paquete estadístico del programa Microsoft Excel, lo que permitió aplicar la estadística descriptiva presentándolos en tablas y figuras estadísticas que cumplirán con los objetivos planteados.

Cabe indicar que durante el desarrollo de la investigación a través de los resultados obtenidos se ha podido comprobar las hipótesis planteadas.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

Los resultados obtenidos son presentados de manera ordenada en función a la variable independiente y variable dependiente.

4.1.1 A nivel de la variable independiente: Factores actuantes

Los factores actuantes son: Diseño deficiente y Precipitación pluvial.

4.1.1.1 Ubicación de la vía en estudio

La vía en estudio está ubicada al sur oeste de la población de Abancay en la prolongación Cusco en el tramo entre la avenida Prado alto y avenida Tamburco. Según el Manual de Diseño Geométrico (DG-2018) se define como una vía local, tiene 657 metros lineales de longitud y un ancho de vía de 6 metros donde se realizó la evaluación funcional y estructural del pavimento rígido ante factores actuantes (diseño deficiente y precipitación pluvial).

Figura 26

Ubicación de la vía en estudio



Nota: Ubicación de la vía en estudio y puntos de muestreo. Adaptada de Google Earth.

4.1.1.2 Análisis de los factores actuantes

4.1.1.2.1 Diseño deficiente

- **Tráfico vehicular:**

El estudio de tráfico vehicular tuvo por efecto clasificar, cuantificar y obtener el volumen diario de los vehículos que transitan por la prolongación Cusco mediante el procesamiento de datos recopilados en campo y a través de los resultados contar con los elementos necesarios para determinar las características del diseño preliminar del pavimento.

Características básicas del conteo vehicular:

- El conteo se realizó en siete días (lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, sábado y domingo) durante 24 horas con el propósito de identificar el comportamiento del flujo vehicular durante el día y la noche.

- Las horas de conteo se llevaron a cabo desde las 06:00 am hasta las 06:00 am del día siguiente, y se cerraron cada hora para evaluar posibles variaciones horarias.

A continuación, se presenta el conteo vehicular realizado durante una semana:

Figura 27

Conteo vehicular en la vía prolongación cusco

| CONTEO VEHICULAR | | | | | | | | | |
|------------------|-------------------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|--------|-------|
| TIPO DE VEHICULO | DÍAS DE LA SEMANA | | | | | | | TOTAL | |
| | LUNES | MARTES | MIÉRCOLES | JUEVES | VIERNES | SABADO | DOMINGO | | |
| AUTO | 2,324 | 2,452 | 2,337 | 2,443 | 2,500 | 2,525 | 1,299 | 15,880 | |
| STATION WAGON | 2,042 | 2,027 | 2,165 | 2,128 | 2,218 | 2,098 | 2,001 | 14,679 | |
| CAMIONETAS | PICK UP | 474 | 417 | 413 | 405 | 411 | 405 | 403 | 2,928 |
| | PANEL | 12 | 19 | 13 | 10 | 9 | 0 | 2 | 65 |
| | COMBI RURAL | 14 | 19 | 3 | 5 | 12 | 3 | 2 | 58 |
| MICRO | 25 | 19 | 18 | 26 | 18 | 23 | 0 | 129 | |
| BUS | 2 E | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 9 |
| | >=3E | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CAMION | 2 E | 36 | 23 | 14 | 18 | 20 | 10 | 17 | 138 |
| | 3 E | 20 | 15 | 13 | 8 | 12 | 5 | 6 | 79 |
| | 4 H | 9 | 7 | 14 | 3 | 7 | 0 | 2 | 42 |
| SEMITRAYLER | 2S1/2S2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 9 |
| | 2S3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| | 3S1/3S2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | >=3S3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TRAYLER | 2T2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2T3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 3T2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | >=3T3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | 4,960 | 5,003 | 4,994 | 5,047 | 5,210 | 5,070 | 3,733 | 34,017 | |

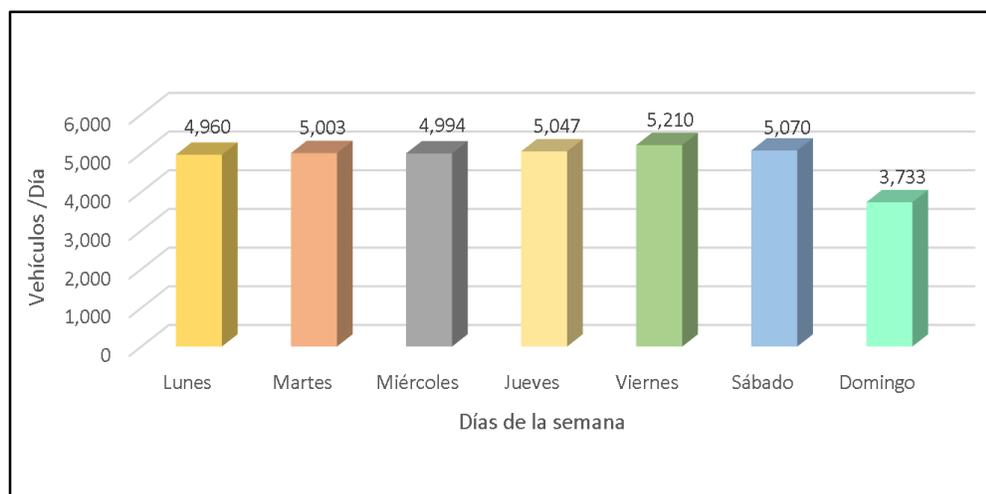
Nota: Conteo vehicular realizado durante una semana

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta la variación diaria de vehículos durante los siete días de evaluación:

Figura 28

Variación diaria de vehículos de la vía prolongación Cusco



Nota: Variación diaria de vehículos, obteniéndose una mayor demanda el día viernes con un total de 5210 vehículos, mientras que el día domingo presenta una menor demanda resultándose un total de 3733 vehículos.

Fuente: Elaboración propia

Se presenta la composición del tráfico en relación al índice medio diario.

Tabla 22

Composición del tráfico vehicular de la vía prolongación Cusco

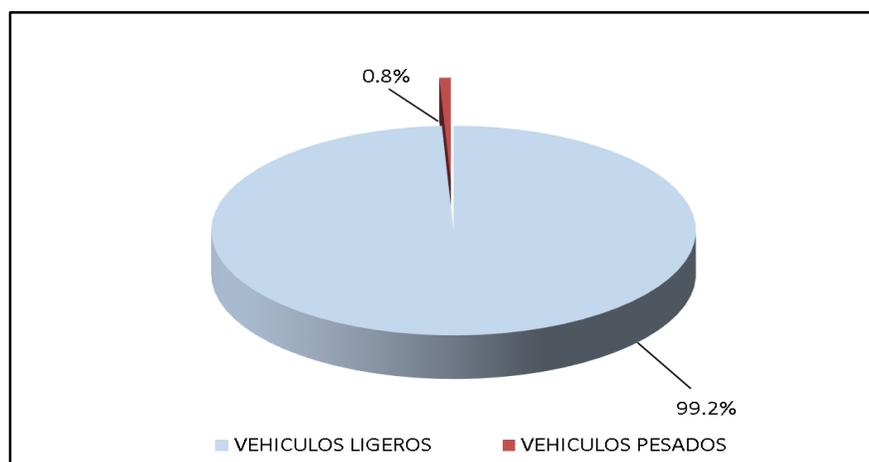
| Tipificación vehicular | Cantidad | Porcentaje % |
|------------------------|-------------|----------------|
| Vehículos ligeros | 4819. | 99.2 |
| Vehículos pesados | 39 | 0.8 |
| Total | 4858 | 100.0 % |

Nota: Se detalla la composición vehicular según tipificación vehicular.

Fuente: Elaboración propia

Figura 29

Composición del tráfico vehicular de la vía prolongación Cusco



Nota: De la composición del tráfico vehicular se tiene un porcentaje mayor de vehículos ligeros y un porcentaje menor en cuanto a vehículos pesados.

Fuente: Elaboración propia

Se muestra a continuación, el índice medio diario y la distribución vehicular según el tipo de vehículos.

Tabla 23

Clasificación índice medio diario IMD y distribución vehicular de la vía prolongación Cusco

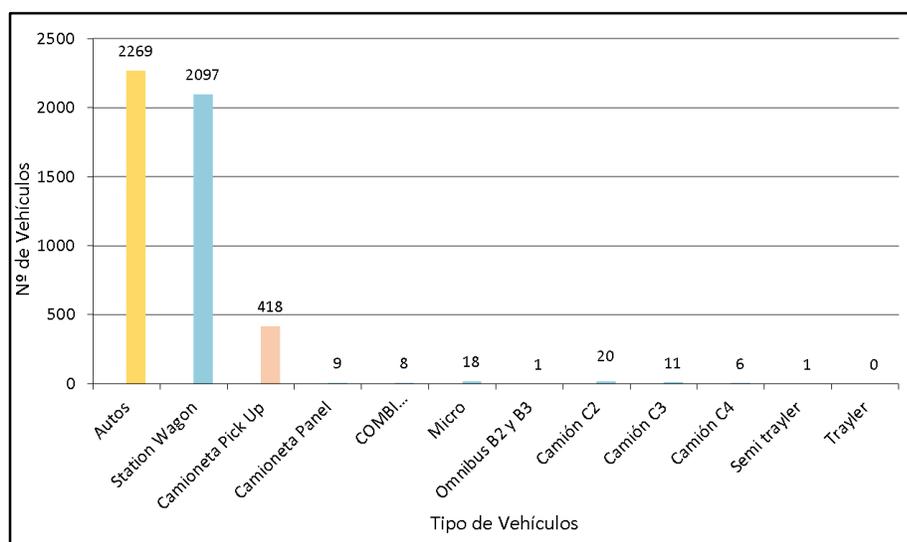
| Tipo de vehículo | IMD | Distribución % |
|-------------------|-------------|----------------|
| Autos | 2269 | 46.7 % |
| Station Wagon | 2097 | 43.2 % |
| Camioneta Pick Up | 418 | 8.6 % |
| Camioneta Panel | 9 | 0.2 % |
| Combi Rural | 8 | 0.2 % |
| Micro | 18 | 0.4 % |
| Ómnibus 2Ey 3E | 1 | 0.0 % |
| Camión 2E | 20 | 0.4 % |
| Camión 3E | 11 | 0.2 % |
| Camión 4E | 6 | 0.1% |
| Semi trayler | 1 | 0.0 % |
| Trayler | 0 | 0.0 % |
| Total | 4858 | 100.0 % |

Nota: Índice medio diario y distribución vehicular según el tipo de vehículos

Fuente: Elaboración propia

Figura 30

Clasificación vehicular índice medio diario IMD de la vía prolongación Cusco



Nota: Clasificación vehicular IMD según el tipo de vehículos.

