



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e
Instituto del Asfalto en la rehabilitación de vía Circunvalación Sur, Puno,
2021”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Villanueva Flores, Jhonatan Michael (ORCID:[0000-0002-5405-0279](https://orcid.org/0000-0002-5405-0279))

ASESOR:

Mg. Canta Honores, Jorge Luis ([ORCID:0000-0002-9232-1359](https://orcid.org/0000-0002-9232-1359))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Con profundo cariño y gratitud le dedico;
A mis padres Francisco y Ruth, que me dieron fuerzas en todo momento, al mismo tiempo por demostrar su amor y apoyo incondicional.
A mi hermano Jheson por toda la motivación y apoyo incondicional durante los momentos más difíciles.
A mis abuelos Juan y Martha, sé que me acompañan y me cuidan desde el cielo.
A toda mi familia a quienes estimo mucho.
Y a Dios por mostrarme el camino correcto que debo seguir.

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por guiarme en mis pasos del día a día y darme su fortaleza.

Al Mg. Ing. Jorge Luis Canta Honores por guiarme en el presente trabajo, por sus valiosas sugerencias y apoyo oportuno.

Y a todas las personas que colaboraron en el desarrollo del presente proyecto.

A todos, sin olvidarme de nadie, ¡Gracias!

Índice de contenidos

	Página
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vii
Resumen	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	6
III. METODOLOGÍA	29
3.1. Tipo y diseño de investigación	29
3.2. Variables y operacionalización	30
3.3. Población, muestra y muestreo	31
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	32
3.5. Procedimientos	35
3.6. Método de análisis de datos	69
3.7. Aspectos éticos	75
IV. RESULTADOS	75
V. DISCUSIÓN	84
VI. CONCLUSIONES	86
VII. RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS	89
ANEXOS	93

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de fallas PCI	15
Tabla 2. Niveles de severidad de las fallas	16
Tabla 3. Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad	23
Tabla 4. Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Z_r)	23
Tabla 5. Índice de Serviciabilidad Inicial (P_i)	24
Tabla 6. Índice de Serviciabilidad Final (P_f)	25
Tabla 7. Coeficiente estructural para estructuras existentes	26
Tabla 8. Operacionalización de variables	30
Tabla 9. Conteo vehicular Av. Circunvalación Sur	36
Tabla 10. Factores de Distribución Direccional y de Carril	37
Tabla 11. Configuración de ejes y factor de vehículo pesado	38
Tabla 12. Factor de ajuste por presión de neumático f_p	40
Tabla 13. Cálculo de ESAL Carril Derecho	41
Tabla 14. Cálculo de ESAL Carril Izquierdo	41
Tabla 15. Longitudes de unidades de muestreo para carreteras asfálticas	42
Tabla 16. PCI unidad de muestra 01	48
Tabla 17. Lecturas medidas en campo Viga Benkelman	54
Tabla 18. Cálculo de Deflexiones	55
Tabla 19. Corrección de deflexiones por temperatura	56
Tabla 20. Cálculo de Modulo Resiliente y CBR con $r = 25$	57
Tabla 21. Deflexiones corregidas por temperatura	59
Tabla 22. Cálculo de Deflexión Representativa	60
Tabla 23. Cálculo del Módulo de Elasticidad y CBR	61
Tabla 24. Cálculo de Números Estructurales Efectivos (SN_{eff})	63
Tabla 25. Cálculo de Números Estructurales Futuros (SN_f)	65
Tabla 26. Cálculo de Espesores de Sobrecapa AASHTO	66
Tabla 27. Cálculo de Espesores de Sobrecapa I.A.	68
Tabla 28. Prueba de normalidad específico 2	70
Tabla 29. Resumen de resultados CBR (%)	70
Tabla 30. Prueba "t" hipótesis específica 2	71
Tabla 31. Prueba de normalidad específico 3	73
Tabla 32. Resumen de resultados Refuerzo Estructural	73

Tabla 33. Prueba “t” hipótesis específica 3	74
Tabla 34. Resumen de resultados obtenidos por el método PCI	77
Tabla 35. Porcentaje de incidencia de fallas PCI	78
Tabla 36. Nivel de severidad de los diferentes tipos de fallas	79
Tabla 37. Resumen de resultados Modulo Resiliente AASHTO e I.A.	80
Tabla 38. Resumen de resultados CBR AASHTO e I.A.	81
Tabla 39. Resumen de resultados de Espesores de Sobrecapa	83

Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Índice de Condición del Pavimento (PCI)	15
Figura 2. Esquema y operación de Viga Benkelman	17
Figura 3. Esquema de Deflexiones	18
Figura 4. Capacidad estructural versus número de aplicaciones de carga	20
Figura 5. Factor de ajuste por temperatura	28
Figura 6. Ubicación del tramo en estudio	31
Figura 7. Ancho de calzada Km 0+000	43
Figura 8. Ancho de calzada Km 0+142	43
Figura 9. Longitud de unidad de muestra	45
Figura 10. Identificación de grieta transversal	45
Figura 11. Identificación de hueco	45
Figura 12. Identificación de grieta longitudinal	46
Figura 13. Identificación desnivel de carril	46
Figura 14. Identificación de piel de cocodrilo	46
Figura 15. Identificación de agrietamiento en bloque	47
Figura 16. Identificación de parcheo y acometidas de servicios públicos	47
Figura 17. Viga Benkelman	49
Figura 18. Camión para ensayo de la Viga Benkelman	50
Figura 19. Punto de ensayo Progresiva k0+100	51
Figura 20. Armado de la Viga para el ensayo	51
Figura 21. Calibración de diales	52
Figura 22. Medición de la temperatura del pavimento	52
Figura 23. Recolección de lecturas en la ficha técnica	53
Figura 24. Ensayo de la Viga Benkelman Progresiva k0+900 CD	53
Figura 25. Ensayo de la Viga Benkelman Progresiva k1+200 CI	54
Figura 26. AASHTO MR, Av. Circunvalación Sur	58
Figura 27. AASHTO CBR (%), Av. Circunvalación Sur	59
Figura 28. IA CBR (%), Av. Circunvalación Sur	62
Figura 29. AASHTO SNOL, Av. Circunvalación Sur	67
Figura 30. I.A. SNOL, Av. Circunvalación Sur	69
Figura 31. Mapa político del Perú	76
Figura 32. Mapa político del Departamento de Puno	76

Figura 33. Plano base Puno	76
Figura 34. Identificación de fallas	77
Figura 35. Identificación de fallas	77
Figura 36. PCI por unidad de muestra	78
Figura 37. % de incidencia de fallas de la Av. Circunvalación Sur	79
Figura 38. Instalación de Viga Benkelman	80
Figura 39. Ensayo Viga Benkelman	80
Figura 40. MR Av. Circunvalación Sur AASHTO e I.A.	81
Figura 41. CBR (%) Av. Circunvalación Sur AASHTO e I.A.	82
Figura 42. SN OL, Av. Circunvalación Sur AASHTO e I.A.	84

Resumen

El principal objetivo de este trabajo ha sido comparar los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto respecto al diseño de la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno, para esto se realizó en el pavimento flexible una evaluación tanto a nivel funcional y estructural, aplicando las metodologías AASHTO e Instituto del Asfalto mediante el retro-cálculo se determinó su condición estructural y refuerzo estructural a partir del ensayo de la Viga Benkelman. Esta investigación es del tipo aplicada, presenta un enfoque cuantitativo y tiene un diseño no experimental comparativa. Se seleccionó como zona de estudio el pavimento asfáltico de la avenida Circunvalación Sur. Con el fin de verificar si existen diferencias significativas entre ambos métodos, se realizó el análisis estadístico aplicando la prueba “t” de student, como resultado respecto al cálculo del comportamiento estructural efectivo del pavimento se tiene que no existen diferencias significativas, respecto a los resultados del diseño de sobrecapa resultaron ser estadísticamente significativas. En conclusión, la calzada derecha posee una capacidad estructural insuficiente para resistir el periodo de diseño planteado de 10 años y requiere de un refuerzo estructural de 3.5 pulgadas, mientras la calzada izquierda requiere un refuerzo estructural de 3 pulgadas.

Abstract

The main objective of this work has been to compare the AASHTO-93 and Asphalt Institute methods regarding the design of the rehabilitation of the South Circunvalación road in the city of Puno, for this an evaluation was carried out on the flexible pavement both at a functional and structural, applying the AASHTO and Asphalt Institute methodologies through retro-calculation, its structural condition and structural reinforcement were determined from the Benkelman Beam test. This research is of the applied type, presents a quantitative approach and has a comparative non-experimental design. The asphalt pavement of Circunvalación Sur avenue was selected as the study area. In order to verify if there are significant differences between both methods, the statistical analysis was carried out by applying the student's "t" test, as a result regarding the calculation of the effective structural behavior of the pavement, there are no significant differences, regarding the results. of the overlay design turned out to be statistically significant. In conclusion, the right roadway has insufficient structural capacity to resist the proposed design period of 10 years and requires a structural reinforcement of 3.5 inches, while the left roadway requires a structural reinforcement of 3 inches.

Keywords: Structural evaluation, Structural reinforcement, AASHTO, Asphalt Institute, PCI method.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto internacional, la necesidad de caminos que brinden buenas condiciones para los usuarios va más allá del aspecto de servicio y también se toman en consideración aspectos como la economía, el tiempo y la seguridad. Actualmente, el análisis estructural está enmarcado en conocimientos relacionados con la capacidad portante de la sub rasante del pavimento existente; Esto se hace a través de calicatas del que se extraen muestras para análisis de laboratorio, conocidas como pruebas destructivas. Sin embargo, existen métodos no destructivos organizados internacionalmente que buscan no alterar físicamente el material, mediante el procedimiento de mediciones de las deflexiones del pavimento producto de fuerzas externas o transferencia de energía (Julca, Tafur y Esenarro, 2021).

En nuestro país predomina el tráfico terrestre, por lo que el estado de las vías es crucial para el ejercicio de todas las partes de la economía como el comercio, la educación, la salud, la agenda turística, etc. Por ello, es necesario mantener o ampliar la vida útil de los pavimentos, el cual reducirá los costos de mantenimiento. Al valorar la deficiencia estructural de los pavimentos con pruebas de deflexión, es posible establecer el grado de intervención que se produce en una carretera existente, el cual varía desde un mantenimiento hasta una rehabilitación (Ocmin y Ramos, 2019).

En la región Puno, en los últimos años, el nivel económico ha mejorado cada vez más, junto con el desarrollo del sector de la construcción, el transporte pesado y el transporte interprovincial, que en muchos casos son causante de la presencia de fallas de nivel estructural. (Carrasco y Veznay, 2019). La presencia de daños estructurales en el pavimento conlleva una pérdida de dinero, amenazando la economía de nuestra región y por ende de nuestro país.

La Circunvalación Sur en estudio tiene una longitud de 1541 metros y se encuentra ubicada en la ciudad de Puno, la cual actualmente está experimentando un incremento en el tráfico de vehículos pesados y no cuenta con un programa de mantenimiento, estos factores combinados con el tráfico

pesado, el pavimento sufre problemas de envejecimiento prematuro, lo que conduce a fallas funcionales. Esto conlleva a mayores costos de mantenimiento e incluso la disminución sustancial de la vida útil de toda la estructura del pavimento (Balarezo, 2017). Las razones anteriores provocan defectos funcionales o estructurales en las carreteras, tales como baches, abolladuras, grietas, grietas, pérdida de rasantes que las componen, etc. Esto resta el confort de los usuarios.

Por otro lado, desde que se encuentra en servicio y durante su vida útil, los pavimentos flexibles pueden sufrir un proceso de deterioro en su capacidad funcional, conocido como deterioro superficial, bajo la influencia del tráfico, por la alta densidad y factores climáticos. Estas fallas provocan defectos estructurales y funcionales, reducen los niveles de servicio vial y afectan el confort de los vehículos, en tal sentido las evaluaciones serán importantes a la hora de evaluar y corregir estos defectos (Ramos, 2021).

Durante el periodo de diseño vial se presentan deficiencias estructurales del pavimento flexible debido a factores como cargas dinámicas lentas, cambios de temperatura (altas gradientes) y mala construcción (Cuba de la Torre, 2017). Estos factores hacen que el conjunto estructural se deteriore o colapse, provocando importantes retrasos en la circulación vehicular junto con el colapso de caminos alternativos en mejores condiciones que la gente usaba para no tener que caminar por caminos degradados (Rodríguez, 2020).

La construcción y los mantenimientos de los pavimentos urbanos estarán a cargo de las entidades municipales, los que deberán de diseñar planes adecuados de mantenimiento acorde a sus necesidades y condiciones de la localidad, a fin optimizar los recursos económicos (Azaña y Gonzales, 2019). En el mundo actualmente las ciudades que se encuentran en desarrollo, carecen de una planificación adecuada, así como de estrategias apropiadas para evaluar y mantener las aceras, situación que afecta directamente la comodidad, la seguridad y el bolsillo del usuario (Fernández, 2015).

Los pavimentos en nuestro país muchas veces se evalúan visualmente, entonces los mantenimientos solamente serán de carácter superficial, que generalmente no es suficiente porque los daños que sufre el pavimento no se dan solamente a nivel funcional (Balarezo, 2017). Alternativamente, puede ser una falla estructural debido a que la estructura del pavimento tenga un déficit en su capacidad. Es recomendable realizar la evaluación tanto a nivel funcional como estructural, para crear un registro sobre la evolución respecto al estado de las vías evaluadas, y actualizado en el tiempo, cuando sea posible (Benito, 2020).

Este estudio permitirá una mejor comprensión, interpretación y comparación de las deflexiones obtenidas, para ser usadas en una evaluación estructural de pavimentos asfálticos. Dado el caso, surgieron iniciativas de complementar la estructura requerida aprovechando la capacidad estructural efectiva del pavimento existente por medio de una nueva capa de concreto asfáltico o eliminar toda o parte de la estructura existente y reconstruirla total o solo desde una capa específica (Ramos, 2021). Estos factores son esenciales para la formulación de estrategias de conservación, las decisiones a optar serán tomadas con base a indicadores como en el análisis de costos, lo que permite elegir la opción más económica.