Fuente: Elaboración propia

Resultados del estudio de tráfico vehicular

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla que sigue:

Tabla 24

Resultados del Estudio de tráfico de la vía prolongación Cusco

| | | |
|------|---|-------------|
| IMD | 4,858 veh/día | Observación |
| ESAL | 405, 561.31 Ejes equivalentes de 8.2 ton. | Ver anexo 3 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 24 se muestra los resultados del estudio de tráfico donde la vía en estudio en la actualidad soporta 4,858 veh/día.

- **Ensayos geotécnicos:**

Los trabajos de estudio de mecánica de suelos se llevan a cabo con el propósito de evaluar las características físicas y mecánicas de los materiales que conforman la estructura de un pavimento, en ese entender se consideró 3 puntos de investigación para poder extraer muestras representativas de material de la subrasante y base del pavimento existente y verificar su cumplimiento en función a los requerimientos y exigencias que establece la Norma Técnica de Edificación CE 010 Pavimentos Urbanos. Los ensayos para evaluar las características físicas y mecánicas de los materiales se realizaron en el laboratorio GEOLEF, obteniéndose los siguientes resultados:

Ubicación Calicata C-01:

Ubicación: Progresiva 0+215

Coordenadas: Este: 729483.95 m, Norte: 8492165.16 m, Altura: 2372.45 m.s.n.m

Profundidad: 1.50 m

Figura 31

Calicata 01 Progresiva 0+215



Nota: Momento del muestreo de los materiales.

Fuente: Elaboración propia

Ubicación Calicata C-02:

Ubicación: Progresiva 0+430

Coordenadas: Este: 729514.81 m, Norte: 8492379.90 m, Altura: 2381.62 m.s.n.m

Profundidad: 1.50 m

Figura 32

Calicata 02 Progresiva 0+430



Nota: Momento del muestreo de los materiales.

Fuente: Elaboración propia

Ubicación Calicata C-03:

Ubicación: Progresiva 0+645

Coordenadas: Este: 729562.91 m, 8492613.47 m, Altura: 2402.62 m.s.n.m

Profundidad: 1.50 m

Figura 33

Calicata 03 Progresiva 0+645



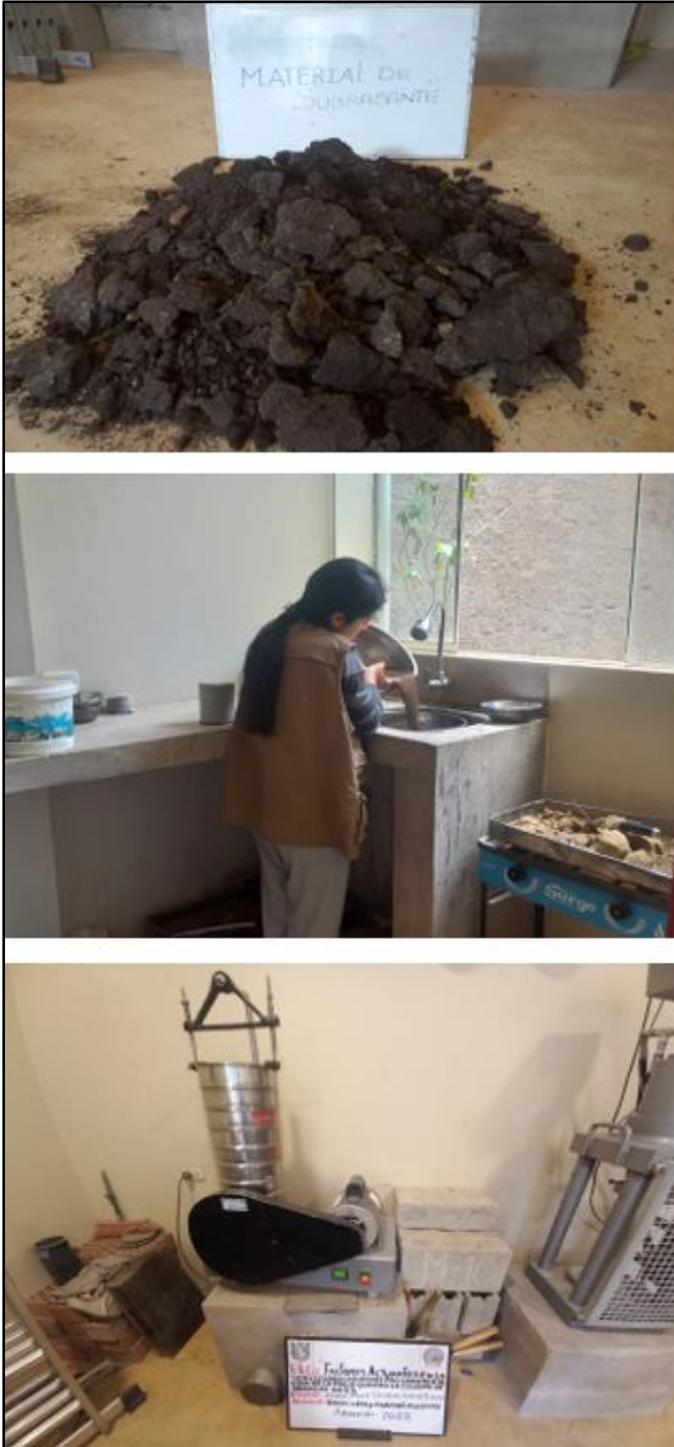
Nota: Momento del muestreo de los materiales.

Fuente: Elaboración propia

Ensayos realizados al material de subrasante:

- *Análisis granulométrico por tamizado*

Los resultados del ensayo se exponen en la tabla N° 25.

Figura 34*Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado*

Nota: Momento del ensayo, en la primera figura se observa el material de subrasante, en la segunda figura se observa el lavado del material y en la tercera figura se observa el tamizado del material.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25*Resultados del ensayo de Análisis Granulométrico*

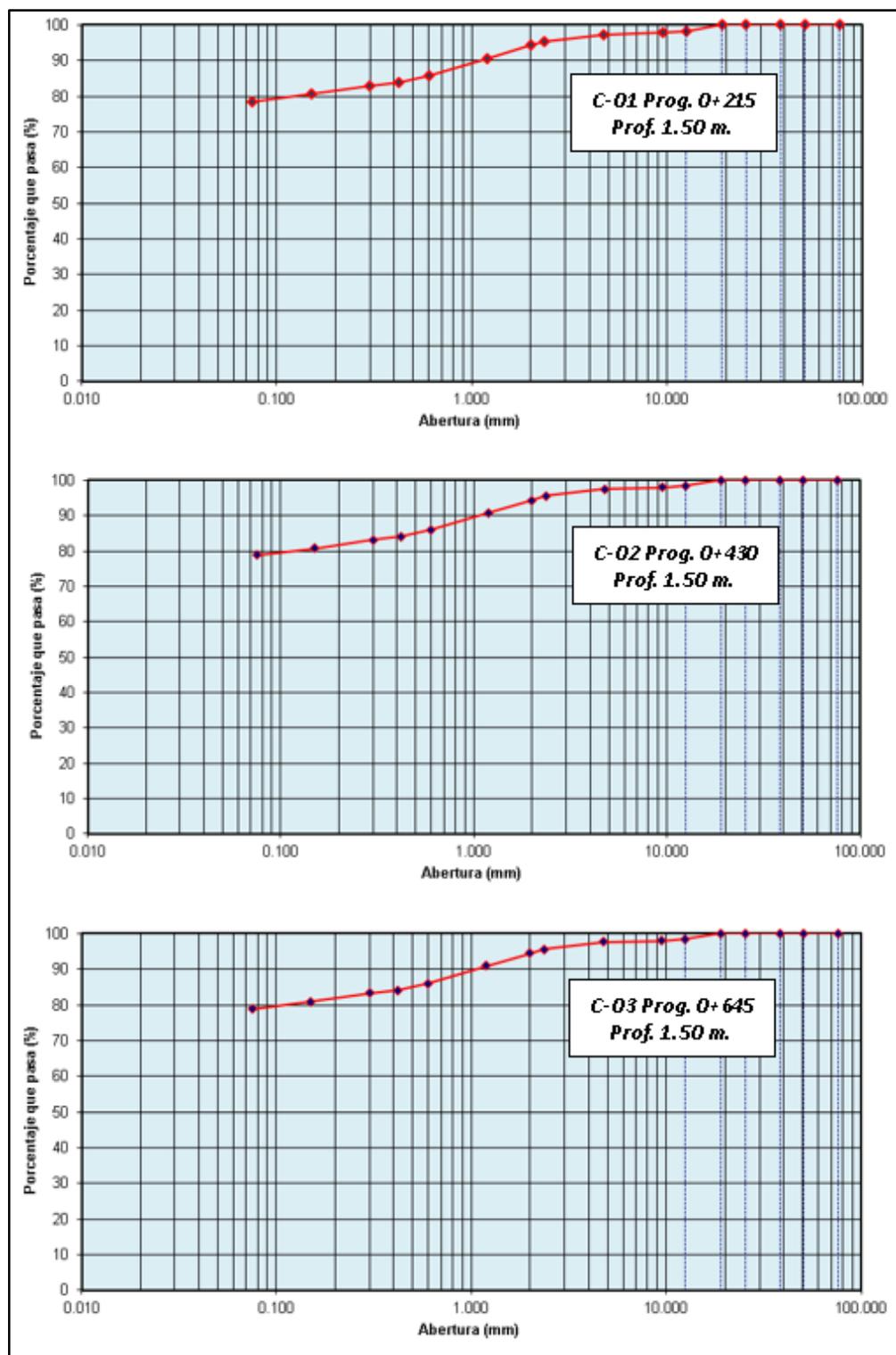
| Tamizado de Calicatas | | | | | | | |
|-----------------------|---------------|------------|------------|------------------|------------|-----------------|------------|
| C-01 Prog. 0+215 | | | | C-02 Prog. 0+430 | | C-03 Prog.0+645 | |
| Tamiz | Abertura (mm) | % Retenido | % Que Pasa | % Retenido | % Que Pasa | %Retenido | % Que Pasa |
| 3" | 76.200 | 0.0 | 100.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 | 100.0 |
| 2" | 50.800 | 0.0 | 100.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 | 100.0 |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.0 | 100.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 | 100.0 |
| 1" | 25.400 | 0.0 | 100.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 | 100.0 |
| 3/4" | 19.050 | 0.0 | 100.0 | 0.0 | 100.0 | 0.0 | 100.0 |
| 1/2" | 12.500 | 1.7 | 98.3 | 1.6 | 98.4 | 1.5 | 98.5 |
| 3/8" | 9.500 | 0.4 | 97.8 | 0.5 | 97.9 | 0.5 | 98.0 |
| N°4 | 4.750 | 0.5 | 97.4 | 0.4 | 97.5 | 0.4 | 97.6 |
| N°8 | 2.360 | 1.9 | 95.4 | 2.0 | 95.5 | 2.0 | 95.6 |
| N°10 | 2.000 | 1.2 | 94.2 | 1.2 | 94.3 | 1.2 | 94.4 |
| N°16 | 1.190 | 3.5 | 90.7 | 3.5 | 90.8 | 3.5 | 90.9 |
| N°30 | 0.600 | 4.9 | 85.8 | 4.9 | 85.9 | 4.9 | 86.0 |
| N°40 | 0.420 | 1.9 | 83.9 | 1.9 | 84.1 | 1.9 | 84.1 |
| N°50 | 0.300 | 0.9 | 83.0 | 0.9 | 83.2 | 0.9 | 83.2 |
| N°100 | 0.150 | 2.4 | 80.6 | 2.4 | 80.8 | 2.4 | 80.8 |
| N°200 | 0.075 | 2.0 | 78.6 | 2.0 | 78.8 | 2.0 | 78.8 |

Nota: Porcentajes retenidos y Porcentajes pasantes.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 35

Curva Granulométrica del material de Subrasante



Nota: Porcentaje pasante de cada tamiz vs el diámetro de cada tamiz.

Fuente: Elaboración propia

- *Contenido de humedad*

Los resultados se detallan en la tabla N° 26.

Figura 36

Ensayo de Contenido de Humedad



Nota: Se realizó el ensayo de contenido de humedad de las muestras representativas de cada calicata.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26

Resultados del ensayo de Contenido de Humedad

| Calicata | Contenido de humedad (%) |
|----------------------|--------------------------|
| C-01 Prog. Km.0+215 | 15.13 % |
| C-02 Prog. Km. 0+430 | 14.80 % |
| C-03 Prog. Km. 0+645 | 15.07 % |

Nota: Se realizó tres ensayos de contenido de humedad para obtener un porcentaje promedio.

Fuente: Elaboración propia.

- Límites de Consistencia e Índice de Plasticidad

La tabla N° 27 contiene los resultados del ensayo realizado.

Figura 37

Ensayo de Límites de Consistencia



Nota: Ensayo de Limite Líquido (lado izquierdo), ensayo de Limite Plástico (lado derecho).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27

Resultados del ensayo de Límites de Consistencia

| Ensayo | C-01 Prog. Km.0+215 | C-02 Prog. Km. 0+430 | C-03 Prog. Km.0+645 |
|----------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| Limite Líquido (LL) | 40.17 % | 39.87 % | 39.95 % |
| Limite Plástico (LP) | 25.21% | 25.12 % | 24.97 % |
| Índice de Plasticidad (IP) | 14.96 % | 14.75 % | 14.98 % |

Nota: El índice de plasticidad representa la diferencia numérica entre los límites de consistencia.

Fuente: Elaboración propia.

- *Ensayo de Proctor Modificado*

Los resultados del ensayo son presentados en la tabla N° 28.

Figura 38

Ensayo de Proctor Modificado



Nota: Compactado del material de subrasante (lado izquierdo), enrasado del material de Subrasante (lado derecho).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28

Resultados del ensayo de Proctor Modificado

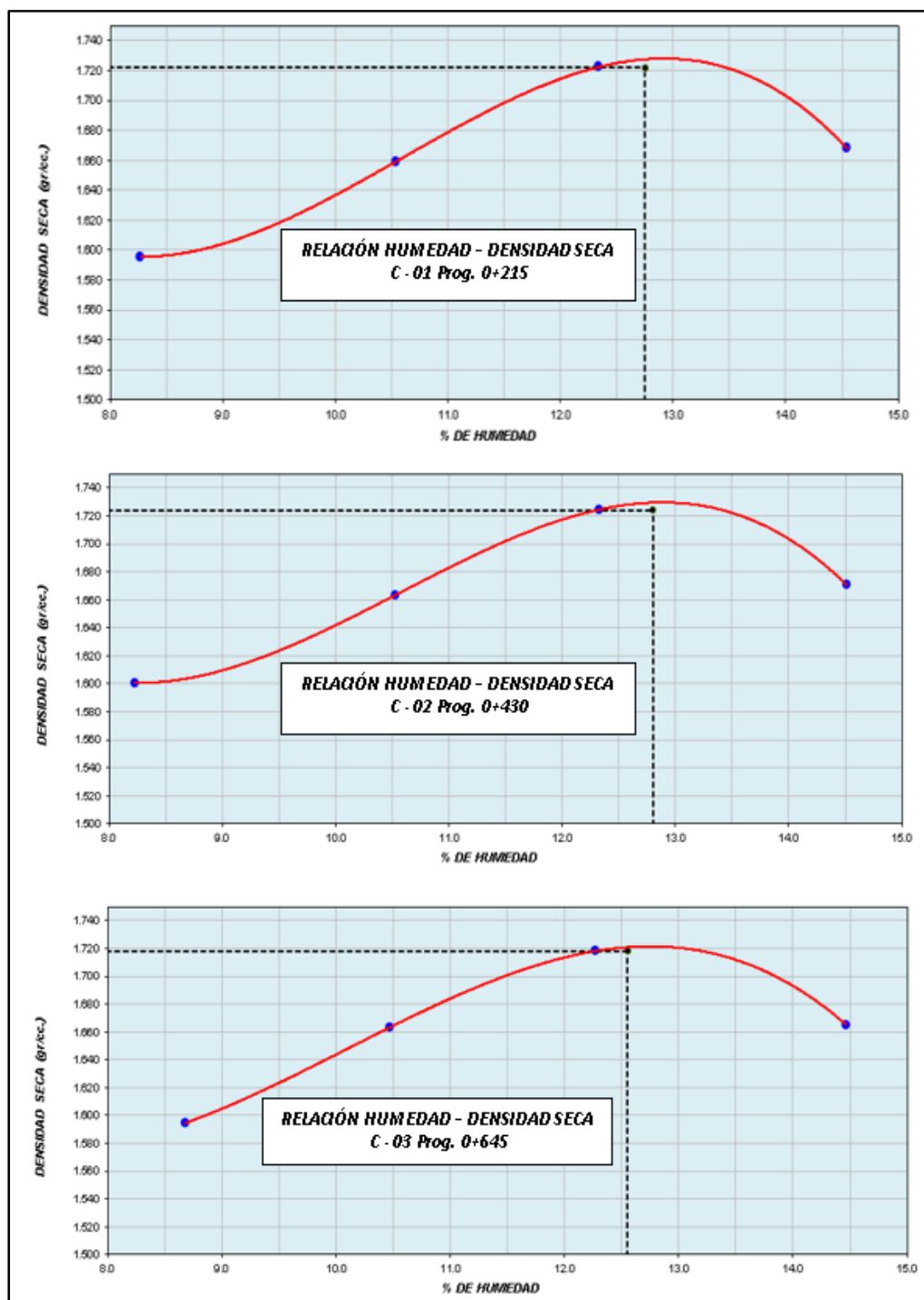
| Muestra | DMS (gr/cm ³) | Humedad Óptima (%) |
|----------------------|---------------------------|--------------------|
| C-01 Prog. Km.0+215 | 1.722 gr/cm ³ | 12.8 % |
| C-02 Prog. Km.0+430 | 1.724 gr/cm ³ | 12.5 % |
| C-03 Prog. Km. 0+645 | 1.718 gr/cm ³ | 12.4 % |

Nota: Datos de la densidad máxima seca y humedad óptima.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 39

Curva de compactación



Nota: Relación humedad vs densidad seca.

Fuente: Elaboración propia

- *Ensayo de CBR - Valor Relativo de Soporte*

La tabla N° 29 muestra los resultados del ensayo.

Figura 40

Ensayo de CBR – Valor Relativo de Soporte



Nota: Muestras compactadas a energías variables de 12, 25 y 56 golpes después de ser sometidas al ensayo de CBR – Resistencia a la Penetración.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29

Resultados del ensayo de CBR

| Muestra | CBR (100 % M.D.S.) 0.1'' |
|----------------------|--------------------------|
| C-01 Prog. Km.0+215 | 3.4 % |
| C-02 Prog. Km.0+430 | 3.3 % |
| C-03 Prog. Km. 0+645 | 3.2 % |

Nota: Datos de CBR al 100 % M.D.S. de 0.1''.

Fuente: Elaboración propia

Resultados de ensayos realizados al material de subrasante

Tabla 30

Resumen de resultados realizados al material de subrasante

| Ensayo | Resultados | | |
|--|---|---|---|
| | C-01 Prog. 0+215 | C-02 Prog. 0+430 | C-03 Prog. 0+645 |
| Análisis granulométrico por Tamizado | % Grava: 2.6 % % Arena: 18.7 % % Fino: 78.6 % | % Grava: 2.5 % % Arena: 18.8 % % Fino: 78.8 % | % Grava: 2.4 % % Arena: 18.8 % % Fino: 78.8 % |
| Contenido de humedad (%) | 15.13 % | 14.80 % | 15.07 % |
| Límite líquido (%) | 40.17 % | 39.87 % | 39.95 % |
| Límite plástico (%) | 25.21% | 25.12 % | 24.97 % |
| Índice de plasticidad (%) | 14.96 % | 14.75 % | 14.98 % |
| Clasificación SUCS | CL | CL | CL |
| Clasificación AASHTO | A-6 (12) | A-6 (12) | A-6 (12) |
| Densidad máxima seca (gr/cm ³) | 1.722 gr/cm ³ | 1.724 gr/cm ³ | 1.718 gr/cm ³ |
| Humedad óptima (%) | 12.8 % | 12.5 % | 12.4 % |
| CBR al 100 % M.D.S. de 0.1'' (%) | 3.4 % | 3.3 % | 3.2 % |

Nota: Resultados finales de ensayos realizados al material de subrasante de cada calicata.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 30, se presentan los resultados de los diferentes ensayos realizados al material de subrasante correspondiente a la C-01 Prog. 0+215, C-02 Prog. 0+430 y C-03 Prog. 0+645, donde se obtuvo, según el sistema de clasificación de suelos AASHTO un tipo de suelo A-6 (suelo arcilloso), características como subgrado (pobre a malo); por otro lado, de acuerdo a resultados del ensayo de CBR el material de subrasante presenta valores de $CBR \geq 3\%$ a $CBR < 6\%$ clasificándose en una categoría de S1: subrasante pobre o subrasante inadecuada.