1.1. Formulación del problema

Problemas General

¿Qué diferencias existen en la aplicación de los métodos AASHTO-93 e Instituto del asfalto, respecto al diseño de la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno - 2021?

Problema específico

1. ¿Cuál es el estado actual del pavimento asfáltico de acuerdo a la metodología índice de condición del pavimento (PCI) de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno?
2. ¿Qué diferencias existen respecto al cálculo del comportamiento estructural efectivo del pavimento flexible aplicando los métodos AASHTO-93 e Instituto del asfalto en la vía Circunvalación Sur?

3. ¿Qué diferencias existen respecto al diseño de los espesores de refuerzo estructural de la carpeta asfáltica aplicando los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto de la vía Circunvalación Sur?

1.2. Justificación de la investigación:

Justificación teórica

Este estudio es importante porque contribuye a esclarecer el vacío de conocimiento que existe en la búsqueda de los resultados y la relación entre las deficiencias estructurales del pavimento y el diseño de capas de refuerzo asfáltico desde el enfoque de la deflectometría, tal cual lo sugiere los autores Julca, Tafur, y Esenarro, (2021) en su artículo denominado: Deflectometry in the structural evaluation, central highway km12+250 - km26+500, lima 2020. Se tiene previsto evaluar dos metodologías donde su análisis servirá de conocimiento para la comunidad técnica.

Justificación metodológica

Se justifica debido a que el estudio comparativo entre los métodos AASHTO-93 y el Instituto del Asfalto servirá de base para futuros tesis e investigadores interesados en definir la estructura de pavimentación asfáltica de las diferentes vías que se encuentran en el Perú, cerrando la brecha en el conocimiento y aplicación de estas técnicas de rehabilitación (Balarezo, 2017).

Justificación técnica

Se justifica técnicamente ya que cumple con los lineamientos de los principios y conceptos utilizados en los diversos métodos que se utilizarán, se utilizará la metodología índice de condición del pavimento (PCI) para evaluar el estado del pavimento existente a nivel funcional, para evaluar la estructura de pavimento existente, se realizarán pruebas de deflexión no destructivas utilizando el método Benkelman Beam (MTC E1002). A partir de las mediciones de las deflexiones se procede al cálculo la capacidad estructural efectiva y su refuerzo estructural sobre el pavimento aplicando el método de AASHTO-93 y el Instituto del Asfalto, el cual no altera su estructura y es aplicable en cualquier momento durante el periodo de la vida útil del pavimento (Rondón y Reyes, 2015).

Justificación social

Elegir las técnicas correctas para el mantenimiento o restauración vial extenderá el periodo de la vida útil de los pavimentos, lo que significa un ahorro para los usuarios.

Justificación económica

Este estudio se justifica económicamente, ya que, al aplicar diferentes métodos de diseño, en lo que respecta a las capas de refuerzo asfáltico, podemos obtener no una, sino dos propuestas en rehabilitación vial en la región Puno, lo que nos permite evaluar la alternativa óptima de diseño entre ellas para la vía en mención (Fernández, 2015).

Justificación Ambiental

La presente investigación tiene razones ambientales porque la aplicación de diferentes metodologías para el diseño del refuerzo estructural no solo mejora la calidad y vida útil de los pavimentos, sino que también reduce significativamente el impacto ambiental en el área afectada, en contraste con la nueva construcción de la estructura de la acera provoca un mayor impacto en el medio ambiente (Benito, 2020).

1.3. Objetivos:

Objetivo general

Comparar los métodos AASHTO-93 e Instituto del asfalto, respecto al diseño de la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno - 2021.

Objetivos específicos

1. Evaluar el estado actual del pavimento flexible de acuerdo a la metodología índice de condición del pavimento (PCI) de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno.
2. Identificar las diferencias que existen respecto al comportamiento estructural efectivo del pavimento flexible aplicando los métodos AASHTO-93 e Instituto del asfalto en la vía Circunvalación Sur.
3. Identificar las diferencias que existen respecto a espesores de refuerzo estructural de la carpeta asfáltica aplicando los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto de la vía Circunvalación Sur.

1.4. Hipótesis:

Hipótesis general

Ha: Existen diferencias significativas en la aplicación de los métodos AASHTO-93 e Instituto del asfalto, respecto al diseño de la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno – 2021.

Hipótesis específicas

1. Ha: La evaluación del estado actual del pavimento flexible es de condición regular de acuerdo a la metodología índice de condición del pavimento (PCI) de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno.
2. Ha: Si existen diferencias significativas respecto al cálculo del comportamiento estructural efectivo del pavimento flexible aplicando los métodos AASHTO-93 e Instituto del asfalto en la vía Circunvalación Sur.
3. Ha: Si existen diferencias significativas respecto al diseño de espesores de refuerzo estructural de la carpeta asfáltica aplicando los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto de la vía Circunvalación Sur

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

A nivel internacional

Cruz y Ocaña (2019) manifiesta en su tesis “Evaluación estructural de pavimentos flexibles construidos en la localidad de Usme utilizando el deflectómetro de impacto o FWD”, para obtener el título de Magister en Infraestructura Vial en la Universidad Santo Tomás, en esta investigación se compara tres vías pavimentadas rehabilitadas con las mismas condiciones de tráfico y zona, construidas con materiales tradicionales y otras con materiales reciclados. Para obtener el módulo de resiliente (M_r) y el número de estructuras (S_n), es necesario utilizar el método de retrocálculo y un software dedicado. En él se realizó el cálculo inverso por los métodos de AASHTO, YONAPAVE y LUKANEN comparando sus principales indicadores como los módulos y números estructurales calculados. Para la muestra corresponde se seleccionaron ocho vías ubicadas con precisión en Bogotá, Usme. En estas carreteras se estudiaron las deflexiones obtenidas creando cuencos de cada uno de los 35 puntos obtenidos. Así, los hallazgos muestran que el módulo de

resiliencia obtenido por el cálculo inverso de la estructura granular es mayor que el módulo de resiliencia del diseño teórico. Esto sugiere que el estado de las sub rasante se ha mantenido desde el período de construcción. Debido al retrocálculo de los métodos AASHTO y LUKANEN, el pavimento reciclado sonó una voz de advertencia, en los módulos determinados mostró una disminución en comparación con el módulo teórico que indica una deficiencia del suelo a nivel de sub rasante debido a factores fuera del área.

Hurtado (2016) manifiesta en su tesis “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 para obtener el título de Ingeniero Civil en la Universidad Internacional del Ecuador, el presente trabajo de titulación tuvo como propósito general examinar el estado de la superficie del pavimento flexible vía Abdón Calderón, por medio de evaluaciones funcionales y estructurales para determinar la degradación y condición de la vía. Se conoció parámetros específicos como la deflexión, IRI, TPDA y PCI para evaluar adecuadamente tanto a nivel funcional y estructural el pavimento. Se obtienen mediante pruebas y mediciones en in situ, se empleó el método Paver para el registro de daños superficiales en pavimentos y determinar el PCI, y también determino el número de vehículos utilizados TPDA del aforo vehicular. La muestra corresponde al tramo que comprende desde el cruce con la av. Ponce Enríquez hasta el cruce con la av. Río Napo, con una longitud de 4.718 km. Los principales logros fueron la reparación o rehabilitación de la capa asfáltica de la vía investigada, buscando el método de manejo óptimo de acuerdo a las necesidades de las personas, optimizando el confort, la seguridad, los gastos en mantenimiento de vehículos, repuestos y combustibles, con el fin de garantizar una buena serviciabilidad y ampliar la vida útil de la vía. La sección de la vía bajo investigación casi siempre se encuentra en malas condiciones estructurales.. Finalmente, se concluye que para mejorar el nivel de serviciabilidad del pavimento se deberá realizar una rehabilitación de la vía estudiada. El estado estructural del pavimento fue de regular a malo de acuerdo a las evaluaciones y análisis de los resultados obtenidos.

Según lo señalado por Julca, Tafur y Esenarro (2021) en su artículo denominado "Impact deflectometry in the structural evaluation, central highway km 12 + 250 - km 26 + 500, Lima 2020" publicada en la revista española 3C Tecnología. Esta investigación analiza la incidencia y eficiencia del deflectómetro de impacto en la evaluación y diseño de Refuerzos asfálticos del tramo de la Vía Central. Para este estudio se ha utilizado, una metodología "no destructiva", con base en la recopilación, procesamiento y análisis de las deflexiones registradas en la superficie de la carretera con el instrumento del deflectómetro de impacto; estas deflexiones reflejan la respuesta del paquete estructural bajo una carga aplicada, su medición es simple, rápida y no destructiva, es decir, sin alterar el paquete estructural, y sobre todo, no provocamos congestión vehicular como el caso de la metodología convencional. Las deflexiones se analizan utilizando la técnica de cálculo inverso, que permite calcular el Número Estructural total en función de las características del pavimento aplicando el método AASHTO-93 y los coeficientes de corrección del método del Instituto del Asfalto, obteniendo un número estructural S_n de 6.2 y 5.6 para la calzada derecha e izquierda, respectivamente. Esta investigación presenta los resultados de la condición actual de la carretera en estudio. Propone una técnica para Cálculo del Número Estructural de una armadura de asfalto sobre hormigón a partir del retro cálculo. Teniendo como conclusión principal La prueba se realizó aplicando una carga de aproximadamente 50 KN, generando tres (3) golpes en cada de los puntos de prueba para conocer el comportamiento de la estructura evaluada. El espacio entre ensayos fue de 100 m. El Número Estructural obtenido para la carretera fue de un $SN = 6.2$ y para la carretera de la izquierda es $SN = 5.6$. Con la información del cuenco de deflexión obtenida con el deflectómetro de impacto se calculó la capacidad estructural del pavimento mediante el parámetro denominado Número Estructural. S_n . La aplicación de esta metodología facilita significativamente los controles y la evaluación estructural de los refuerzos viales sobre pavimentos mixtos con importantes ventajas: Sin evaluaciones destructivas y reduciendo los tiempos y trámites eficientes para conocer el refuerzo vial.

A nivel nacional

En el ámbito nacional se tiene a Ramos (2021) en su tesis "Evaluación estructural y superficial del pavimento de la av. Lambramani con fines de diagnóstico y rehabilitación", tesis para obtener el título de Ingeniero Civil en la

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Esta investigación incluye una evaluación funcional y estructural del pavimento flexible de la av. Lambramani ubicado en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, de la ciudad de Arequipa, provincia de Arequipa. En este estudio se evaluó y determino el estado funcional utilizando la metodología PCI determinando la condición actual del pavimento existente y la prueba de rugosidad, respecto a la condición estructural se utilizó el equipo de la viga Benkelman. El índice de condición del pavimento es un procedimiento estándar publicado por ASTM como un método de análisis y aplicación más completa respecto a los procedimientos de evaluación y calificación respectiva del pavimento. Cuando se efectuó el método PCI, se halló la condición operacional del pavimento, asimismo se obtuvo el índice de condición estructural del pavimento. De esta evaluación se tuvo como resultado una calificación PCI el cual de acuerdo a la metodología empleada reporta diferentes tratamientos a implementar sobre el pavimento evaluado. La rugosidad definida como las irregularidades de la superficie de la carretera tienen un impacto negativo en la seguridad, calidad del pavimento, y los costos operativos del vehículo. En esta investigación también se realizó la prueba de la viga Benkelman. Esta es una forma muy sencilla y viable de conocer la capacidad estructural del pavimento, de acuerdo a las deflexiones mediante la aplicación de cargas a la superficie. Esto le permite valorar la capacidad estructural del pavimento, resistiendo las cargas de tránsito en su su vida útil y utiliza un procedimiento de cálculo inverso para realizar un análisis de la deficiencia a nivel de sub rasante. La población y muestra para este estudio es la Av. Lambramani, fue elegida para este estudio el cual presenta gran volumen de tránsito por ser una vía principal, la construcción de importantes atractivos el Mall Aventura Plaza y Centro Comercial Parque Lambramani han incrementado el volumen de tránsito en esta vía en los últimos años debido a que están ubicados en las calles Polongoche y Lambramani, respectivamente. El tipo de muestreo es por conveniencia. El instrumento de medida en este estudio fue la Viga Benkelman. De esta forma, se determinaron los principales resultados sobre el pavimento evaluado que corresponde a la av. Lambramani el cual obtuvo el valor PCI promedio de 52, el cual nos revela que el pavimento se halla en estado regular.

Se ha determinado un valor de $73,06 \times 10^{-2}$ mm correspondiente a la deflexión característica de la estructura. que es menor al valor de $82,63 \times 10^{-2}$ mm correspondiente a la deflexión admisible, a la fecha la deflexión característica es 88,41% del valor de la deflexión permitida. El refuerzo de asfalto se calculó utilizando el modelo de Hoggs para 15 años a partir de este estudio, por lo que se requiere un refuerzo de 2 pulgadas.

Ocmin y Ramos (2019) en su tesis “Deflectometría de impacto para la determinación del refuerzo en la carretera lima – chosica km 35+535 al km 39+500”, tesis para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Ricardo Palma, la presente investigación tuvo como objetivo establecer la influencia en el refuerzo de la carretera Lima Chosica Km 35+535 al Km 39+500 a través de la Metodología AASHTO, examinando los componentes que alteran las deformaciones del pavimento flexible, esta investigación es del tipo correlacional, En este sentido, el espesor producto de la deflexión no corregida se compara con las deflexiones corregidas por parámetros de clima. Dentro del concepto teórico del modelo matemático por Boussinesq este se aplica en el cálculo de la deformación y la deflexión aproximada de la sub rasante, esta es la forma de analizar el efecto del factor de corrección por: temperatura y carga. Se determino el S_{Neff} por el método desarrollado por AASHTO para pavimentos flexibles, realizando el cálculo inverso a través del ensayo con el deflectómetro de impacto (FWD) donde identificaron las deflexiones que presento. La población que muestra esta investigación fue la, carretera PE-22 Lima – Chosica – Puente Ricardo Palma. Asimismo, como muestra se tiene al pavimento flexible del tramo de la PE-22 de una sola calzada, donde su extensión va desde el Km 35+535 al Km 39+500, tramo que ubica en el distrito de Chosica. Finalmente se exponen los siguientes resultados correspondientes a los espesores de sobrecapa producto de los factores de corrección por: factor climático, factor carga y factor pavimento donde se identificó una disminución significativa en la sobrecapa del 3.08%, 11.98% y 52.28% respectivamente, en tal sentido se concluye que los factores influyen en diseño de la sobrecapa para el refuerzo del pavimento.