Ensayos realizados al material de Base:

- *Análisis granulométrico por tamizado*

Los resultados obtenidos, realizados al material de base correspondiente a la C-01 Prog. 0+215, C-02 Prog. 0+430 y C-03 Prog. 0+645 se muestran en la tabla N° 31.

Figura 41

Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado



Nota: Material de base (lado izquierdo), partículas retenidas en los diferentes tamices (lado derecho).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31*Resultados del ensayo de Análisis Granulométrico*

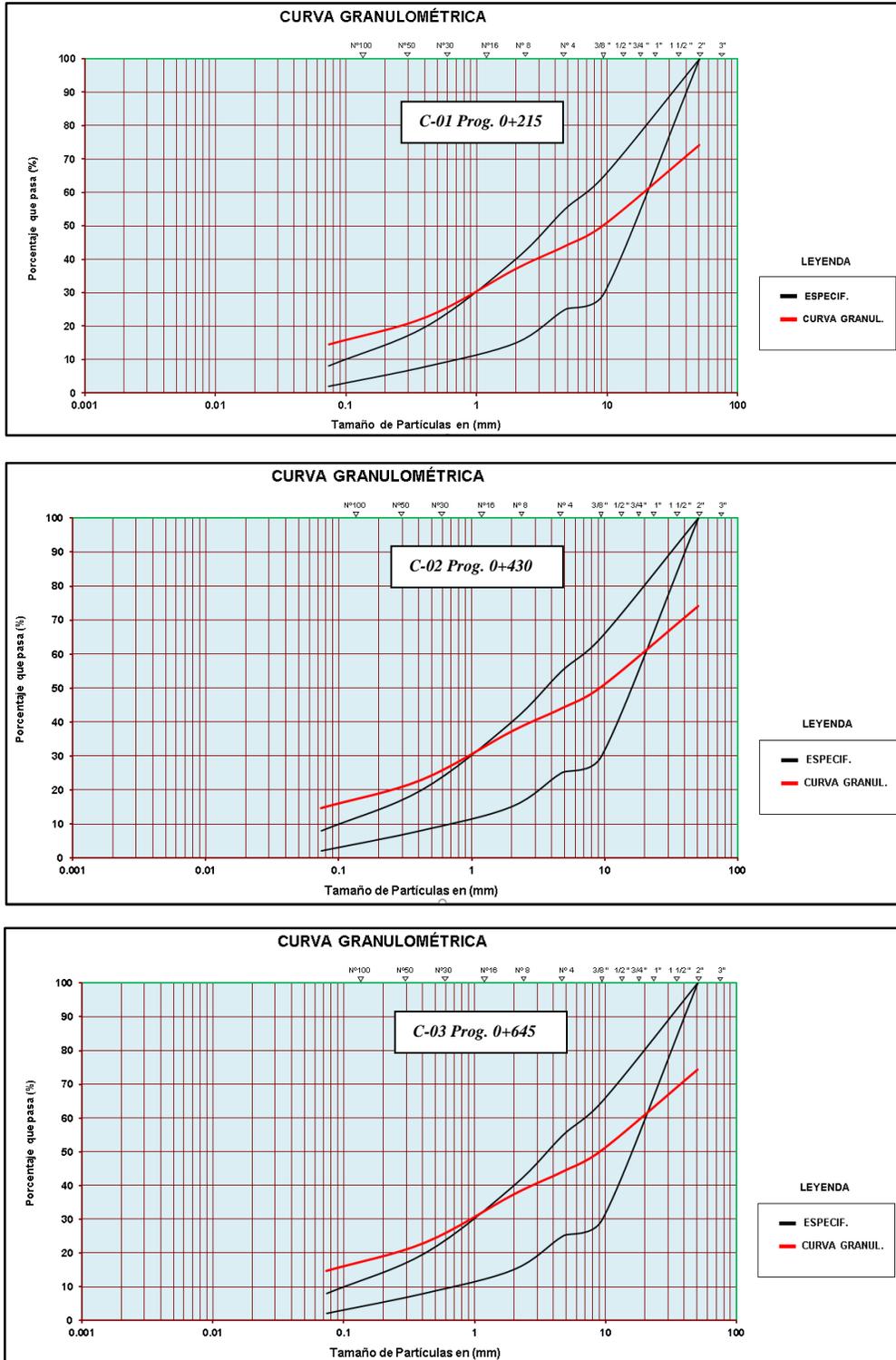
| Tamiz | Abertura (mm) | Calicatas | | | Espec. |
|--------|---------------|------------------|------------------|------------------|--------|
| | | C-01 Prog. 0+215 | C-02 Prog. 0+430 | C-03 Prog. 0+645 | |
| 2" | 50.800 | 74.1 | 74.2 | 74.3 | 100 |
| 1 1/2" | 38.100 | 68.6 | 68.7 | 68.8 | |
| 1" | 25.400 | 62.2 | 62.3 | 62.4 | |
| 3/4" | 19.050 | 57.4 | 57.5 | 57.6 | |
| 1/2" | 12.500 | 54.0 | 54.1 | 54.2 | |
| 3/8" | 9.500 | 50.3 | 50.4 | 50.5 | 30-65 |
| N°4 | 4.750 | 43.9 | 44.0 | 44.1 | 25-55 |
| N°8 | 2.360 | 39.7 | 39.8 | 39.9 | |
| N°10 | 2.000 | 37.1 | 37.2 | 37.3 | 15-40 |
| N°16 | 1.190 | 32.3 | 32.4 | 32.5 | |
| N°30 | 0.600 | 25.6 | 25.7 | 25.8 | |
| N°40 | 0.420 | 22.8 | 22.9 | 23.0 | 8-20 |
| N°50 | 0.300 | 21.2 | 21.3 | 21.4 | |
| N°100 | 0.150 | 17.1 | 17.2 | 17.2 | |
| N°200 | 0.075 | 14.5 | 14.6 | 14.6 | 2-8 |

Nota: Se observa que los porcentajes pasantes correspondientes al tamiz 2", N° 40 y N° 200 no cumplen con los husos granulométricos según la gradación "A".

Fuente: Elaboración propia

Figura 42

Curva Granulométrica del material de Base



Nota: Se visualiza que la curva granulométrica no cumple con los parámetros con respecto al huso granulométrico gradación "A".

Fuente: Elaboración propia

- *Contenido de humedad*

La tabla N°32 muestra los resultados del ensayo del contenido de humedad.

Figura 43

Ensayo de Contenido de Humedad



Nota: Se observa el colocado de muestras representativas del material de base al horno.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32

Resultados del ensayo de Contenido de Humedad

| Calicata | Contenido de humedad (%) |
|------------------|--------------------------|
| C-01 Prog. 0+215 | 8.11% |
| C-02 Prog. 0+430 | 7.63% |
| C-03 Prog. 0+645 | 8.07% |

Nota: Se realizó tres ensayos para obtener un porcentaje de humedad promedio.

Fuente: Elaboración propia.

- *Límites de Consistencia e Índice de Plasticidad*

La tabla N°33 muestra los resultados de los ensayos desarrollados.

Figura 44

Ensayo de Límites de Consistencia



Nota: Se observa el registro del peso de las muestras secas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33

Resultados del ensayo de Límites de Consistencia

| Ensayo | C-01 | C-02 | C-03 | Requerimiento < 3000 m.s.n.m |
|----------------------------|---------|---------|---------|------------------------------|
| Límite Líquido (LL) | 29.05 % | 28.90 % | 28.90% | |
| Límite Plástico (LP) | 20.37 % | 20.17 % | 20.35 % | 4 % máximo |
| Índice de Plasticidad (IP) | 8.68 % | 8.73 % | 8.55 % | |

Nota: Se observa que los valores de índice de plasticidad no cumplen con las especificaciones establecidas.

Fuente: Elaboración propia

- *Ensayo de Equivalente de Arena*

Los resultados alcanzados se detallan en la tabla N° 34.

Figura 45

Ensayo de Equivalente de Arena



Nota: Llenado de la solución de trabajo (lado izquierdo), registro de la medición de altura del material (lado derecho).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34

Resultados del ensayo de Equivalente de Arena

| Calicata | Requerimiento < 3000 m.s.n.m | | | | |
|------------------|------------------------------|--------|--------|--------------------|--------------|
| | EA1 | EA2 | EA3 | EA _{Prom} | |
| C-01 Prog. 0+215 | 23.14 % | 22.50% | 23.53% | 23.06% | |
| C-02 Prog. 0+430 | 23.77% | 23.96% | 4.16% | 23.96% | 35 % mínimo. |
| C-03 Prog. 0+645 | 23.14% | 24.16% | 23.96% | 23.75% | |

Nota: Se observa que los valores de equivalente de arena no cumplen con las especificaciones establecidas por presentar exceso de fino.

Fuente: Elaboración propia

- *Ensayo de Proctor Modificado*

Los resultados se exponen en la tabla N° 35.

Figura 46

Ensayo de Proctor Modificado



Nota: Preparado del material de base (lado izquierdo), compactado del material de base (lado derecho).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35

Resultados del ensayo de Proctor Modificado

| Muestra | DMS (gr/cm ³) | Humedad Óptima (%) |
|----------------------|---------------------------|--------------------|
| C-01 Prog. Km.0+215 | 2.084 gr/cm ³ | 7.7% |
| C-02 Prog. Km.0+430 | 2.088 gr/cm ³ | 7.7% |
| C-03 Prog. Km. 0+645 | 2.087 gr/cm ³ | 7.7% |

Nota: Datos de humedad óptima y densidad máxima seca.

Fuente: Elaboración propia.

- *Ensayo de CBR - Valor Relativo de Soporte*

Los resultados obtenidos del ensayo de CBR se muestran en la tabla N°36.

Figura 47

Ensayo de CBR – Valor Relativo de Soporte



Nota: Muestras compactadas a energías variables de 56, 25 y 12 golpes (lado izquierdo) inmersión de moldes ensayados por un tiempo de 48 horas (lado derecho).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36

Resultados del ensayo de CBR

| Muestra | CBR (100 % M.D.S.) 0.1'' | Requerimiento (vías locales y colectoras) |
|----------------------|--------------------------|---|
| C-01 Prog. Km.0+215 | 28.4 % | |
| C-02 Prog. Km.0+430 | 28.5 % | Mínimo 80 % |
| C-03 Prog. Km. 0+645 | 28.3 % | |

Nota: Se observa que los valores de CBR no cumplen con las especificaciones establecidas.

Fuente: Elaboración propia

- *Ensayo de Abrasión los Ángeles*

Los resultados alcanzados se detallan en la tabla N° 37.

Figura 48

Ensayo de Abrasión los Ángeles



Nota: Colocado de la muestra en la máquina los Ángeles (lado izquierdo), momento del número prescrito de revoluciones (lado derecho).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37

Resultados del ensayo de Abrasión los Ángeles

| Calicata | (%) Abrasión | Requerimiento |
|------------------|--------------|---------------|
| C-01 Prog. 0+215 | 59.70 % | |
| C-02 Prog. 0+430 | 60.10 % | 40 % máximo |
| C-03 Prog. 0+645 | 59.89 % | |

Nota: Se observa que los valores de Abrasión no cumplen con las especificaciones establecidas.

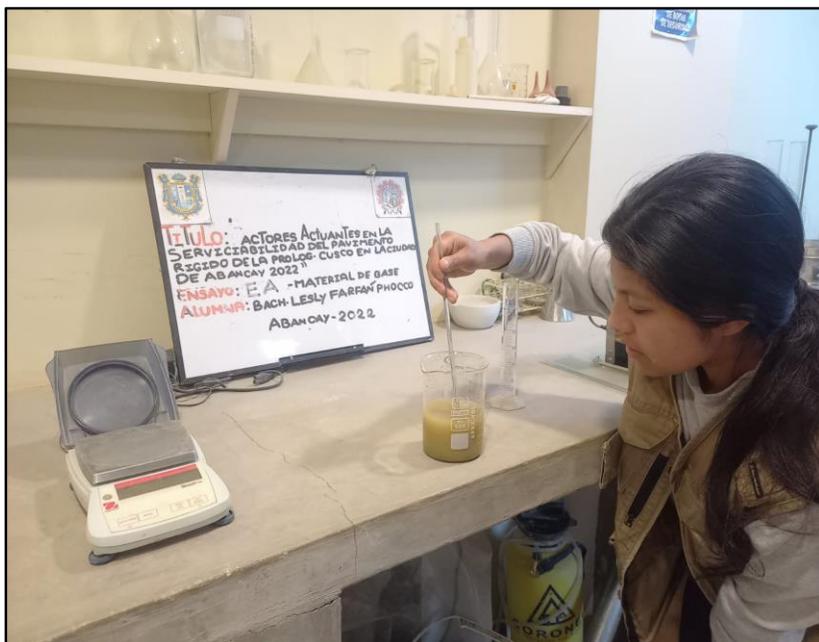
Fuente: Elaboración propia

- *Ensayo de Sales Solubles*

La tabla N° 38 muestra los resultados obtenidos.

Figura 49

Ensayo de Sales Solubles en suelos



Nota: Colocado de la muestra en el vaso de precipitación.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38

Resultados del ensayo de Sales Solubles

| Calicata | (%) Sales A. G | (%) Sales A. F | Requerimiento |
|------------------|----------------|----------------|---------------|
| C-01 Prog. 0+215 | 0.1% | 0.1% | |
| C-02 Prog. 0+430 | 0.1% | 0.1% | 0.5 % máximo |
| C-03 Prog. 0+645 | 0.1% | 0.1% | |

Nota: Se muestra valores que se encuentran dentro de los límites permisibles.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de ensayos realizados al material de base

Tabla 39

Resumen de resultados realizados al material de base

| Ensayo | Resultados | | |
|--|--|--|--|
| | C-01 Prog. 0+215 | C-02 Prog. 0+430 | C-03 Prog. 0+645 |
| Análisis granulométrico por Tamizado | % Grava: 56.1 % % Arena: 29.4 % % Fino: 14.5 % | % Grava: 56.0 % % Arena: 29.4 % % Fino: 14.6 % | % Grava: 55.9 % % Arena: 29.5 % % Fino: 14.6 % |
| Contenido de humedad (%) | 8.11 % | 7.63 % | 8.07 % |
| Límite líquido (%) | 29.05 % | 28.90 % | 28.90 % |
| Límite plástico (%) | 20.37% | 20.17 % | 20.35 % |
| Índice de plasticidad (%) | 8.68 % | 8.73 % | 8.55 % |
| Clasificación SUCS | GC | GC | GC |
| Clasificación AASHTO | A-2-4 (0) | A-2-4 (0) | A-2-4 (0) |
| Equivalente de arena (%) | 23.06 % | 23.96% | 23.75% |
| Densidad máxima seca (gr/cm ³) | 2.084 gr/cm ³ | 2.088 gr/cm ³ | 2.087 gr/cm ³ |
| Humedad óptima (%) | 7.7 % | 7.7 % | 7.7 % |
| CBR al 100 % M.D.S. de 0.1'' (%) | 28.4 % | 28.5 % | 28.3 % |
| Abrasión los ángeles (%) | 59.70 % | 60.10 % | 59.89 % |
| Sales solubles (%) | 0.1 % | 0.1 % | 0.1 % |

Nota: Resultados finales de ensayos realizados al material de base de cada calicata.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 39, se presentan los resultados de los diferentes ensayos efectuados al material de base correspondiente a la C-01 Prog. 0+215, C-02 Prog. 0+430 y C-03 Prog. 0+645, donde se obtuvo, que estos no cumplen con los requerimientos y exigencias que establece la Norma Técnica de Edificación CE 010 Pavimentos Urbanos.

- **Perfil estratigráfico**

El perfil estratigráfico tuvo como objetivo identificar los espesores y el tipo de material que estuvo compuesto la estructura del pavimento en estudio; en este entender la exploración directa correspondió en la ejecución de 3 calicatas a una profundidad de 1.50 m.

Figura 50

Perfil estratigráfico C-01 Progresiva 0+215

| PROF. | CLASIFICACIÓN | GRÁFICO | DESCRIPCIÓN |
|---------|-------------------------------|---------|--|
| 0.00 m. | | | Losa deteriorada |
| 0.15 m. | SUC S =GC AASHTO=A-2-4 (0) | | Material de Base Grava arcillosa con arena con bloques/Grava y arena arcillosa o limosa. |
| 0.12 m. | SUC S =CL AASHTO=A-6 (12) | | Material de Subrasante Arcilla media plasticidad con arena /Suelo arcilloso. |
| 1.50 m | | | |

Nota: Se muestra los espesores de la estructura del pavimento en estudio.

Fuente: Elaboración propia

Figura 51

Perfil estratigráfico C-02 Progresiva 0+430

| PROF. | CLASIFICACIÓN | GRÁFICO | DESCRIPCIÓN |
|----------|------------------------------|--|---|
| 0.00 m. | |  | Losa deteriorada |
| 0.125 m. | SUCS =GC AASHTO=A-2.4 (0) |  | Material de Base Grava arcillosa con arena con bloques/Grava y arena arcillosa o limosa. |
| 0.12 m. | SUCS =CL AASHTO=A-6 (12) |  | Material de Subrasante Arcilla media plasticidad con arena /Suelo arcilloso. |
| 1.50 m | | | |

Nota: Se muestra los espesores de la estructura del pavimento en estudio.

Fuente: Elaboración propia

Figura 52

Perfil estratigráfico C-03 Progresiva 0+645

| PROF. | CLASIFICACIÓN | GRÁFICO | DESCRIPCIÓN |
|---------|------------------------------|---------|--|
| 0.00 m. | | | Losa deteriorada |
| 0.15 m. | SUCS =GC AASHTO=A-2-4 (0) | | Material de Base Grava arcillosa con arena con bloques/Grava y arena arcillosa o limosa. |
| 0.12 m. | SUCS =CL AASHTO=A-6 (12) | | Material de Subrasante Arcilla media plasticidad con arena /Suelo arcilloso. |
| 1.50 m | | | |

Nota: Se muestra los espesores de la estructura del pavimento en estudio.

Fuente: Elaboración propia

- **Ensayo estructural**

- *Resistencia a compresión de concreto - Corazones diamantinos*

Los resultados conseguidos se muestran se evidencian en la tabla N° 40.