Balarezo (2017) manifiesta en su tesis "Evaluación estructural usando viga benkelman aplicada a un pavimento", tesis para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad de Piura, La evaluación estructural reside en determinar la capacidad portante de la subrasante, ante problemas estructurales, los profesionales suelen confiar en la toma de muestras a partir de ensayos con calicata para realizar pruebas prosterores en en laboratorio. Este proceso se denomina ensayo destructivo el cual demanda tiempo y es costoso. La evaluación estructural realizada por ensayos no destructivos específicamente aplicando la viga Benkelman consiste básicamente en determinar la deflexión superficial del pavimento sin modificar las características físicas del paquete estructural. Esto se basa en que la curva de deflexión que contiene bastante información sobre las características que presenta a nivel de sub rasante. Se utilizo en esta evaluacion el modelo matemático "Hogg" donde las deflexiones medidas seran analizadas e interpretadas ademas de obtener el modulo resiliente y el CBR a nivel de sub rasante. Este modelo es necesario y puede ser útil en cuestiones como admitir o no el paso de cierto tipo de vehículos en ciertos pavimentos flexibles, ademas de que ayudara a los gobiernos locales a tener una mejor vision a la hora de definir el mantenimiento a realizar. Aplicando el método AASHTO se determina el S_{Neff} que presenta el pavimento flexible mediante las deflexiones halladas con el equipo de la Viga Benkelman por el proceso conocido como retro cálculo. Como población se tiene en esta investigación a los pavimentos de la Universidad de Piura. La muestra seleccionada está conformada por el tramo que empieza desde la puerta de la Av. Las Palmeras y culmina en el acceso de la Av. Country. El pavimento tiene 3,00 m de ancho y alrededor de 1,15 km de largo y se halla en un terreno compuesto por suelos de medio a finos. El equipo de medida en este estudio fue la Viga Benkelman. Así, el principal resultado del estudio es el refuerzo estructural calculado de la Ruta 2, que es muy parejo al refuerzo de 2,88 cm obtenido de la Ruta 1. Esto asegura que ambas calzadas sean válidas y que se hayan realizado una adquisición de datos precisa y un análisis adecuado sobre la muestra estudiada. Finalmente, de los resultados de la evaluación muestra que los pavimentos de la universidad de Piura necesitan de un refuerzo estructural de 2.58 y 2.88 cm de recapeo asfáltico. Obtener el valor decimal

exacto respecto al espesor del recapeo en la práctica es realmente difícil, por lo que el grosor seleccionado será de 3 cm.

2.2. Bases Teorías

Este capítulo presenta la revisión bibliográfica realizada, sobre referencias existentes relacionadas con el concepto de pavimento flexible, métodos para la evaluación de su estructura, criterios requeridos en su diseño y la aplicación de AASHTO y el Asphalt Institute, para obtener conceptos claros previos. hasta la realización de trabajos de campo y la definición de las actividades de mantenimiento y restauración de la vía Circunvalación Sur.

2.2.1. Pavimentos

Los pavimentos se conocen como un conjunto de capas superpuestas horizontalmente, que consisten en materiales conformados que cumplen con requisitos y características mínimas para realizar diseño óptimo. Estas capas conformadas se apoyarán a la subrasante y estarán sujetos a las cargas necesarias calculadas con antelación. Además, los pavimentos deben cumplir con la vida útil para la que están diseñados (Kamruzaman y Mohd Kamaruddin, 2021).

2.2.1.1. Pavimentos flexibles

Cuenta como superficie de rodadura una capa bituminosa, por lo general están soportados por dos capas, una sub base y una capa base (MTC, 2014).

- Subrasante

Esta es la primera capa estructural básica del pavimento. El espesor que deben tener otras capas depende en cierta medida de esta capa y de su calidad. Es preciso tener en cuenta la capacidad de reacción del suelo a la humedad, así como los cambios de volumen que puede experimentar cuando se expone al agua. En cuestión de suelos arcillosos al estar expuestos con el agua, estos pueden tener cambios importantes en su volumen, el cual puede comprometer a la estructura del pavimento. Por ello, las estructuras de pavimentación pueden aislarse o fijarse con algún tipo de tratamiento y prevenir los cambios de humedad. (MTC, 2014).

- **Subbase granular**

Los pavimentos se pueden diseñar con espesores más delgados, pero el uso de materiales de mejor calidad significa un aumento en el presupuesto. Los materiales de alta calidad cuestan más, esta es la razón por la cual la función de la sub base es garantizar que los esfuerzos aplicados en la sub rasante sea menor que el esfuerzo resistente (MTC, 2014).

- **Base granular**

Como función primordial de la base es el de transferir los esfuerzos generados producto de las cargas de tráfico a la sub base de manera adecuada y luego a la capa de la sub rasante (MTC, 2014).

- **Carpeta de rodadura**

Correspondiente a la capa superior de la estructura del pavimento, el cual presenta una textura y superficie uniforme, al mismo tiempo cumple la función de resistir los efectos abrasivos de los vehículos, además la carpeta asfáltica debe evitar que el agua se filtre hacia adentro tanto como sea posible soportar el estrés (MTC, 2014).

2.2.2. Fallas en pavimentos

La estructura del pavimento cuenta con una vida útil limitada. Esto significa que, durante este período, a causa de diversos factores (ambientales, diseño, tráfico, etc.) la estructura sufrirá un proceso de deterioro, el cual presentará una serie de daños o deficiencias al final de su periodo de vida (Azaña y Gonzales, 2019).

2.2.3. Fallas superficiales

Son aquellos que se dan en la superficie de la carretera, precisamente en la carpeta asfáltica, que pueden presentarse en pavimentos asfálticos como de hormigón. El proceso de restaurar depende especialmente de subsanar la fricción o restaurar la rugosidad o uniformidad de la superficie (comodidad), lo que se puede lograr extendiendo capas delgadas de asfalto que no crean contribuciones estructurales para el pavimento (Ocmin Y Ramos, 2019).

2.2.4. Fallas estructurales

Este tipo de fallas son causadas por el deterioro de una o más capas que componen la estructura del pavimento, donde su función principal es resistir y distribuir con precisión los esfuerzos recibidos del tránsito vehicular, por lo que la transferencia de esfuerzos a la base del pavimento es baja y bien distribuida. El proceso de rehabilitación reside en reforzar la estructura del pavimento mediante la colocación de una capa de espesor determinado de acuerdo al tránsito vehicular esperado (Rodríguez, 2020).

Morales (2005) considera que al superar la capacidad de la deformación elástica de las capas que conforman el paquete estructural del pavimento, se crearan deformaciones permanentes (ahuellamientos) cuando se apliquen cargas concentradas, el cual cambia el nivel de la carretera, alcanzando valores inaceptables para la velocidad del tráfico, seguridad y comodidad, además de que estas deformaciones podrían llegar a causar el colapso del pavimento.

2.2.5. Evaluación superficial

Este proceso se basa en realizar pruebas para determinar la condición de la superficie de la carpeta asfáltica y, en consecuencia, determinar sus características como rugosidad, fricción, textura, etc.; Factores que afectan al confort y la seguridad de los conductores y sus vehículos (Tacza y Rodríguez, 2018).

- Índice de condición del pavimento (PCI)

Actualmente es uno de los métodos más completos en el diagnóstico del pavimento de hormigón y asfalto. Este método no es difícil de implementar y no demanda dispositivos o herramientas complejas. La metodología PCI analiza el grado de daño, la cantidad y el deterioro de los pavimentos para determinar su condición actual (Ragnoli, De Blasiis y Di Benedetto, 2018).

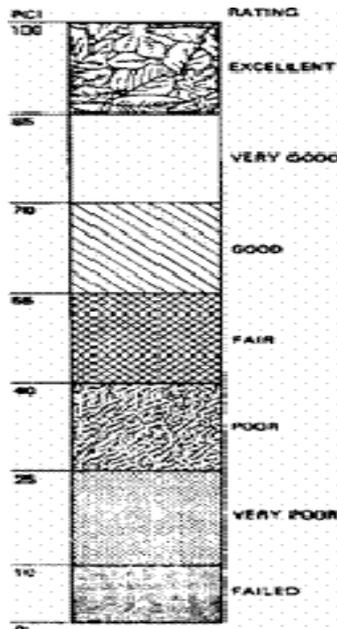


Figura 1. Índice de Condición del Pavimento (PCI) (ASTM D6433-03, 2004).

Los indicadores de estado del pavimento son valores numéricos que van de 0 a 100, respectivamente, para pavimento en mal estado y pavimento en excelente estado.

El indicador de estado del pavimento tiene como objetivo Informar a los expertos la condición actual de la estructura del pavimento. El análisis resultante en esta prueba te dará una idea de las posibles causas del fallo actual. Así, por ejemplo, para la clasificación entre malo y fallado, los pavimentos deben ser reconstruidos con buena calidad; Para una certificación normal, el pavimento debe ser rehabilitado, por lo que se recomiendan diferentes tipos de mejoras para diferentes rangos de calificación (Ragnoli, De Blasiis y Di Benedetto, 2018).

Tipos de fallas en pavimentos

La metodología PCI toma en cuenta 19 fallas que necesitan ser investigados para su posterior identificación en el pavimento a evaluar.

Tabla 1. Tipos de fallas PCI

Falla N°	Descripción	Unid.
01	Piel de cocodrilo	m2
02	Exudación	m2

03	Agrietamiento en bloque	m2
04	Hundimientos	m2
05	Corrugación	m2
06	Depresión	m2
07	Grieta de borde	m
08	Grieta de reflexión de junta	m
09	Desnivel Carril/Berma	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	m
11	Parqueo	m2
12	Pulimiento de agregados	m2
13	Huecos	unid
14	Cruce de vía férrea	m2
15	Ahuellamiento	m2
16	Desplazamiento	m2
17	Grieta parabólica	m2
18	Hinchamiento	m2
19	Desprendimiento de agregados	m2

Fuente: elaboración propia

Los diferentes tipos de falla se clasifican de acuerdo a la severidad que presente utilizando las denominaciones L, M y H:.

Tabla 2. Niveles de severidad de las fallas

Nivel de severidad	Descripción
L(Low)	Severidad baja
M(Médium)	Severidad media
H(High)	Severidad alta

Fuente: elaboración propia

2.2.6. Evaluación estructural

Su objetivo es estimar su capacidad estructural y el comportamiento de los pavimentos para soportar los esfuerzos continuos que actúan sobre la misma. Tanto las pruebas destructivas como las no destructivas se pueden usar para realizar una evaluación estructural, y el último método utilizado en la investigación actual es a través de la evaluación estructural a través de la deflectometría (Julca, Tafur y Esenarro, 2021).

- Evaluación estructural por deflectometría

La evaluación de la superficie debe complementarse con una evaluación estructural midiendo las deformaciones usando diferentes instrumentos que en

la actualidad se cuenta, entre ellos tenemos a la Viga Benkelman (Balarezo, 2017).

La evaluación de la deflexión como resultado de la aplicación de determinadas cargas estáticas o dinámicas incluye el estudio de las deflexiones que se generan en la capa asfáltica, lo que permite inferir la condición del pavimento (Cubas de la Torre, 2017).

a. Viga Benkelman

Los dispositivos de medición de deflexión, como la llamada Viga Benkelman, se pueden utilizar para detectar desviaciones en la superficie del pavimento flexible debido al tráfico de vehículos y otros tipos de esfuerzos. Este dispositivo ayuda a determinar la deformación elástica aplicando una carga estandarizada (Balarezo, 2017).

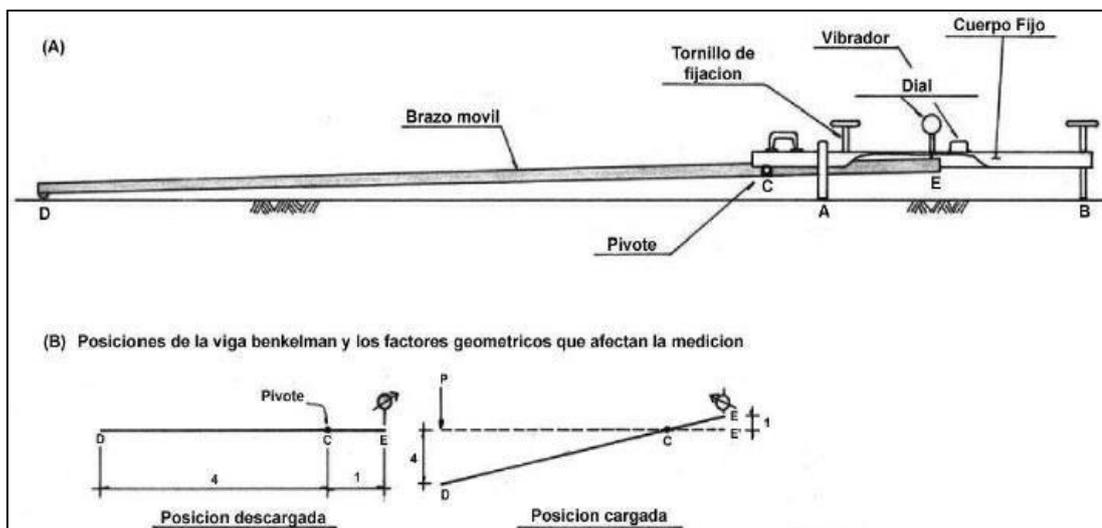


Figura 2. Esquema y operación de Viga Benkelman

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC, 2014)

• Cálculo de deflexiones y radios de curvatura

De acuerdo al MTC (2014) en su manual de carreteras sección suelos y pavimentos, las deflexiones forman parte de la respuesta elástica, pero los esfuerzos plásticos también están presentes. Los esfuerzos elásticos desaparecen al retirar la carga aplicada, por otro lado, los esfuerzos plásticos quedan permanentes, la aplicación continua de las cargas ocasiona que estos esfuerzos tiendan a su acumulación, provocando la deformación del pavimento.