Figura 53

Ensayo de Corazones Diamantinos



Nota: En la primera figura se visualiza el momento de la extracción de corazones diamantinos, en la segunda figura se observa los testigos de concreto endurecido losa pavimento y en la tercera figura se observa el momento del ensayo a compresión.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40

Resultados del ensayo de Resistencia a la compresión de concreto – Corazones diamantinos

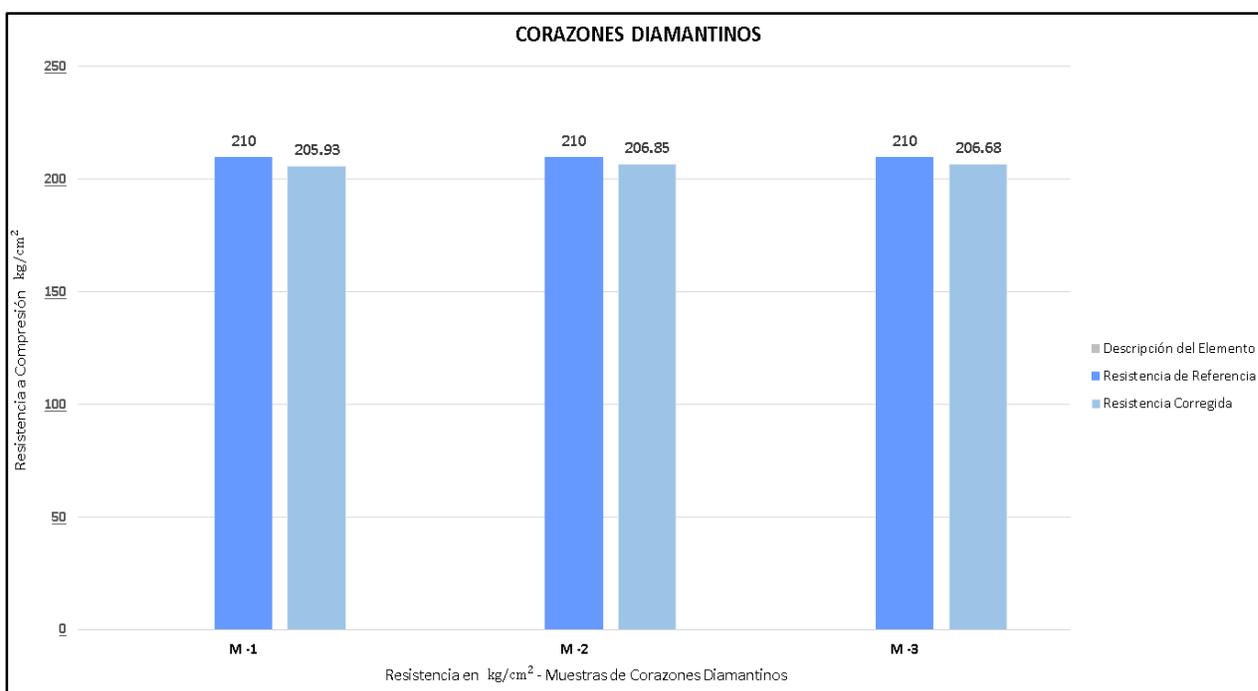
| Elemento | Resistencia corregida (kg/cm ²) | Resistencia de referencia (kg/cm ²) |
|----------------------------|---|---|
| Losa pavimento Prog. 0+215 | 205.93 kg/cm ² | |
| Losa pavimento Prog. 0+430 | 206.85 kg/cm ² | 210 kg/cm ² |
| Losa pavimento Prog. 0+645 | 206.68 kg/cm ² | |

Nota: Se muestra que los valores de resistencia no cumplen con la resistencia de referencia.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 54

Resistencia de las Muestra de Corazones Diamantinos



Nota: Se observa que las diferentes muestras presentan valores de resistencias no aceptables con respecto a la resistencia de referencia.

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2.2 Precipitación pluvial

- **Socavación general (Método de José Antonio Maza - 1968)**

Sandoval (2012) manifiesta: La socavación es el fenómeno natural de largo plazo y la excavación y/o descenso de material existente a causa del incremento de caudal; los factores que influyen en la profundidad de socavación son factores hidrológicos (precipitaciones pluviales) y factores geomorfológicos (tipo de suelo, topografía). En ese entender se realizó el cálculo de socavación general por el Método analítico por tanteo – Método de José Antonio Maza ya que se pudo presenciar tramos socavados a lo largo de la vía en estudio.

Figura 55

Socavación de la vía prolongación Cusco



Nota: Se observa los diferentes tramos socavados a lo largo de la vía en estudio.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41

Resultado del cálculo de socavación general

| Tramo | Profundidad de socavación (Hs) | Observación |
|--------------------------|--------------------------------|-------------|
| Prog. 0+430 lado derecho | 1.22 m | Ver anexo 6 |

Nota: Se observa el valor de la profundidad de socavación del tramo evaluado.

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 A nivel de la variable dependiente: *Serviciabilidad del pavimento rígido*

4.1.2.1 *Evaluación funcional*

- *Método del índice de condición del pavimento (PCI - Pavement Condition Index)*

El tramo de evaluación comprende 657 metros de longitud, un ancho de vía de 6 metros y 438 losas. Se contaron con 21 unidades de muestra de 20 losas cada unidad y 1 unidad de muestra de 18 losas, lo que totalizo 22 unidades de muestra, además se identificó 15 tipos de fallas de los 19 tipos de fallas que establece la norma ASTM D 6433.

Los resultados conseguidos se detallan a continuación:

Tabla 42

Resultados del Método del (PCI – Pavement Condition Index)

| Unidad de Muestreo | Progresiva | | Número de losas | PCI | Observación |
|--------------------|------------|-------|-----------------|-------|-------------|
| | Inicial | Final | | | |
| UM-01 | 0+000 | 0+030 | 20 | 25.00 | |
| UM-02 | 0+030 | 0+060 | 20 | 26.00 | |
| UM-03 | 0+060 | 0+090 | 20 | 27.00 | |
| UM -04 | 0+090 | 0+120 | 20 | 17.00 | |
| UM-05 | 0+120 | 0+150 | 20 | 27.00 | |
| UM-06 | 0+150 | 0+180 | 20 | 37.00 | Ver anexo 7 |
| UM-07 | 0+180 | 0+210 | 20 | 37.00 | |
| UM-08 | 0+210 | 0+240 | 20 | 17.50 | |
| UM-09 | 0+240 | 0+270 | 20 | 13.00 | |
| UM-10 | 0+270 | 0+300 | 20 | 28.00 | |
| UM-11 | 0+300 | 0+330 | 20 | 18.00 | |
| UM-12 | 0+330 | 0+360 | 20 | 32.00 | |
| UM-13 | 0+360 | 0+390 | 20 | 22.00 | |
| UM -14 | 0+390 | 0+420 | 20 | 30.00 | |

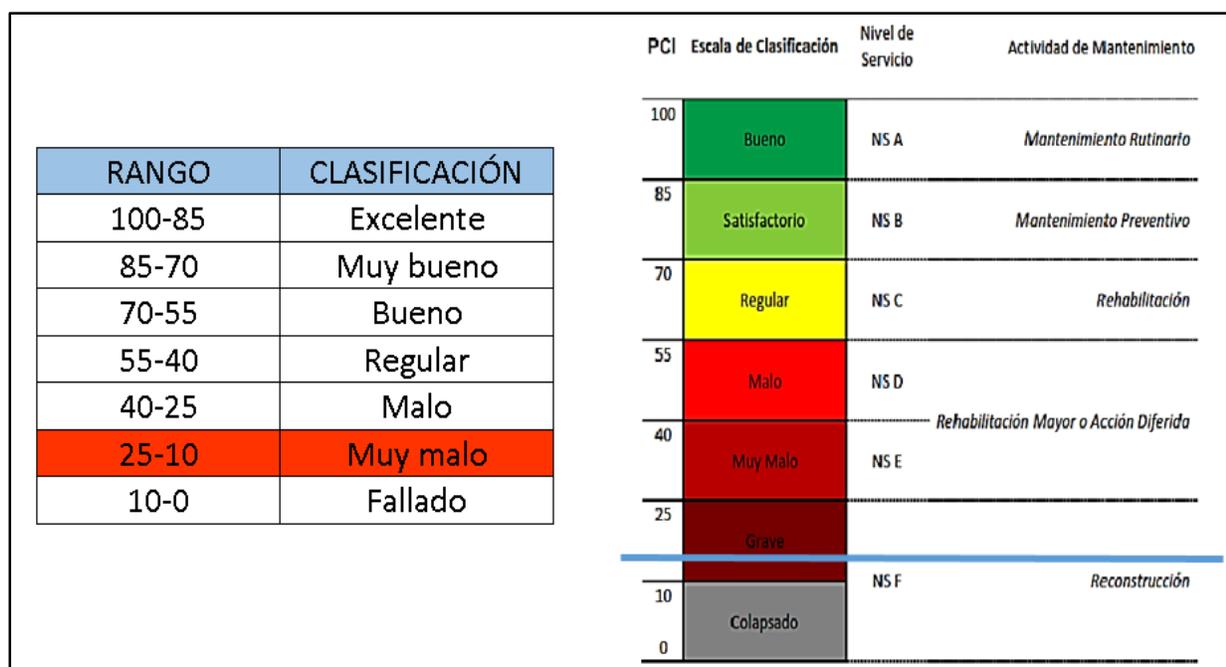
| | | | | |
|----------|-------|-------|----|-------|
| UM-15 | 0+420 | 0+450 | 20 | 17.00 |
| UM-16 | 0+450 | 0+480 | 20 | 10.00 |
| UM-17 | 0+480 | 0+510 | 20 | 22.00 |
| UM-18 | 0+510 | 0+540 | 20 | 17.00 |
| UM-19 | 0+540 | 0+570 | 20 | 11.00 |
| UM-20 | 0+570 | 0+600 | 20 | 10.00 |
| UM-21 | 0+600 | 0+630 | 20 | 14.00 |
| UM-22 | 0+630 | 0+657 | 18 | 18.00 |
| Promedio | | | | 21.60 |

Nota: Se muestra un valor de PCI promedio de 21.6 encontrándose en un rango de (25-10) por lo que se establece que el pavimento se encuentra en una condición Muy malo.

Fuente: Elaboración propia

Figura 56

Índice de Condición del Pavimento (PCI – Pavement Condition Index)

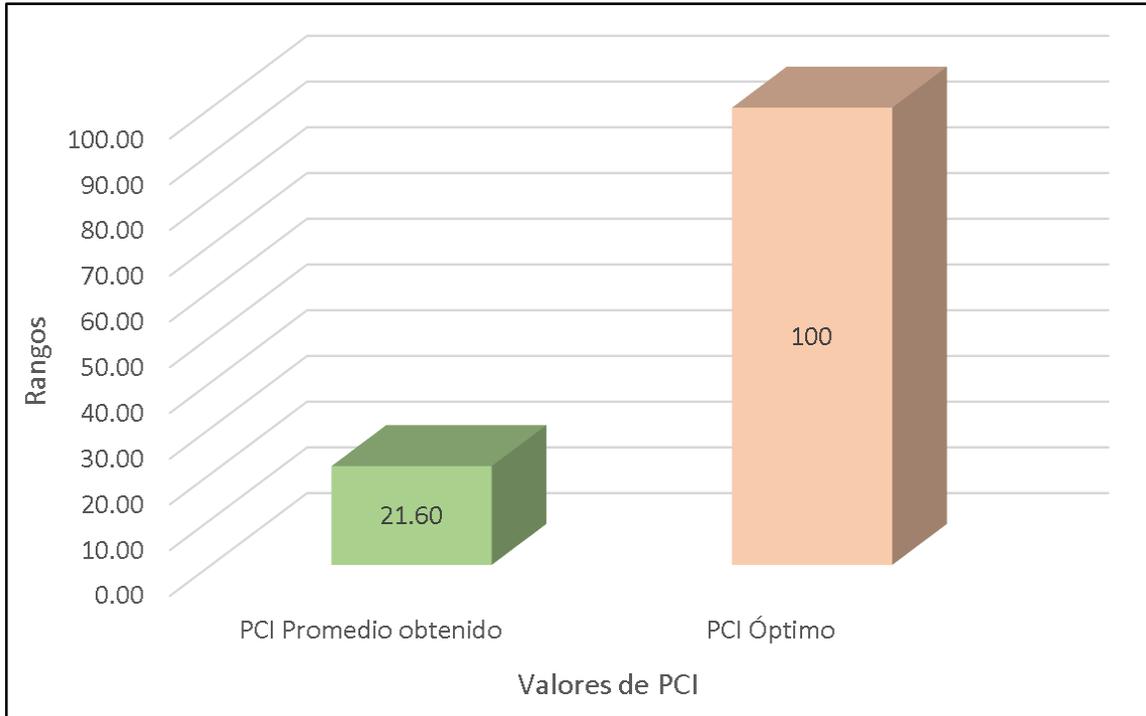


Nota: Se observa el rango de calificación del PCI del pavimento rígido de la prolongación Cusco la escala de clasificación, el nivel de servicio y la actividad de mantenimiento correspondiente.

Fuente: Elaboración propia

Figura 57

Rangos y valores característicos del PCI



Nota: Se observa el valor del PCI obtenido versus el valor de PCI óptimo.

Fuente: Elaboración propia

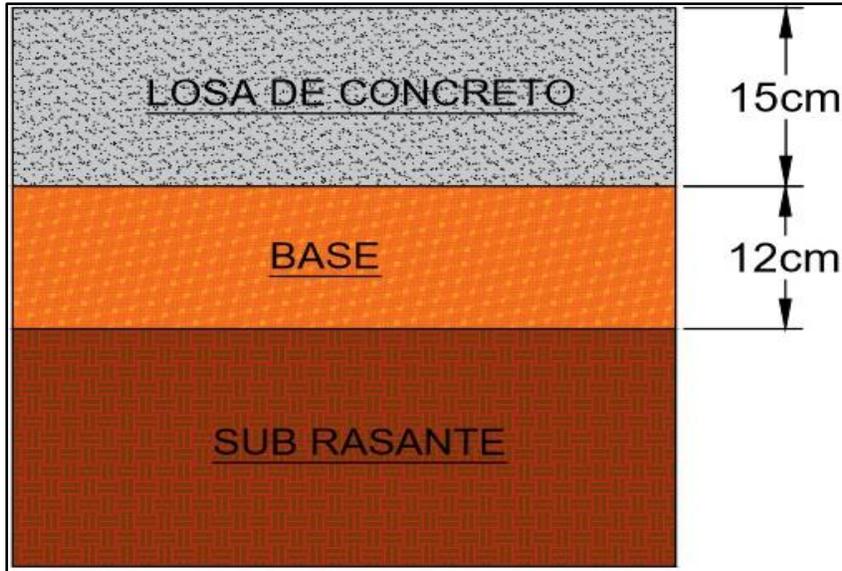
4.1.3 Diseño de Pavimento

El diseño del pavimento rígido de la prolongación Cusco se realizó con el método AASTHO 93 con el objetivo de determinar el espesor de cada capa que constituye la sección estructural del pavimento y con ello comparar el diseño existente del pavimento versus la propuesta estructural según diseño (ver anexo 9).

A continuación, se presenta el diseño existente del pavimento versus la propuesta estructural según diseño.

Figura 58

Detalle del pavimento rígido existente según diseño

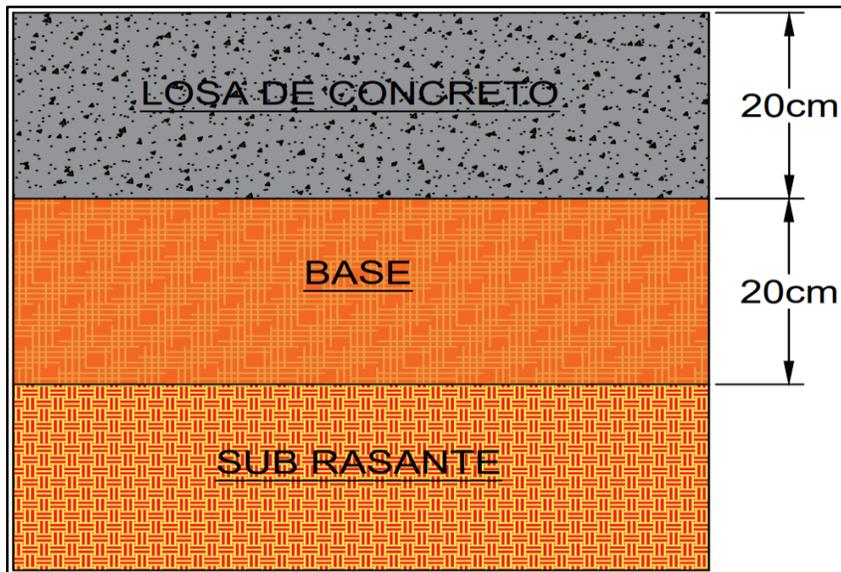


Nota: Se observar la estructura del pavimento existente, el cual está formado por una losa de concreto de 15 cm de espesor y una base de 12 cm de espesor.

Fuente: Elaboración propia

Figura 59

Detalle de la propuesta estructural del pavimento rígido según diseño



Nota: Se observa la propuesta estructural del pavimento rígido calculado según diseño la cual estará compuesta por un espesor de 20 cm de losa concreto y un espesor de 20 cm de base.

Fuente: Elaboración propia

4.2 Discusión de resultados

De acuerdo a los resultados alcanzados del análisis de los factores actuantes y la serviciabilidad del pavimento rígido se tiene:

4.2.1 *En los que corresponde al análisis de los factores actuantes*

a) **Diseño deficiente**

- **Tráfico vehicular**

Del estudio de tráfico se obtuvo un valor de índice medio diario (IMD) de 4, 858 veh/día y un valor de ESAL de 405, 561.31; contando con un porcentaje de 99.2 % de vehículos ligeros y 0.8 % de vehículos pesados.

Los datos recopilados contradicen a los resultados que obtuvieron Domingo y Elescano (2021) en su investigación, determinaron un índice medio diario (IMD) de 3, 027 veh/día y un valor ESAL de 12'773, 747 contando con un porcentaje de 82 % de vehículos ligeros y un 18 % de vehículos pesados, esto debido a que la vía es de tipo expresa.

- **Ensayos geotécnicos**

Material de subrasante

Para la C-01 Prog. 0+215, C-02 Prog. 0+430 y C-03 Prog. 0+645 se obtuvo según el sistema de clasificación de suelos AASHTO un tipo de suelo A- 6 (suelo arcilloso) con características de subgrado (pobre o malo); por otro lado, se tiene valores de CBR de 3.4 % C-01, 3.3 % C-02 y 3.2 % C-03.

Estos resultados son afines con los resultados que obtuvo Díaz (2016) en su investigación encontró un tipo de suelo arcilloso y un valor de CBR de 1 a 3 %, lo que nos indica que el tipo de suelo del terreno de fundación del pavimento existente posee características (pobre o malo); con respecto a los valores de CBR se clasifican en una categoría de subrasante pobre o inadecuada.

Por otro lado, estos resultados también son afines con los datos que obtuvo Hurtado (2016) en su investigación, encontró un tipo de suelo arcillo y un valor de CBR de 5.80 % lo que significa que el material de subrasante se encuentra en condiciones bajas.

Material de base

Para la C-01 Prog. 0+215, C-02 Prog. 0+430 y C-03 Prog. 0+645 se obtuvo según el sistema de clasificación de suelos AASHTO un tipo de suelo A-2-4 (grava y arena arcillosa o limosa), en lo que se refiere al índice de plasticidad se obtuvo un valor IP de 8.68 % C-01, 8.73 % C-02 y 8.55 % C-03, del ensayo de equivalente de arena se obtuvo un valor EA promedio de 23.06 % C-01, 23.96 % C-02 y 27.75 % C-03, por otro lado, se tiene valores de CBR de 28.4 % C-01, 28.5 % C-02 y 28.3 % C-03, así mismo del ensayo de abrasión los ángulos se obtuvo valores de Abrasión de 59.7 % C-01, 60.1 C-02 y 59.89 C-03, por último, del ensayo de sales solubles se obtuvo valores de 0.1 % en las diferentes calicatas.

Estos resultados tienen afinidad con los resultados que obtuvieron Domingo y Elescano (2021) en su investigación, quienes encontraron en la C-01 Prog. 0+043 y C-02 Prog. 0+037, un tipo de suelos A-2-6 (grava y arena arcillosa o limosa), en cuanto al índice de plasticidad se obtuvo un valor NP es decir carecen de índice de plasticidad, por otro lado, obtuvieron valores de CBR correspondientes al 100 % de su máxima densidad seca de 71.1 % C-01, 96.7 % C-02. Teniendo estos resultados, podemos decir que estos no cumplen con los requerimientos y exigencias establecidas de la norma CE 010 Pavimentos Urbano.

- **Ensayo estructural**

Según los resultados que arrojaron el ensayo de resistencia a la compresión de concreto corazones diamantinos se obtuvo valores de resistencia de 205.93 kg/cm^2 losa pavimento Prog. 0+215, 206.85 kg/cm^2 losa pavimento Prog. 0+430 y 206.68 kg/cm^2 losa pavimento Prog. 0+645.