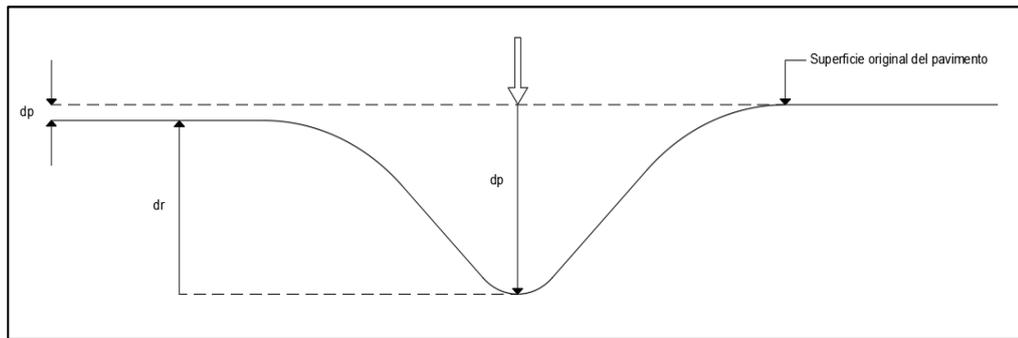


Figura 3. Esquema de deflexiones

- **Deflexión recuperable**

El control de la deflexión se efectúa cumpliendo con lo establecido y descrito en el Manual de Ensayo de Materiales del MTC. Donde la medida de la deflexión del pavimento permitirá el desarrollo de un deflectograma, donde se podrá apreciar la variación de la capacidad estructural de los diferentes pavimentos (MTC, 2014).

El procedimiento para determinar las deflexiones consiste básicamente en determinar la diferencia entre la primera y la última lectura. Para una deflexión a 25 cm este se calculará restando la lectura final y la lectura a 25 cm y se realiza en cualquier punto y distancia el mismo procedimiento (MTC, 2014).

$$D = (LF - LR) \times RB$$

Donde:

RB: Relación de brazos V.B. (1:2 ó 1:4)

LR: Lectura del dial

D: Deflexión a una distancia R (0.01 mm)

- **Corrección de las deflexiones por efecto de la temperatura.**

Dado que la temperatura del pavimento es el principal factor que perturba la deformación elástica, dos mediciones a diferentes temperaturas en el mismo punto darán resultados diferentes. En ciertos pavimentos, la deflexión tiende a aumentar de igual forma que la temperatura de la capa de asfalto, el cual esta condicionado al espesor de las diferentes capas del paquete estructural. Esto se obedece a la reducción de la densidad del concreto asfáltico, (Guzmán, 2016).

De esta forma, las deflexiones se corrigen y se convierten a la temperatura estándar de 20 °C para permitir la comparación de los valores de deflexión en puntos específicos, pero a diferentes temperaturas. (Guzmán, 2016).

Por lo tanto, para corregir las deflexiones debido a la influencia de la temperatura se presenta la siguiente ecuación:

$$D_{20} = \frac{D_t}{1 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{cm}^\circ\text{C}} \times e(t - 20^\circ\text{C}) + 1}$$

Donde:

e, espesor de la carpeta asfáltica

D₂₀, deflexión recuperable a la temperatura estándar de 20° C

D_t, deflexión recuperable a la temperatura “t” °C

b. Falling Weight Deflectometer (FWD)

El deflectómetro de caída de peso es una herramienta no destructiva utilizada en la evaluación estructural de pavimentos. La función del FWD es medir la deflexión vertical en el pavimento cuando se aplica el impulso de carga. La respuesta del pavimento (es decir, la deflexión del pavimento) está determinada por una serie de siete transductores de velocidad (geofonos) ubicados a varias distancias radiales del centro de la placa de carga. Las deformaciones FWD identificadas se midieron utilizando el método de elementos espectrales de la carga base FWD para pavimento asfáltico en diferentes campos. La data obtenida del historial temporal del FWD también se pueden manejar para indicar una estimación del daño por fatiga en pavimentos flexibles (Ab.Aziz, et al., 2021).

2.2.7. Refuerzo estructural

2.2.7.1. Recapeo en pavimentos flexibles

Con el transcurso del tiempo los pavimentos tienden a envejecer y deteriorarse, por lo que estos requieren alguna acción para proporcionar a los usuarios caminos seguros. Las acciones a tomar pueden llegar a ser desde un simple mantenimiento rutinario hasta la reconstrucción completa, dependiendo de su condición. Para pavimentos de tráfico medio y pesado, la intervención más habitual es poner un refuerzo estructural (Huang, 2004).

2.2.7.2. Metodologías para el diseño de recapeos

2.2.7.2.1. AASHTO-1993

Basado en los conceptos teóricos de Boussinesq el cual permite determinar en la capa de la sub rasante el módulo resiliente, con el supuesto de un sistema de dos capas, la primera correspondiente a la subrasante y la segunda correspondiente al paquete estructural del pavimento (AASHTO, 1993).

El proceso del diseño de la sobrecapa de AASHTO provee la determinación del espesor de refuerzo estructural para corregir las deficiencias estructurales en el pavimento,. La figura 4 muestra la disminución del comportamiento estructural del pavimento por aumento de repeticiones de cargas (N). La capacidad estructural inicial SC_o corresponde a su etapa inicial, la capacidad estructural existente SC_{eff} del pavimento es producto de las iteraciones por cargas de tráfico. Para corregir el estado del pavimento, adicionalmente se calcula la capacidad estructural SC_{OL} , diseñado de acuerdo al módulo resiliente que presenta la sub rasante existente y tráfico proyectado para un nuevo periodo de vida útil. En pavimentos flexibles el número estructural SN representa la capacidad estructural SC (Huang, 2004):

$$SN_{OL} = SN_f - SN_{eff}$$

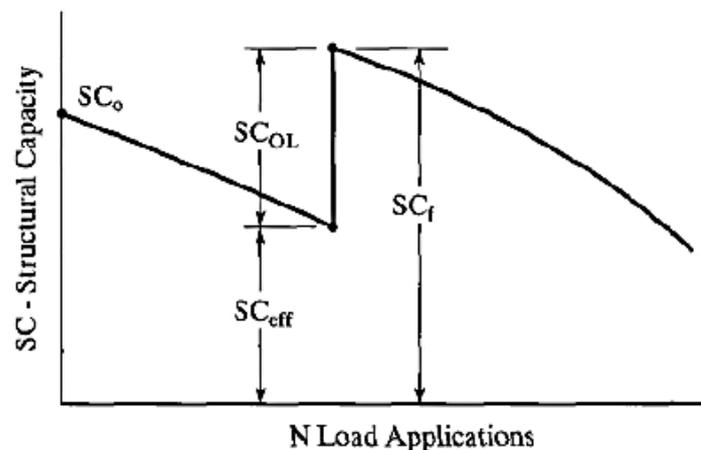


Figura 4. Capacidad estructural versus número de aplicaciones de carga (Huang, 2004).

Con las deformaciones identificadas de acuerdo a la evaluación de deflectometría, se puede valorar el módulo de resiliencia a nivel de subrasante y de ahí, por medio de una relación directa, se determina el S_{Neff} (número estructural efectivo). Para establecer el módulo de la subrasante, debe haber una deflexión a una distancia “r” a partir del punto de prueba, de modo que esta deflexión dependa solo del módulo de la subrasante y no de las capas superiores. Según la ecuación de Boussinesq, tenemos para un espacio homogéneo:

$$M_R = \frac{P(1 - \nu^2)}{\pi \times r \times d_r}$$

Donde:

M_R , módulo resiliencia de la subrasante

d_r , deflexión a la distancia r

P, carga puntual aplicada

ν , módulo de Poisson

r, distancia del punto de ensayo

La metodología AASHTO recomienda el factor de corrección C de 0.33 el cual debe multiplicarse a la ecuación anterior (AASHTO, 1993).

$$M_R = C \times \left(\frac{P(1 - \nu^2)}{\pi \times r \times d_r} \right)$$

La distancia r elegida para calcular el módulo de la subrasante debe ser lo suficientemente lejana para eliminar cualquier influencia de las capas superiores, a la vez deben estar lo suficientemente cerca de modo que la deformación no resulte lo suficientemente pequeña y las mediciones sean de mayor precisión (Huang et al., 2004). Se presenta la siguiente actuación para determinar la distancia mínima:

$$r_{min} = 0.7 \sqrt{a^2 + \left\{ D^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right\}^2}$$

Donde:

D, espesor total estructura del pavimento

a, radio equivalente del área de contacto del neumático en función de la carga aplicada y la presión de contacto dado la siguiente ecuación:

$$a = \sqrt{\frac{P}{q \times \pi}}$$

Ep, módulo efectivo del pavimento, calculado utilizando la siguiente formula:

$$\frac{M_R d_0}{qa} = 1.5 \left\{ \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\left(\frac{D}{a} \right)^3 \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right]^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}}}{\left(\frac{E_p}{M_R} \right)} \right\}$$

Donde:

do, deflexión justo debajo del punto de ensayo

q, presión de inflado de los neumáticos

Si la distancia r empleada para calcular MR y Ep resulta mayor a la distancia mínima, entonces su número estructural efectivo se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula, de lo contrario, se pasa a la siguiente distancia y su deflexión.

$$SN_{eff} = 0.0045D^3 \sqrt{E_p}$$

La capacidad estructural futura tiene el propósito de analizar y calcular la capacidad estructural total requerida de modo que el nuevo pavimento resista las cargas repetidas que ocurren durante la fase de diseño del refuerzo estructural. En resumen, esta fase consiste en diseñar un nuevo pavimento en función de las condiciones de la sub rasante actual, con la siguiente fórmula se determina el número estructural requerido SNf (Huang, 2004):

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{(4.2-1.5)} \right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Donde:

ZR , desviación estándar normal para una confiabilidad R dada

S_0 , error estándar, en pavimentos flexibles se considera 0,49

ΔPSI , índice de serviciabilidad

MR , módulo resiliente subrasante

Los valores de confiabilidad recomendados para diferentes tipos de tráfico se muestran a continuación.:

Tabla 3. Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP 0	100 000	150 000	65%
	TP 1	150 001	300 000	70%
	TP 2	300 001	500 000	75%
	TP 3	500 001	750 000	80%
	TP 4	750 001	1 000 000	80%
Resto de Caminos	TP 5	1 000 001	1 500 000	85%
	TP 6	1 500 001	3 000 000	85%
	TP 7	3 000 001	5 000 000	85%
	TP 8	5 000 001	7 500 000	90%
	TP 9	7 500 001	10 000 000	90%
	TP 10	10 000 001	12 500 000	90%
	TP 11	12 500 001	15 000 000	90%
	TP 12	15 000 001	20 000 000	95%
	TP 13	20 000 001	25 000 000	95%
	TP 14	25 000 001	30 000 000	95%
	TP 15	>30 000 000		95%

Fuente: Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014)

Coficiente Estadístico (Z_r) representa el valor de confiabilidad elegido para un conjunto de datos en una distribución normal (MTC, 2014).

Tabla 4. Coficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Z_r)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		(Z_r)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP 0	100 001	150 000	-0.385
	TP 1	150 001	300 000	-0.524
	TP 2	300 001	500 000	-0.674

	TP 3	500 001	750 000	-0.842
	TP 4	750 001	1 000 000	-0.842
Resto de Caminos	TP 5	1 000 001	1 500 000	-1.036
	TP 6	1 500 001	3 000 000	-1.036
	TP 7	3 000 001	5 000 000	-1.036
	TP 8	5 000 001	7 500 000	-1.282
	TP 9	7 500 001	10 000 000	-1.282
	TP 10	10 000 001	12 500 000	-1.282
	TP 11	12 500 001	15 000 000	-1.282
	TP 12	15 000 001	20 000 000	-1.645
	TP 13	20 000 001	25 000 000	-1.645
	TP 14	25 000 001	30 000 000	-1.645
	TP 15	> 30 000 000		-1.645

Fuente: Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014)

El Índice de Serviciabilidad Presente (PSI) es la comodidad de conducción proporcionado al conductor. Este valor va desde 0 hasta 5. Un valor de 5 manifiesta el mejor confort teórico (que es difícil de conseguir), mientras que un valor de 0 manifiesta el peor. A medida que la condición de la vía se reduce debido a los daños, el PSI también disminuye (MTC, 2014). El índice de serviciabilidad está dado por la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_i - P_t$$

La Serviciabilidad Inicial (Pi): de acuerdo al MTC (2014) representa el estado de una carretera recién construida, los índices de servicio de acuerdo al tipo de tráfico mostrados a continuación:

Tabla 5. Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		(PI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP 1	150 001	300 000	3.80
	TP 2	300 001	500 000	3.80
	TP 3	500 001	750 000	3.80
	TP 4	750 001	1,000 000	3.80
Resto de Caminos	TP 5	1 000 001	1,500 000	4.00
	TP 6	1 500 001	3,000 000	4.00
	TP 7	3 000 001	5,000 000	4.00
	TP 8	5 000 001	7,500 000	4.00

TP 9	7 500 001	10'000 000	4.00
TP 10	10 000 001	12'500 000	4.00
TP 11	12 500 001	15'000 000	4.00
TP 12	15 000 001	20'000 000	4.20
TP 13	20 000 001	25'000 000	4.20
TP 14	25 000 001	30'000 000	4.20
TP 15	>30 000 000		4.20

Fuente: Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014)

La Serviciabilidad Final (Pt): es la condición de la carretera que ha llegado al punto de necesitar una reposición o reconstrucción. Se presentan los índices de serviciabilidad final de acuerdo al tipo de tránsito (MTC, 2014).

Tabla 6. Índice de Serviciabilidad Final (Pt)

TIPO DE CAMINOS	TRAFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		(Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP 1	150 001	300 000	2.00
	TP 2	300 001	500 000	2.00
	TP 3	500 001	750 000	2.00
	TP 4	750 001	1 000 000	2.00
Resto de Caminos	TP 5	1 000 001	1 500 000	2.50
	TP 6	1 500 001	3 000 000	2.50
	TP 7	3 000 001	5, 000 000	2.50
	TP 8	5 000 001	7 500 000	2.50
	TP 9	7 500 001	10 000 000	2.50
	TP 10	10 000 001	12 500 000	2.50
	TP 11	12 500 001	15 000 000	2.50
	TP 12	15 000 001	20 000 000	3.00
	TP 13	20 000 001	25 000 000	3.00
	TP 14	25 000 001	30 000 000	3.00
	TP 15	>30 000 000		3.00

Fuente: Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014)

El espesor de la sobrecapa será determinado una vez que se hayan calculado los números estructural efectivos y futuros para las secciones de pavimentos, el espesor requerido para el refuerzo estructural asfáltico se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$D_{OL} = \frac{SN_{OL}}{a_{OL}} = \frac{SN_f - SN_{eff}}{a_{OL}}$$

Donde:

a_{OL} , coeficiente estructural de la sobrecapa

El método visual permite evaluar metodológicamente la condición actual que presenta la estructura del pavimento y asignarle un coeficiente estructural mostradas en el siguiente cuadro.

Tabla 7. Coeficiente estructural para estructuras existentes

Material	Condición de superficie	Coeficiente
Concreto asfáltico	Muy poca piel de cocodrilo y/o fisuras transversales de baja severidad.	0,35-0,40
	<10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o <5% de fisuras transversales de media y alta severidad.	0,25-0,35
	>10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o <10% de piel de cocodrilo de severidad medio y/o 5-10% de fisuras transversales de media y alta severidad.	0,20-0,30
	>10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o <10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de media y alta severidad.	0,14-0,20
	>10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de alta severidad.	0,20-0,35
	Base Estabilizada	Muy poca piel de cocodrilo de alta severidad y/o fisuras transversales.
	<10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o <5% de fisuras transversales de media y alta severidad.	0,15-0,25
	>10% de piel de cocodrilo de baja severidad y/o <10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o 5-10% de fisuras transversales de media y alta severidad	0,15-0,20
	>10% de piel de cocodrilo de severidad media y/o <10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de media y alta severidad.	0,10-0,20
	>10% de piel de cocodrilo de alta severidad y/o >10% de fisuras transversales de alta severidad.	0,08-0,15
Base o subbase granular	Sin evidencia de bombeo, degradación o contaminación por finos.	0,10-0,14
	Alguna evidencia de bombeo, degradación o contaminación por finos	0,00-0,10

Fuente: Guía de la metodología AASHTO'93

2.2.7.2.2. Método del Instituto de Asfalto

Este método permite determinar los espesores de recape que solicita el pavimento asfáltico existente, además de determinar su vida útil pendiente antes de requerir un refuerzo estructural, con base de la información medida por deflectometría que proporciona la Viga Benkelman, especialmente por las máximas deflexiones medida en el análisis. El Instituto del Asfalto propone efectuar 13 mediciones en un kilómetro de pavimento (Huang, 2004).

Las deflexiones representativas se obtendrán una vez que las pruebas de deflexión en los diferentes tramos evaluados están determinadas, las máximas deflexiones obtenidas por cada punto se usan para calcular las deflexiones representativas como se muestra en las siguientes ecuaciones (Huang, 2004):

$$d_{rrd} = (d' + 2s) \times F \times c$$
$$s = \sum_{i=1}^n \frac{(d_i - d')^2}{n - 1}$$

Donde:

d_{rrd} , deflexión representativa

s, desviación estándar

d' , deflexión promedio

n, número de datos

F, factor de ajuste por temperatura

c, factor de ajuste por periodo crítico

d_i , deflexión en cada punto

El Instituto del Asfalto proporciona una corrección de temperatura para la deflexión representativa. La Figura 5 muestra los factores de corrección de temperatura. Para un espesor base de 0 pulgadas correspondiente al pavimento que consta únicamente de la carpeta asfáltica, donde la temperatura causa mayor efecto sobre este pavimento (Huang, 2004).

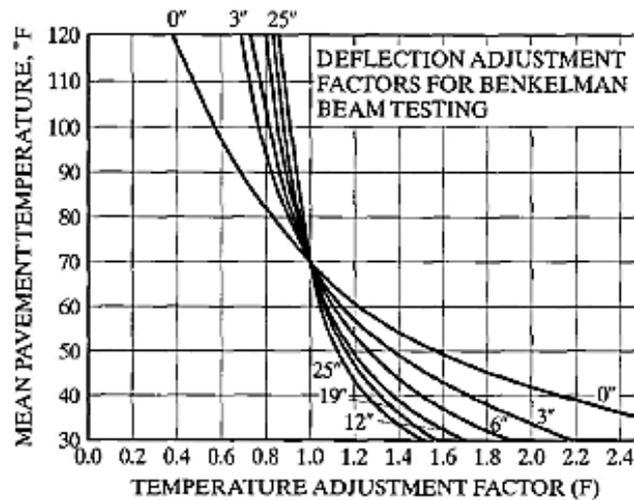


Figura 5. Factor de ajuste por temperatura (Huang, 2004).

Para módulo de elasticidad del pavimento existente el pavimento se tratará como un sistema de dos capas, en el cual la primera Capa corresponde al refuerzo asfáltico con el supuesto módulo de elasticidad de $E_1 = 500\,000$ psi, y la segunda capa concierne al pavimento existente (Huang, 2004). La d_r se utilizará para calcular el E_2 , suponiendo que el pavimento actual posee de un área homogénea, el cual tiene un valor de 0.5 respecto al módulo de Poisson.

$$E_2 = \frac{1.5 \times q \times a}{d_{rrd}}$$

Donde:

E_2 , módulo de elasticidad del pavimento existente

d_r , deflexión representativa

q , presión de inflado de las llantas

a , radio equivalente del área de contacto de las llantas

La deflexión resultante una vez colocada el recapeo asfáltico para refuerzo del pavimento este se nombra deflexión de diseño, el cual está en pulgadas y está relacionada directamente a los ESAL permisibles, la siguiente ecuación representa la relación en mención (Huang, 2004):

$$d_d = 1.0363(ESAL)^{-0.2438}$$

Definidos los parámetros anteriormente mencionados, se puede determinar el espesor de recapeo asfáltico como refuerzo estructural para el pavimento asfáltico (h_1) despejándolo de la ecuación siguiente:

$$d_a = \frac{1.5qa}{E_2} \left(\left\{ 1 - \left[1 + 0.8 \left(\frac{h_1}{a} \right)^2 \right]^{-0.5} \right\} \frac{E_2}{E_1} + \left\{ 1 + \left[0.8 \frac{h_1}{a} \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{1/3} \right]^2 \right\}^{-0.5} \right)$$

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y Diseño de investigación

Enfoque de investigación

Corresponde a un enfoque cuantitativo porque prevalecen los valores numéricos, además indaga los orígenes y esclarece de los datos recogidos de las mediciones en sitio (Carrasco, 2017).

Tipo de investigación

Este estudio es aplicativo ya que pretende dar una solución a la degradación del pavimento flexible mediante la recolección de datos a través de procedimientos independientes (Carrasco, 2017).

Diseño de la investigación

Presenta un diseño no experimental en el sentido de que solo se detallaron las características del pavimento flexible sin afectar su comportamiento normal, para su diseño de rehabilitación posterior (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Nivel de investigación

Comparativa porque tiene interés en describir y aclarar las relaciones que existen entre sus variables más resaltantes, por medio de la utilización de coeficientes de correlación (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

Transversal

Se centran en comparar ciertas características de los métodos aplicados en un momento determinado (Carrasco, 2017).

3.2 Variables y operacionalización

Tabla 8. Operacionalización de variables

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
VARIABLE: Diseño de la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur.	Es una medida necesaria para mejorar el estado de la vía, además del nivel de serviciabilidad vial, brindando seguridad y confort a los pasajeros (Ramos, 2021).	La aplicación del método PCI es muy importante para determinar la severidad, magnitud y tipos de daño en pavimentos flexibles.	Metodología a PCI	Tipos de fallas	Nominal
		Emplear la viga Benkelman en la evaluación estructural de los pavimentos, es importante cuando se desea evaluar las deflexiones en la estructura del pavimento.	Deficiencia estructural	Metodologías AASHTO-93 e Instituto del Asfalto, a partir del ensayo de la Viga Benkelman	Razón
		El espesor del refuerzo estructural es una característica importante de todo el sistema del pavimento. Por lo tanto, la elección del espesor debe satisfacer varios factores, incluida la carga de tráfico esperada y la resistencia y rigidez del pavimento disponible.	Diseño de espesor de refuerzo estructural	Metodología: - AASHTO 93 - Instituto del Asfalto	Razón

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Población, Muestra y Muestreo

Población

Pavimentos flexibles de la avenida Circunvalación de la ciudad de Puno, el cual comprende el tramo desde la av. Ejército hasta el jr. Puno, el cual posee una

longitud total de 2870 metros de longitud con un ancho promedio total de 11.50 metros de calzada.



Figura 6. Ubicación del tramo en estudio

Muestra

La muestra seleccionada para este estudio contempla la pavimentación flexible de la vía Circunvalación Sur, el tramo está constituido desde la Av. Ejército hasta el Jr. Pacheco Vargas, el cual tiene cuenta con una longitud total de 1.541 metros y una anchura total media de 11,50 metros.

Muestreo

El muestreo o técnicas de muestreo no son probabilísticos debido al tipo de abordaje e investigación del problema. De manera similar, confiamos en el juicio subjetivo de una manera conveniente.

3.4 Técnicas e instrumento de recolección de datos.

Para el primer objetivo correspondiente al estado actual del pavimento, se utiliza como método científico la exploración y observación de campo, además del análisis de la literatura del método PCI, por lo tanto, la herramienta utilizada será la ficha técnica donde se identifican y clasifican los diferentes tipos de fallas.

Para el segundo objetivo correspondiente de identificar las deficiencias estructurales del pavimento existente, se utilizó como método científico la exploración y observación en campo, además de una revisión de la literatura correspondiente al método de la Viga. Para la recolección de datos de las deflexiones medidas en campo, se utilizarán como instrumento las fichas elaboradas por la metodología del ensayo de la Viga Benkelman.

Para el tercer objetivo correspondiente al cálculo del espesor de recapeo, se llevará a cabo la técnica científica del análisis documental de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto.

3.5 Procedimiento

Desarrollo de Objetivo General, respecto a Comparar los métodos AASHTO 93 y el Instituto del asfalto, respecto al diseño de la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno - 2021.

Para la presente investigación el cual tiene como objetivo general compara dos metodologías en el diseño de la rehabilitación de la Av. Circunvalación Sur, donde el diseño de la sobrecapa se determina uno de los parámetros fundamentales, siendo este el cálculo de número de ejes equivalentes (ESAL), en tal sentido se procedió a realizar un estudio de tráfico en el punto más crítico con mayor congestión, El procedimiento del estudio de tráfico está basado en el manual de Suelos y Pavimentos (MTC, 2014).

El IMDA de una vía se puede determinar de acuerdo con lo establecido en el manual de suelos y pavimentos del MTC (2014), a partir de un conteo vehicular, así como el cálculo de los factores de mayoración (MTC, 2014).

Se realizó el aforo vehicular en los dos carriles de la Avenida Circunvalación Sur del 20 al 26 de enero de 2022 durante un período de 12 horas, comenzando a las 7:00 y terminando a las 19:00 horas, categorizando los vehículos en el formato del MTC. El volumen total de tráfico del carril izquierdo es de 1138 vehículos mientras que el volumen del carril derecho fue de 1115 vehículos.

Tabla 9. Conteo vehicular Av. Circunvalación Sur, Puno

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR																						
TRAMO DE LA CARRETERA:		AV. CIRCUNVALACION SUR					ESTACION :		1													
SENTIDO :		N-S Y S-N					DIA :		JUEVES													
UBICACIÓN :		PUNO					FECHA :		20/01/2022													
HORA	SENTIDO	AUTO 	STATION WAGON 	CAMIONETAS			MICRO 	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
				PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 		2 E 	3 E 	2 E 	3 E 	4 E 	2S1/2S2 	2S3 	3S1/3S2 	>= 3S3 	2T2 	2T3 	3T2 	3T3 		
JUEVES 20-01-2022	N-S	474	39	231	19	57	0	13	14	17	8	0	11	25	48	33	0	0	1	0	990	
	S-N	460	47	223	28	56	0	11	19	19	9	0	24	51	55	31	0	0	0	0	1034	
	TOTAL	934	86	454	48	113	0	25	33	36	18	0	34	76	103	64	0	0	1	0	2024	
VIERNES 20-01-2022	S-N	523	34	236	28	62	0	13	21	15	9	0	32	63	63	36	0	0	0	0	1136	
	N-S	507	41	254	30	60	0	13	20	22	10	0	29	53	53	30	0	0	1	0	1121	
	TOTAL	1030	75	490	58	121	0	26	41	37	19	0	62	116	116	66	0	0	1	0	2257	
SABADO 20-01-2022	N-S	511	48	241	29	58	0	15	12	23	9	0	28	61	61	32	0	0	0	0	1129	
	S-N	495	58	265	26	67	0	11	19	28	10	0	30	53	53	32	0	0	2	0	1149	
	TOTAL	1006	106	506	55	125	0	26	31	51	19	0	58	114	114	64	0	0	2	0	2278	
DOMINGO 20-01-2022	S-N	467	46	244	21	55	0	9	15	21	7	0	22	47	47	23	0	0	0	0	1024	
	N-S	475	38	233	28	56	0	10	16	26	8	0	24	26	26	26	0	0	0	0	991	
	TOTAL	942	84	477	49	111	0	19	31	47	15	0	46	73	73	48	0	0	0	0	2015	
LUNES 20-01-2022	N-S	669	66	328	42	79	0	16	18	35	12	0	35	31	31	29	0	0	1	0	1391	
	S-N	675	65	348	39	82	0	15	22	33	11	0	34	29	29	18	0	0	2	0	1404	
	TOTAL	1344	131	676	81	161	0	31	40	68	23	0	69	61	61	46	0	0	3	0	2794	
MARTES 20-01-2022	N-S	480	47	222	24	56	0	13	21	26	12	0	35	39	39	35	0	0	1	0	1049	
	S-N	467	42	229	27	60	0	11	19	23	11	0	32	80	80	42	0	0	0	0	1121	
	TOTAL	947	89	451	51	117	0	24	40	49	22	0	67	118	118	77	0	0	1	0	2171	
MIERCOLES 20-01-2022	N-S	489	48	240	29	58	0	11	24	26	12	0	36	40	40	36	0	0	2	0	1089	
	S-N	501	41	246	29	59	0	14	24	32	7	0	36	58	58	41	0	0	0	0	1146	
	TOTAL	991	89	486	58	117	0	25	48	58	19	0	72	98	98	77	0	0	2	0	2235	
IMDs	N-S	516	47	249	27	61	0	13	18	23	10	0	28	44	47	32	0	0	1	0	1115	
	S-N	511	48	257	30	63	0	12	20	26	9	0	30	50	51	31	0	0	1	0	1138	
	TOTAL	1028	94	506	57	124	0	25	38	49	19	0	58	94	98	63	0	0	1	0	2253	
IMDa	N-S	546	50	263	29	64	0	13	19	24	10	0	30	46	49	34	0	0	1	0	1178	
	S-N	541	50	272	31	67	0	13	21	27	10	0	31	52	53	33	0	0	1	0	1201	
	TOTAL	1087	100	535	61	131	0	26	40	52	20	0	61	98	102	66	0	0	1	0	2379	
ACTOR DE CORRECCION ESTACIONA																						
LIVIANOS	Fe:	1.0576																				
PESADOS	Fe:	1.0489																				

Respecto a los ejes simples equivalentes (ESAL) para los carriles de la Av. Circunvalación Sur, se determinó los factores de carga F_{ci} para los vehículos pesados de acuerdo a sus características, factor de carril de diseño f_d y el factor de crecimiento bruto G_{rt} y el (MTC, 2014):

El F_d (factor direccional), correspondiente al número de vehículos pesados que transitan en un sentido, suele corresponder a la mitad del tráfico total en ambos sentidos, pudiendo ser mayor un sentido versus la otra dirección, se decidirá en función de la cantidad de tráfico. (MTC, 2014).