Estos resultados no coinciden con los resultados que obtuvieron Domingo y Elescano (2021) en su investigación, quienes encontraron valores de resistencia de 321 kg/cm^2 losa pavimento Prog. 0+163, 302 kg/cm^2 losa pavimento Prog. 0+086 y 271 kg/cm^2 losa pavimento Prog. 0+219. Teniendo estos resultados podemos decir que se ha cumplido con los procedimientos y consideraciones durante su mezcla, colocación y curado.

b) Precipitación pluvial

De acuerdo a los resultados obtenidos del cálculo de socavación general según el método de José Antonio Maza se obtuvo un valor de 1.22 m de profundidad de socavación en el tramo Prog. 0+430 lado derecho.

Estos resultados no coinciden con los resultados que obtuvieron Domingo y Elescano (2021) en su investigación, quienes obtuvieron datos climáticos o hidrometeorológicos de la estación Humboldt – Senamhi durante 3 periodos de evaluación (2016, 2017 y 2018) en la cual se determinó que la temperatura más alta (calor) se presentó en el mes de diciembre del año 2016, alcanzando una temperatura de 33.2°C y la temperatura más baja (frio) se presentó en el mes de setiembre del año 2017 alcanzando una temperatura de 11.1°C, así mismo se obtuvo una precipitación de 2.7 mm/h en el mes de febrero del año 2016, siendo la precipitación con mayor valor, esto se debe a que se hizo uso de la información proporcionada por Senamhi, mas no se contempló cálculos correspondiente.

4.2.2 En lo que corresponde a la serviciabilidad del pavimento rígido

a) Evaluación funcional

Según los resultados obtenidos de la evaluación funcional por el método del PCI se encontró un valor de PCI promedio de 21.6 encontrándose en un rango de (25 – 10) por lo que se determina que el pavimento está en un estado Muy malo.

Estos resultados no coinciden con los datos que alcanzó Cordero (2019) quien determinó un valor de PCI de 69 encontrándose en un rango de (70-55) lo que significa que la condición de la vía en estudio tiene una clasificación Buena, esto debido a la cantidad y severidad de daños encontrados en la vía en estudio.

CONCLUSIONES

- 1. Del objetivo general.** Se determinó la influencia de los factores actuantes en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco, por medio de procedimientos de ingeniería basados en estudios, métodos y ensayos correspondientes.
- 2. Del objetivo específico 1.** Se analizó la influencia de un diseño deficiente en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco, donde de los resultados obtenidos del estudio de tráfico vehicular, cuyo valor se muestra en la tabla N° 24 – pág. 94. Estos resultados revelaron que se obtuvo un valor de índice medio diario (IMD) de 4, 858 veh/día, contando con un porcentaje de 99.2 % de vehículos ligeros y 0.8 % de vehículos pesados, con mayor incidencia los autos con 2269 vehículos. En lo referente a los ensayos geotécnicos realizados al material de subrasante correspondientes a la C-01 Prog. 0+215, C-02 Prog. 0+430 y C-03 Prog. 0+645 tal como se evidencia en la tabla N° 30 – pág. 106. Estos resultados revelaron que se obtuvo según la clasificación AASHTO un tipo de suelo A-6 (suelo arcilloso) con características pobre a malo, del ensayo de CBR se obtuvo valores de $CBR \geq 3\%$ a $CBR < 6\%$ clasificándole en una categoría S1: subrasante pobre o subrasante inadecuada. Del mismo modo, de los ensayos realizados al material de base correspondiente a la C-01 Prog. 0+215, C-02 0+430 y C-03 Prog. 0+645 cuyos resultados se evidencian en la pág. 107-118. Estos resultados revelaron que el material de base no es apto ya que no cumplen con los requerimientos y exigencias que establece la Norma Técnica de Edificación CE. 010 Pavimentos Urbanos. Por otro lado, del ensayo de resistencia a la compresión de concreto – Corazones Diamantinos cuyos resultados se detalla en la tabla N° 40 – Pág. 122. Estos resultados muestran valores de 205.93 kg/cm² losa pavimento Prog. 0+215, 206.85 kg/cm² losa pavimento Prog.0+430 y 206.68 kg/cm² losa pavimento Prog. 0+645, teniendo estos resultados podemos decir que las resistencias obtenidas no cumplen con la resistencia requerida 210 kg/cm².

3. **Del objetivo específico 2.** Se analizó la influencia de la precipitación pluvial en la serviciabilidad del pavimento rígido de la prolongación Cusco, donde el resultado obtenido del cálculo de socavación correspondiente al tramo 0+430 lado derecho tal como se presenta en la tabla N° 41 – Pág. 123. Estos resultados revelaron que la profundidad socavada descendió a una profundidad de 1.22 metros con respecto a la profundidad máxima de la sección antes de la erosión, esto se ha podido evidenciar con el alto porcentaje de contenido de humedad de los materiales que conforman la estructura del pavimento.

RECOMENDACIONES

1. Entorno al objetivo general, se recomienda realizar diseños eficientes teniendo en cuenta la correcta evaluación del tránsito existente, la correcta valoración de las características geotécnicas de los materiales empleados en la estructura del pavimento y factores climáticos desfavorables.
2. En cuanto al objetivo específico 1, según los resultados obtenidos de los ensayos geotécnicos realizados al material de subrasante se recomienda la estabilización del suelo con cemento, cal, asfalto o el remplazo con material de préstamo que cumpla con las especificaciones técnicas como material de relleno. En cuanto a los resultados obtenidos en laboratorio con respecto al material de base, se recomienda el uso de materiales de base que cumplan con los requerimientos y exigencias establecidas de la norma CE 010 Pavimentos Urbanos. Con respecto a los resultados del ensayo de resistencia a la comprensión de concreto – Corazones Diamantinos, se recomienda trabajar en función al diseño de mezcla (dosificación adecuada), correcta ejecución del muestreo, correcta ejecución del transporte y colocación, vibrado efectivo, correcta aplicación de los curados y pruebas de laboratorio esto con la finalidad de obtener un buen concreto y lograr una obra de calidad.
3. En relación con el objetivo específico 2, según los resultados del cálculo de socavación se recomienda un sistema de drenaje que cuente con alcantarillas de alivio ya que permitirán controlar el flujo de agua durante fuertes lluvias, así mismo permitirán desviar el exceso de agua y evitar inundaciones en áreas sensibles.
4. Con respecto al resultado de la evaluación funcional mediante el método del PCI, se recomienda la reconstrucción de la vía en estudio como actividad de mantenimiento.

5. A las autoridades municipales encargadas de la ejecución de proyectos de infraestructura vial, se recomienda que para los trabajos de mantenimiento, reconstrucción e implementación de proyectos nuevos se considere una supervisión constante de las actividades y materiales, para garantizar una correcta ejecución según las especificaciones técnicas consideradas en las normas vigentes.
6. Además, se recomienda la evaluación oportuna a los pavimentos existentes, esto debido a que no todas las losas están dañadas. Por lo que, realizar el mejoramiento tiende a tener un menor costo en comparación con la rehabilitación de una vía.

BIBLIOGRAFÍA

- Di biase, G. (2017). *Factores que influyen en el deterioro del pavimento en el tramo las Salinas Puerto Garayaca de la carretera Garayaca – El Junquito la Guaira Edo Vargas* [Tesis de pregrado]. Universidad Nueva Esparta.
- Díaz, S. H. (2016). *Factores que influyen en el deterioro del pavimento flexible de la avenida Universitaria del Cantón Babahoyo de la provincia de los Ríos* [Tesis de pregrado]. Universidad de Guayaquil.
- Vásquez, L.R. (2022). *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*.
- Hernández R. y otros, (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). Mc Graw Hill.
- Hurtado, W. M. (2016). *Evaluación funcional y estructural para determinar el deterioro de la estructura del pavimento en la avenida Abdón Calderón, parroquia Conocoto, Cantón Quito provincia de Pichincha* [Tesis de pregrado]. Universidad Internacional del Ecuador.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima: Dirección general de caminos y ferrocarriles.
- Domingo, W. E. y Elescano, J. E. (2021). *Factores actuantes en el comportamiento del pavimento rígido en la calle Luis Galvani – Ate Vitarte – 2019* [Tesis de pregrado]. Universidad Peruana los Andes.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de carreteras Diseño Geométrico DG-2018*. Lima: Dirección general de caminos y ferrocarriles.
- García, J. y Ynfante, A. (2021). *Evaluación del deterioro del pavimento rígido en el jirón Maximiliano Morán provincia de Zarumilla, departamento de Tumbes, 2021* [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Dirección general de caminos y ferrocarriles.
- Cordero, L. A. (2019). *Serviciabilidad del pavimento flexible y transitabilidad vehicular – avenida 12 de octubre, distrito de San Martín de Porres, Lima 2018* [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo.
- Norma Técnica de Edificación. *CE.010 Pavimentos Urbanos*. Lima.
- Das, B. M. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Cuarta ed.). México.
- Tomayo, T. M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. México.
- Norma Técnica Peruana 339.059. (2001). *Método para la obtención ensayo de corazones diamantinos y vigas cortadas de hormigón (concreto)*. Lima.
- Barbosa, G. (2013). *Metodología para calcular la profundidad de socavación general en ríos de montaña (lecho de gravas)* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia.
- Escuela Politécnica Nacional. (2015). *Análisis de la Socavación en cauces naturales* (Vol.35, Nro.3.). México.
- Norma Técnica Peruana 339.127. (1998). *Método de ensayo para determinar el contenido de humedad*. Lima.
- Norma Técnica Peruana 339.129. (1998). *Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo*. Lima.
- Bernal, C. (2016). *Metodología de la investigación empírica*. Barcelona.
- Muñoz, C. (2011). *Como elaborar y asesorar una investigación de tesis*. Colombia.
- Aashto. (1993). *Método para el diseño de pavimentos rígidos*.
- Chirinos, F. (2017). *Estudio de socavación de la subestructura de puente y análisis de estabilidad - caso puente Nicolás de la ciudad de Lima en el 2017* [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.

Anexo 2: Plano de ubicación de la vía prolongación Cusco.

Anexo 3: Estudio de tráfico.

Anexo 4: Estudio mecánica de suelos.

Anexo 5: Ensayo de resistencia a compresión de concreto – Corazones diamantinos.

Anexo 6: Cálculo de Socavación.

Anexo 7: Índice de condición del pavimento PCI.

Anexo 8: Plano de daños existentes en la vía prolongación Cusco.

Anexo 9: Diseño de pavimento.

Anexo 10: Certificado de calibración.

Anexo 11: Constancia de autorización de uso de la vía prolongación Cusco.

Anexo 12: Aspectos administrativos