El F_c (factor de distribución carril), correspondiente al carril que recibe el mayor número de EE, ya que el tráfico en cada sentido se canaliza esencialmente a través de ese carril (MTC, 2014).

Tabla 10. Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño

Nº de calzadas	Nº de sentidos	Nº de carriles por sentido	(F_d)	(F_c)	Factor Ponderado $F_d \times F_c$ para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

Las tasas de crecimiento y su proyección de vehículos de pasajeros y vehículos pesados, por lo general está relacionada con la tasa de crecimiento anual de la población y la tasa de crecimiento anual de la economía (PBI) respectivamente. Las tasas de crecimiento suelen oscilar entre el 2 % y el 6 % (MTC, 2014).

El cálculo de EE (ejes equivalentes) para el diseño del pavimento corresponde a la solicitud del tránsito pesado (ómnibus y camiones), el cual es la que tiene mayor importancia (MTC, 2014).

El Fvp (factor de vehículos pesados) es el promedio de EE (ejes equivalentes) para cada clase de vehículo pesado. Los factores de EE se calcularán utilizando la carga real en cada eje de vehículos pesados encuestados en el censo de cargas (MTC, 2014).

En la Tabla 11 se muestran los diferentes tipos de configuración de ejes

Tabla 11. Configuración de ejes y factor de vehículo pesado.

SÍMBOLO	LONGITUD TOTAL (m)	CARGA POR EJE (T)				PESO BRUTO MÁXIMO (T)	FACTOR VEHÍCULO PESADO PAVIMENTO FLEXIBLE, AFIRMADOS Y SEMIRRÍGIDOS	FACTOR VEHÍCULO PESADO PAVIMENTO RÍGIDO	
		EJE DELANTERO	CONJUNTO POSTERIOR						
			1er EJE	2do EJE	3er EJE				4to EJE
C2	12.3	7	11			18	4.504	4.511	
C3	13.2	7	18			25	3.285	3.292	
C4	13.2	7	25			32	2.971	2.979	
8x4	13.2	14	18			48	4.550	4.565	
2S1	20.5	7	11	11		29	7.742	7.749	
2S2	20.5	7	11	18		36	6.523	6.530	
T2Se2	20.5	7	11	11	11	40	10.980	10.988	
2S3	20.5	7	11	25		43	6.210	6.217	
T2Se3	20.5	7	11	11	18	47	9.761	9.769	
3S1	20.5	7	18	11		36	6.523	6.530	
3S2	20.5	7	18	18		43	5.304	5.311	
T3Se2	20.5	7	18	11	11	47	9.761	9.769	
3S3	20.5	7	18	25		48	4.991	4.998	

T3Se3	20.5	7	18	11	18	48	8.542	8.550	
2T2	23.0	7	11	11	11	40	10.980	10.988	
2T3	23.0	7	11	11	18	47	9.761	9.769	
3T2	23.0	7	18	11	11	47	9.761	9.769	
3T3	23.0	7	18	11	18	48	8.542	8.550	
3T4	23.0	7	18	18	18	48	7.323	7.330	
C4R2	23.0	7	25	11	11	48	9.448	9.455	
C4R3	23.0	7	25	11	18	48	8.229	8.236	
8x4R2	23.0	14	18	11	11	48	11.027	11.041	
8x4R3	23.0	14	18	11	18	48	9.807	9.822	
8x4R4	23.0	14	18	18	18	48	8.588	8.603	
C2RB1	20.5	7	11	11		29	7.742	7.749	
C2RB2	20.5	7	11	18		36	6.523	6.530	
C2RB3	20.5	7	11	25		43	6.210	6.217	
C3RB1	20.5	7	18	11		36	6.523	6.530	
C3RB2	20.5	7	18	18		43	5.304	5.311	
C3RB3	20.5	7	18	25		48	4.991	4.998	
C4RB1	20.5	7	25	11		43	6.210	6.217	
C4RB2	20.5	7	25	18		48	4.991	4.998	
C4RB3	20.5	7	25	25		48	4.677	4.685	
8x4RB1	20.5	14	18	11		43	7.788	7.803	
8x4RB2	20.5	14	18	18		48	6.569	6.584	
8x4RB3	20.5	14	18	25		48	6.256	6.271	
S3		7	11	18	11	18	48	11.780	11.788
B2	13.2	7	11				18	4.504	4.511
B3-1	14.0	7	16				23	2.631	2.639
B4-1	15.0	14	16				30	3.897	3.912
BA-1	18.3	7	11	7			25	5.769	5.776

Fuente: Elaboración propia

Para determinar los EE, se empleó el factor de reajuste por presión de neumáticos, calculando los efectos adicionales de deterioro que genera la presión de los neumáticos sobre el pavimento en estudio.

Tabla 12. Factor de ajuste por presión de neumático fp.

FACTOR DE AJUSTE POR PRESIÓN DE NEUMÁTICO (Fp) PARA EJES EQUIVALENTES (EE)							
Espesor de Capa de Rodadura (mm)	Presión de Contacto del Neumático (PCN) en psi PCN = 0.90x[Presión de inflado del neumático] (psi)						
	80	90	100	110	120	130	140
50	1.00	1.36	1.80	2.31	2.91	3.59	4.37
60	1.00	1.33	1.72	2.18	2.69	3.27	3.92
70	1.00	1.30	1.65	2.05	2.49	2.99	3.53
80	1.00	1.28	1.59	1.94	2.32	2.74	3.20
90	1.00	1.25	1.53	1.84	2.17	2.52	2.91
100	1.00	1.23	1.48	1.75	2.04	2.35	2.68
110	1.00	1.21	1.43	1.66	1.91	2.17	2.44
120	1.00	1.19	1.38	1.59	1.80	2.02	2.25
130	1.00	1.17	1.34	1.52	1.70	1.89	2.09
140	1.00	1.15	1.30	1.46	1.62	1.78	1.94
150	1.00	1.13	1.26	1.39	1.52	1.66	1.79
160	1.00	1.12	1.24	1.36	1.47	1.59	1.71
170	1.00	1.11	1.21	1.31	1.41	1.51	1.61
180	1.00	1.09	1.18	1.27	1.36	1.45	1.53
190	1.00	1.08	1.16	1.24	1.31	1.39	1.46
200	1.00	1.08	1.15	1.22	1.28	1.35	1.41

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.

Entonces en el cálculo de los EE (Ejes Equivalentes) de 8.2 tn, en la fase de diseño, la sumatoria de los distintos tipos de vehículos pesados será el resultado final, para lo cual se empleó la siguiente ecuación para el tipo de vehículo;:

$$N_{rep EE 8.2tn} = S(EE_{dia} - carril * Fca * 365)$$

Tabla 13. Cálculo de ESAL Carril Derecho

CALCULO DEL ESAL DE DISEÑO												
PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía circunvalación sur, Puno, 2021"												
TIPO DE VEHICULO	DESCRIPCION	IMDA	Fd	Fc	r (%)	n (años)	FCa	Fvp	PROMEDIO DE PRESION DE INFLADO (PPI-psi)	Fp (PPI*0.90)	EE (por vehículo)	EE
B2	Omnibus 2E	13	0.5	0.8	0.05	10	12.46	13.200	122.2	1.800	561,902.00	1.45E+07
B3-1	Omnibus 3E	19	0.5	0.8	0.05	10	12.46	14.000	122.2	1.800	871,014.00	
C2	Camiones 2E	24	0.5	0.8	0.07	10	13.49	12.300	122.2	1.800	1,046,535.00	
C3	Camiones 3E	10	0.5	0.8	0.07	10	13.49	13.200	122.2	1.800	467,963.00	
2S1	Semitrayler 3E	30	0.5	0.8	0.07	10	13.49	20.500	122.2	1.800	2,180,281.00	
2S3	Semitrayler 5E	46	0.5	0.8	0.07	10	13.49	20.500	122.2	1.800	3,343,097.00	
3S1	Semitrayler 4E	49	0.5	0.8	0.07	10	13.49	20.500	122.2	1.800	3,561,125.00	
3S3	Semitrayler 6E	34	0.5	0.8	0.07	10	13.49	20.500	122.2	1.800	2,470,985.00	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14. Cálculo de ESAL Carril Izquierdo

CALCULO DEL ESAL DE DISEÑO												
PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía circunvalación sur, Puno, 2021"												
TIPO DE VEHICULO	DESCRIPCION	IMDA	Fd	Fc	r (%)	n (años)	FCa	Fvp	PROMEDIO DE PRESION DE INFLADO (PPI-psi)	Fp (PPI*0.90)	EE (por vehículo)	EE
B2	Omnibus 2E	13	0.5	0.8	0.05	10	12.46	13.200	122.2	1.800	561,902.00	1.55E+07
B3-1	Omnibus 3E	21	0.5	0.8	0.05	10	12.46	14.000	122.2	1.800	962,699.00	
C2	Camiones 2E	27	0.5	0.8	0.07	10	13.49	12.300	122.2	1.800	1,177,352.00	
C3	Camiones 3E	10	0.5	0.8	0.07	10	13.49	13.200	122.2	1.800	467,963.00	
2S1	Semitrayler 3E	31	0.5	0.8	0.07	10	13.49	20.500	122.2	1.800	2,252,957.00	
2S3	Semitrayler 5E	52	0.5	0.8	0.07	10	13.49	20.500	122.2	1.800	3,779,153.00	
3S1	Semitrayler 4E	53	0.5	0.8	0.07	10	13.49	20.500	122.2	1.800	3,851,829.00	
3S3	Semitrayler 6E	33	0.5	0.8	0.07	10	13.49	20.500	122.2	1.800	2,398,309.00	

Fuente: Elaboración Propia

Desarrollo de Objetivo Especifico 1, respecto a la evaluación del estado actual del pavimento flexible de la Av. Circunvalación Sur de la ciudad de Puno, siguiendo la metodología índice de condición del pavimento (PCI). Para esta investigación se consideró como objetivo específico realizar una evaluación funcional, considerando que es un parámetro importante en el desarrollo del diseño de la rehabilitación. Este procedimiento de ensayo está basado en los lineamientos de la metodología PCI (Índice de Condición del

Pavimento): con este método se identificó y cuantifico los daños superficiales que exhibe el pavimento estudiado mediante la evaluación visual, donde se determinaron los rangos de clasificación de daños por clase, la severidad y densidad.

Procedimiento para calcular el PCI (Índice de Condición del Pavimento)

Apoyado del método presentado se procede a la ejecución de la metodología PCI, para esto se realizó la evaluación funcional en la vía Circunvalación Sur, este tramo está comprendido desde la Av. Ejercito – Jr. Pacheco Vargas. Este tramo tiene una extensión longitudinal de 1541m. y una sección transversal conformada por una calzada con dos carriles de aproximadamente 6.5m. de ancho. El tránsito que presenta es generalmente pesado.

Unidades de muestra

Para dar inicio al procedimiento de evaluación es necesario definir las U.M. (unidades de muestreo) del pavimento en estudio. El ancho vehicular máximo será de 7,3 m y el área de muestreo será de 230,0 ± 93,0 m².

Tabla 15. Longitudes de unidades de muestreo para carreteras asfálticas.

ANCHO DE CALZADA	LONGITUD DE LA UNIDAD DE MUESTREO (m)
5.0	46.0
5.5	41.8
6.0	38.3
6.5	35.4
7.30 (máx.)	31.5

Fuente: Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos (ASTM D6433)

La vía Circunvalación tramo Av. Ejercito – Jr. Pacheco Vargas tiene un ancho de carril de 6.50 m. asimismo de acuerdo con la Tabla 15 para nuestro caso la longitud de la U.M. (unidad de muestreo) es de 35.40 m.



Figura 7. Ancho de calzada CD Km 0+000
Fuente: Propia



Figura 8. Ancho de calzada CD Km 0+142
Fuente: Propia

Datos para establecer las UM.

- ✓ Ancho de carril: 6.50 m.
- ✓ Extensión de la U.M. (unidad de muestra): 35.40 m.
- ✓ Extensión de la muestra: 1 350 m o 1.35 km.

Se calculo el área con la longitud asumida de acuerdo al ancho, de donde se determinó el área de: 230.10 m^2 para cada muestra, el cual cumple con el área de muestreo de $230,0 \pm 93,0 m^2$ propuesto por la metodología PCI. Seguidamente se determina la cantidad de U.M. a inspeccionar:

$$U.M. = L / LM$$

$$U.M. = 1\ 350.00\ m / 35.40\ m$$

$$U.M. = 38$$

Cálculo de unidades de muestra a evaluar

En esta sección se obtendrá una estimación del 95% de confiabilidad para el PCI. La cantidad mínima está determinada por la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Datos:

n: cantidad mínima de U.M. a inspeccionar.

s: 10 para pavimento asfáltico.

N: 38.

e: 5%.

$$n = \frac{38 \times 10^2}{\frac{5^2}{4} \times (38 - 1) + 10^2}$$

$n=11$

Intervalo para unidades de muestra:

Es recomendable elegir las muestras espaciadas uniformemente en todo el tramo del pavimento, donde la primera se deberá elegir al azar, este intervalo entre unidades de muestreo se determina de la siguiente manera:

$$i = \frac{N}{n}$$

Datos:

N: 38

n: 11

i: Intervalo de muestreo

$$i = 3.5$$

Por lo tanto, nuestra vía en estudio tiene 1 350 metros y cuenta con 6.50m. en promedio de ancho de calzada, por lo cual la longitud y el área de las muestras será de 35.40 metros y 230.10 m² respectivamente. Se evaluaron en total 22 unidades de muestra a lo largo de los 1.350 metros de nuestro pavimento en estudio. A continuación, se presentan los diferentes tipos de fallas identificados.



Figura 9. Longitud de unidad de muestra
Fuente: Propia



Figura 10. Identificación de grieta transversal
Fuente: Propia



Figura 11. Identificación de hueco
Fuente: Propia

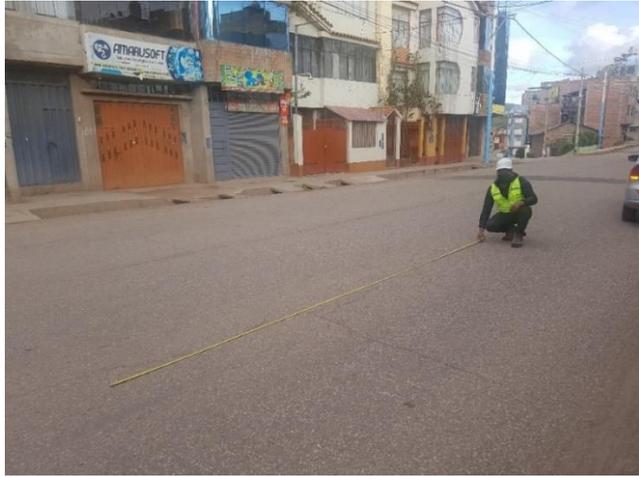


Figura 12. Identificación de grieta longitudinal
Fuente: Propia



Figura 13. Identificación desnivel de carril
Fuente: Propia



Figura 14. Identificación de piel de cocodrilo
Fuente: Propia



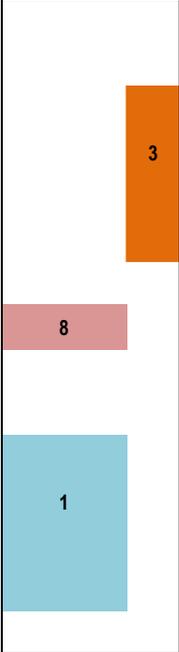
Figura 15. Identificación de agrietamiento en bloque
Fuente: Propia



Figura 16. Identificación de parcheo y acometidas de servicios públicos.
Fuente: Propia

En el formato de inspección de unidades de muestra N° 01, se observa 3 tipos de fallas, con sus dimensiones y severidades, densidad y valor deducido. La siguiente tabla será el primer ejemplo de la unidad de muestra número uno para el cálculo de PCI.

Tabla 16. PCI unidad de muestra 01

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFALTICA										
PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía circunvalación sur, Puno, 2021"										
Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores						Departamento : Puno				
Nombre de la vía : Av. Circunvalacion sur			Unidad de muestreo : 1			Progresiva inicial : K0+000				
Calzada : Derecha			Área de muestreo : 230.1 m ²			Progresiva final : K0+000				
Ancho de vía : 6.5 m			Fecha : 08-11-2018							
PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS										
1.- Piel de cocodrilo (m ²)			6.- Erosión por chorro de turbina (m ²)			11.- Agregado pulido (m ²)				
2.- Exudación (m ²)			7.- Reflexión de juntas PCC (m)			12.- Peladura (m ²)				
3.- Fisura de bloque (m ²)			8.- Fisuras long. y transv. (m)			13.- Ahuellamiento (m ²)				
4.- Ondulación (m ²)			9.- Deterioro por derrame de combustible (m ²)			14.- PCC expuesto (m ²)				
5.- Depresión (m ²)			10.- Bacheos (m ²)			15.- Fisuras por deslizamiento (m ²)				
16.- Hinchamiento (m ²)										
Severidad L:Bajo			M:Medio			H:Alto				
Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad						Esquema	
			L	A	H	Total	Densida	Valor		
3	m ²	M	5.4	1.9		10.3	4.5	11.2		
8	m	M	3.6			3.6	1.6	10.0		
1	M	M	3.9	2.8		10.9	4.7	25.7		

Fuente: Elaboración Propia

Para el segundo objetivo correspondiente al comportamiento estructural actual del pavimento flexible aplicando los métodos AASHTO 93 e Instituto del asfalto en la vía Circunvalación Sur:

Para la presente investigación se consideró como objetivo específico realizar

una evaluación estructural, Las mediciones de deflexión permitieron analizar el comportamiento estructural del pavimento de manera no destructiva y sin dañar su integridad evitando el deterioro temprano de la vía, por medio de procesos conocidos como retro cálculo se determinó el módulo resiliente de la subrasante de acuerdo a las dos metodologías empleadas AASHTO e Instituto del Asfalto, así mismo, esto permitió determinar su soporte de acuerdo al número estructural efectivo.

El comportamiento estructural del pavimento flexible se determinará siguiendo el siguiente procedimiento:

Puntos de evaluación: de acuerdo a los métodos presentados para determinar el comportamiento estructural de la subrasante se empleó el ensayo de la Viga Benkelman, se realizó una evaluación por deflectometría de 28 puntos a cada 100m. sobre el pavimento de la Av. Circunvalación Sur, este tramo está comprendido desde la Av. Ejercito – Jr. Pacheco Vargas. Dicho tramo vial posee una extensión de 1541 m. y una sección transversal conformada por dos carriles de aproximadamente 6.5m. de ancho. El tránsito por lo general es pesado.

El instrumento utilizado para medir la deflexión es la Viga Benkelman, el cual cumple con todos los parámetros estandarizados por la norma ASTM D 4695 y el protocolo de calibración de SHRP para equipos de este tipo.



Figura 17. Viga Benkelman
Fuente: Propia

La deflexión resultante por punto se mide en dos diales, uno para cada brazo, lo que permite obtener una curva completa del cuenco de deflexiones. Los resultados de las respuestas ubicadas a distancias de 25, 50, 75, 100 y 500 cm se obtienen de la progresiva evaluada respectivamente; También se muestran la temperatura ambiente y la temperatura del pavimento asfáltico.

Este equipo mecánico depende de un camión para realizar el ensayo, el cual cumple con las siguientes particularidades: el peso del eje trasero es de 8,3 toneladas, que se distribuye uniformemente sobre sus ruedas gemelas y está provisto de neumáticos de caucho y cámara neumática. las habitaciones. Los neumáticos deben medir 10 x 20 pulgadas; 12 capas e inflado a 80 psi.



Figura 18. Camión para ensayo de la Viga Benkelman
Fuente: Propia

Procedimiento de medición:

La medición de la deflexión de la estructura de pavimentación se llevó a cabo en los carriles izquierdo y derecho del pavimento, cada cien metros de acuerdo con las metodologías de AASHTO y el Instituto del asfalto.

Primeramente, identificamos el punto a ensayar el cual debe estar debidamente marcado con una línea que atravesase la calle. En esta línea, se ubica a 0,90 m del borde de la calzada el punto de ensayo.



Figura 19. Punto de ensayo Progresiva k0+100
Fuente: Propia

Luego se procedió a instalar la viga sobre el pavimento se ubicará en la parte posterior del volquete, perpendicular al eje de carga para que el punto de control del primer basculante coincida con la marca del de la prueba, de modo que al momento de comenzar el ensayo el equipo no roce con las ruedas.



Figura 20. Armado de la Viga para el ensayo
Fuente: Propia

El técnico suelta el seguro de los brazos y por medio de un tornillo trasero ajusta la base de la viga, de modo que estén en contacto ambos brazos de medición con los diales. Se procede a ajustar los diales donde los vástagos tendrán un recorrido libre comprendido entre 4 y 6mm. las agujas de los diales se pondrán

en cero y se golpea suavemente con un lápiz el equipo y se verifica la lectura.



Figura 21. Calibración de diales.

Fuente: Propia

Para la lectura de la temperatura del pavimento se realizó una perforación en cada punto del procedimiento de ensayo (antes del inicio del ensayo y al mismo tiempo que se marca el punto a evaluar), el tamaño de este orificio tiene una profundidad de 4 cm. Se debe tener en cuenta el rango de temperatura de trabajo, el cual debe estar dentro de los límites de 5 – 35 °C.



Figura 22. Medición de la temperatura del pavimento.

Fuente: Propia

La prueba inicia, el camión se mueve lentamente; se lectura los diales a las distancias de 0, 25, 50, 75, 100 y 500. Cuando dos lecturas sucesivas no presenten una diferencia mayor a 0,01 mm, la recuperación a finalizado, tomando registro de las lecturas finales observadas (L0 y L25).



Figura 23. Recolección de lecturas en la ficha técnica.
Fuente: Propia

Este ensayo de deflectometría empleando como instrumento la Viga Benkelman se desarrolló el día 18 de febrero del 2022 en coordinación con el laboratorio de suelos. El equipo estuvo conformado por:

- ✓ Ing. Supervisor.
- ✓ Técnico de Operaciones.
- ✓ Chofer.
- ✓ 02 paletteros.

Se presentan las imágenes donde se aprecia el registro de las mediciones por deflectometría:



Figura 24. Ensayo de la Viga Benkelman Progresiva k0+900 CD
Fuente: Propia



Figura 25. Ensayo de la Viga Benkelman Progresiva k1+200 CI
Fuente: Propia

Desarrollado el ensayo se exponen los resultados conseguidos de los 28 puntos de ensayados.

Tabla 17. Lecturas medidas en campo Viga Benkelman

PUNTO	Progresiva teórica (km)	Carril	LECTURAS DE CAMPO								
			Temperatura		lecturas Medidas (0.01mm)						
			Pav.	Aire	L ₀	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	2° Dial
			°C	°C	0 cm	25 cm	50 cm	75 cm	100 cm	500 cm	L-25
1	K0+000	D	13.0	12.0	0	5	9	13	15	20	11
2	K0+100	D	14.0	13.0	0	2	4	6	9	14	9
3	K0+200	D	13.0	11.0	0	3	5	6	11	32	22
4	K0+300	D	12.0	10.0	0	4	3	5	9	14	10
5	K0+400	D	14.0	11.0	0	15	25	29	34	47	36
6	K0+500	D	13.0	11.0	0	4	7	11	13	31	25
7	K0+600	D	14.0	12.0	0	3	4	6	10	17	8
8	K0+700	D	15.0	13.0	0	6	8	12	16	29	23
9	K0+800	D	15.0	13.0	0	1	2	4	5	13	10
10	K0+900	D	14.0	13.0	0	2	5	7	10	27	23
11	K1+000	D	14.0	11.0	0	5	6	8	9	12	8
12	K1+100	D	14.0	13.0	0	10	14	18	29	38	28
13	K1+200	D	15.0	12.0	0	13	17	21	27	36	26
14	K1+300	D	16.0	11.0	0	3	5	7	9	12	10
15	K0+000	I	14.0	12.0	0	10	12	25	26	27	24
16	K0+100	I	15.0	13.0	0	3	5	8	11	12	10
17	K0+200	I	14.0	12.0	0	9	11	15	17	29	26
18	K0+300	I	13.0	11.0	0	7	10	12	14	16	14

19	K0+400	I	15.0	12.0	0	5	9	13	17	35	25
20	K0+500	I	14.0	13.0	0	10	15	19	21	23	20
21	K0+600	I	13.0	12.0	0	10	12	20	28	35	25
22	K0+700	I	12.0	11.0	0	2	5	7	14	15	12
23	K0+800	I	13.0	10.0	0	16	20	32	42	49	45
24	K0+900	I	16.0	14.0	0	12	15	17	23	37	30
25	K1+000	I	16.0	15.0	0	2	5	8	12	21	12
26	K1+100	I	15.0	14.0	0	15	17	24	35	37	27
27	K1+200	I	16.0	15.0	0	13	19	23	31	37	30
28	K1+300	I	14.0	14.0	0	15	18	25	29	33	23

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de deflexiones

Para calcular las deflexiones recuperables DT del pavimento para los puntos de prueba y distancias establecidas, se procederá aplicando el procedimiento descrito en la cláusula 2.2.6, para 14 puntos de cada carril siendo 28 puntos en total.

Tabla 18. Cálculo de Deflexiones

PUNTO	Progresiva teórica (km)	Carril	DEFLEXIONES CALCULADAS									
			Temperatura		Deflexiones DT (0.01mm)							2° Dial L-25
			Pav.	Aire	d ₀	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅		
			°C	°C	0 cm	25 cm	50 cm	75 cm	100 cm	500 cm		
1	K0+000	D	13.0	12.0	0	20	36	52	60	80	44	
2	K0+100	D	14.0	13.0	0	8	16	24	36	56	36	
3	K0+200	D	13.0	11.0	0	12	20	24	44	128	88	
4	K0+300	D	12.0	10.0	0	16	12	20	36	56	40	
5	K0+400	D	14.0	11.0	0	60	100	116	136	188	144	
6	K0+500	D	13.0	11.0	0	16	28	44	52	124	100	
7	K0+600	D	14.0	12.0	0	12	16	24	40	68	32	
8	K0+700	D	15.0	13.0	0	24	32	48	64	116	92	
9	K0+800	D	15.0	13.0	0	4	8	16	20	52	40	
10	K0+900	D	14.0	13.0	0	8	20	28	40	108	92	
11	K1+000	D	14.0	11.0	0	20	24	32	36	48	32	
12	K1+100	D	14.0	13.0	0	40	56	72	116	152	112	
13	K1+200	D	15.0	12.0	0	52	68	84	108	144	104	
14	K1+300	D	16.0	11.0	0	12	20	28	36	48	40	
15	K0+000	I	14.0	12.0	0	40	48	100	104	108	96	
16	K0+100	I	15.0	13.0	0	12	20	32	44	48	40	
17	K0+200	I	14.0	12.0	0	36	44	60	68	116	104	
18	K0+300	I	13.0	11.0	0	28	40	48	56	64	56	
19	K0+400	I	15.0	12.0	0	20	36	52	68	140	100	

20	K0+500		14.0	13.0	0	40	60	76	84	92	80
21	K0+600		13.0	12.0	0	40	48	80	112	140	100
22	K0+700		12.0	11.0	0	8	20	28	56	60	48
23	K0+800		13.0	10.0	0	64	80	128	168	196	180
24	K0+900		16.0	14.0	0	48	60	68	92	148	120
25	K1+000		16.0	15.0	0	8	20	32	48	84	48
26	K1+100		15.0	14.0	0	60	68	96	140	148	108
27	K1+200		16.0	15.0	0	52	76	92	124	148	120
28	K1+300		14.0	14.0	0	60	72	100	116	132	92

Fuente: Elaboración Propia

Corrección por Temperatura

Con la ecuación descrita en el Capítulo (2.2.6) se realiza las correcciones por temperatura en cada una de las deflexiones, siendo esta la ecuación más conveniente para poder corregir las deflexiones de cualquier distancia al punto de prueba. De acuerdo a la información proporcionada por el Laboratorio de suelos ACS mismo que realizó los ensayos de deflectometría, la altura de la carpeta asfáltica de la Circunvalación Sur es de 2 pulgadas o 5 cm, dependiendo de la temperatura interna del pavimento y del espesor del pavimento se presentan en la Tabla 19 las deflexiones corregidas Dc.

Tabla 19. Corrección de deflexiones por temperatura

PUNTO	Progresiva teórica (km)	Carril	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR TEMPERATURA										
			Capa Asfáltica (cm)	Temperatura		Deflexiones Corregidas Dc (mm)							2° Dial L-25
				Pav. (°C)	Aire (°C)	d ₀ (0 cm)	d ₁ (25 cm)	d ₂ (50 cm)	d ₃ (75 cm)	d ₄ (100 cm)	d ₅ (500 cm)		
1	K0+000	D	5.0	13.0	12.0	0.83	0.62	0.46	0.29	0.21	0.83	0.37	
2	K0+100	D	5.0	14.0	13.0	0.58	0.49	0.41	0.33	0.21	0.58	0.21	
3	K0+200	D	5.0	13.0	11.0	1.33	1.20	1.12	1.08	0.87	1.33	0.41	
4	K0+300	D	5.0	12.0	10.0	0.58	0.42	0.46	0.38	0.21	0.58	0.17	
5	K0+400	D	5.0	14.0	11.0	1.94	1.32	0.91	0.74	0.54	1.94	0.45	
6	K0+500	D	5.0	13.0	11.0	1.28	1.12	0.99	0.83	0.75	1.28	0.25	
7	K0+600	D	5.0	14.0	12.0	0.70	0.58	0.54	0.45	0.29	0.70	0.37	
8	K0+700	D	5.0	15.0	13.0	1.19	0.94	0.86	0.70	0.53	1.19	0.25	
9	K0+800	D	5.0	15.0	13.0	0.53	0.49	0.45	0.37	0.33	0.53	0.12	
10	K0+900	D	5.0	14.0	13.0	1.11	1.03	0.91	0.82	0.70	1.11	0.16	
11	K1+000	D	5.0	14.0	11.0	0.49	0.29	0.25	0.16	0.12	0.49	0.16	
12	K1+100	D	5.0	14.0	13.0	1.57	1.15	0.99	0.82	0.37	1.57	0.41	
13	K1+200	D	5.0	15.0	12.0	1.48	0.94	0.78	0.62	0.37	1.48	0.41	

14	K1+300	D	5.0	16.0	11.0	0.49	0.37	0.29	0.20	0.12	0.49	0.08
15	K0+000	I	5.0	14.0	12.0	1.11	0.70	0.62	0.08	0.04	1.11	0.12
16	K0+100	I	5.0	15.0	13.0	0.49	0.37	0.29	0.16	0.04	0.49	0.08
17	K0+200	I	5.0	14.0	12.0	1.20	0.82	0.74	0.58	0.49	1.20	0.12
18	K0+300	I	5.0	13.0	11.0	0.66	0.37	0.25	0.17	0.08	0.66	0.08
19	K0+400	I	5.0	15.0	12.0	1.44	1.23	1.07	0.90	0.74	1.44	0.41
20	K0+500	I	5.0	14.0	13.0	0.95	0.54	0.33	0.16	0.08	0.95	0.12
21	K0+600	I	5.0	13.0	12.0	1.45	1.04	0.95	0.62	0.29	1.45	0.41
22	K0+700	I	5.0	12.0	11.0	0.63	0.54	0.42	0.33	0.04	0.63	0.13
23	K0+800	I	5.0	13.0	10.0	2.03	1.37	1.20	0.70	0.29	2.03	0.17
24	K0+900	I	5.0	16.0	14.0	1.51	1.02	0.90	0.82	0.57	1.51	0.29
25	K1+000	I	5.0	16.0	15.0	0.86	0.78	0.65	0.53	0.37	0.86	0.37
26	K1+100	I	5.0	15.0	14.0	1.52	0.90	0.82	0.53	0.08	1.52	0.41
27	K1+200	I	5.0	16.0	15.0	1.51	0.98	0.73	0.57	0.24	1.51	0.29
28	K1+300	I	5.0	14.0	14.0	1.36	0.74	0.62	0.33	0.16	1.36	0.41

Fuente: Elaboración Propia

Método AASTHO

De acuerdo al procedimiento explicado en el numeral 2.2.7.2.1, se pasa a calcular el MR de la sub rasante y el CBR, a fin de determinar la capacidad estructural actual (S_{Neff}) y futura (S_{Nf}), así como el espesor del refuerzo estructural requerido DOL. a partir de la evaluación de deflectometría.

Primero, se eligió una distancia de 25 cm como radio r junto con la correspondiente deflexión dr para calcular los MR de sub rasante, los E_p (módulos efectivos equivalentes) de las capas sobre la sub rasante y sus radios mínimos (r min). Se han aplicado las ecuaciones del capítulo 2.2.7.2.1. para los 28 puntos evaluación.

Tabla 20. Cálculo de Modulo Resiliente y CBR con r 25.

PUNTO	Progresiv a teórica	Carril	MODULO RESILIENTE							
			d ₀ (in)	d ₁ (in)	r (in)	Mr (psi)	CBR (%)	r min (in)	r>rmin	E _p (psi)
			0 cm	25 cm	25 cm					
1	K0+000	D	0.033	0.015	8	6627.37	4	4.225	SI	202.41
2	K0+100	D	0.023	0.008	8	11991.07	11	4.226	SI	383.76
3	K0+200	D	0.052	0.016	8	5964.63	4	4.226	SI	197.44
4	K0+300	D	0.023	0.007	8	14834.32	16	4.226	SI	504.00
5	K0+400	D	0.076	0.018	8	5450.49	3	4.226	SI	198.69
6	K0+500	D	0.051	0.010	8	9941.05	8	4.227	SI	395.81

7	K0+600	D	0.028	0.015	8	6661.71	4	4.225	SI	198.23
8	K0+700	D	0.047	0.010	8	10044.07	8	4.226	SI	386.62
9	K0+800	D	0.021	0.005	8	20088.14	25	4.226	SI	736.52
10	K0+900	D	0.044	0.006	8	14988.84	16	4.228	SI	713.37
11	K1+000	D	0.019	0.006	8	14988.84	16	4.226	SI	487.79
12	K1+100	D	0.062	0.016	8	5995.54	4	4.226	SI	209.22
13	K1+200	D	0.058	0.016	8	6026.44	4	4.226	SI	206.57
14	K1+300	D	0.019	0.003	8	30286.73	48	4.227	SI	1319.34
15	K0+000	I	0.044	0.005	8	19985.12	25	4.232	SI	1317.49
16	K0+100	I	0.019	0.003	8	30132.21	47	4.227	SI	1312.61
17	K0+200	I	0.047	0.005	8	19985.12	25	4.235	SI	1487.80
18	K0+300	I	0.026	0.003	8	29823.16	46	4.230	SI	1678.48
19	K0+400	I	0.057	0.016	8	6026.44	4	4.226	SI	204.75
20	K0+500	I	0.037	0.005	8	19985.12	25	4.229	SI	1072.55
21	K0+600	I	0.057	0.016	8	5964.63	4	4.226	SI	202.65
22	K0+700	I	0.025	0.005	8	19779.09	24	4.227	SI	774.21
23	K0+800	I	0.080	0.007	8	14911.58	16	4.270	SI	2263.23
24	K0+900	I	0.059	0.011	8	8653.35	7	4.227	SI	348.83
25	K1+000	I	0.034	0.014	8	6730.38	5	4.225	SI	207.38
26	K1+100	I	0.060	0.016	8	6026.44	4	4.226	SI	208.42
27	K1+200	I	0.059	0.011	8	8653.35	7	4.227	SI	348.83
28	K1+300	I	0.054	0.016	8	5995.54	4	4.226	SI	200.18

Fuente: Elaboración Propia

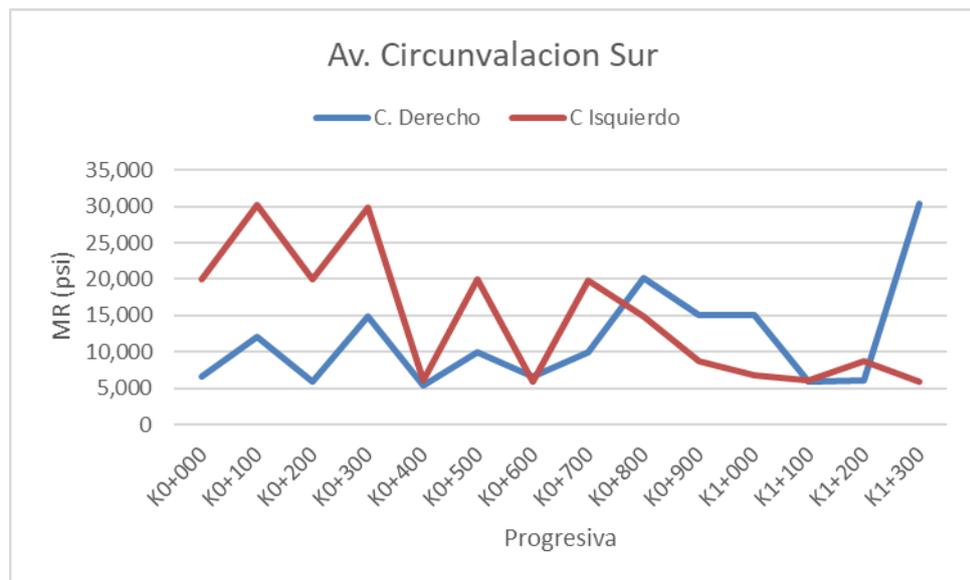


Figura 26. AASHTO MR, Av. Circunvalación Sur

Fuente: Elaboración Propia

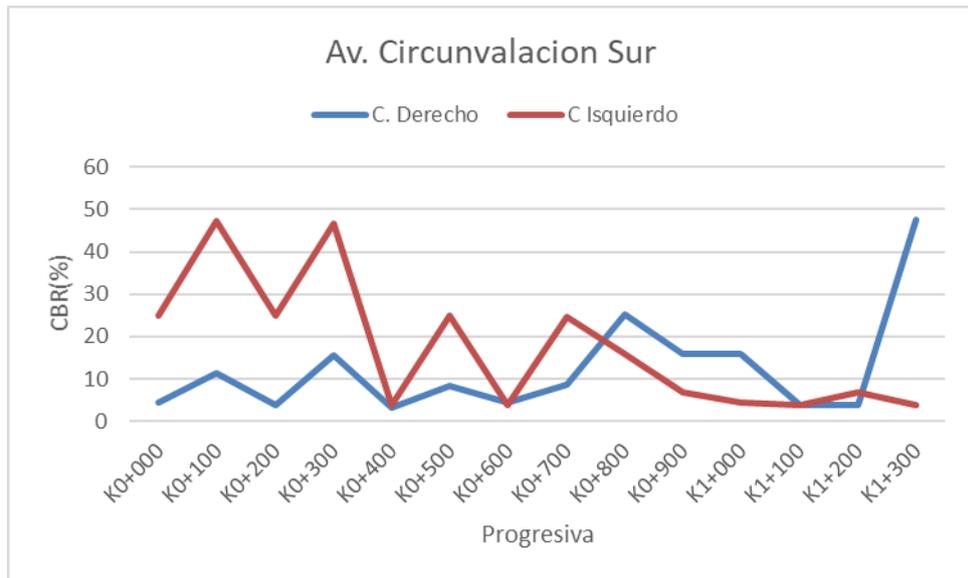


Figura 27. AASHTO CBR (%), Av. Circunvalación Sur

Fuente: Elaboración Propia

METODOLOGÍA INSTITUTO DEL ASFALTO

Proporciona un método para calcular el espesor del refuerzo estructural o recapeo del pavimento como se describe en la Sección 2.2.7.2.2, para lo cual, se muestran las deflexiones corregidas por temperatura calculados en el capítulo anterior.

Tabla 21 Deflexiones corregidas por temperatura

PUNTO	Progresiva teórica (km)	Carril	DEFLEXIONES CORREGIDAS POR TEMPERATURA							
			Temperatura Pav. °C	Deflexiones Dc (mm)						2° Dial L-25
				d ₀ 0 cm	d ₁ 25 cm	d ₂ 50 cm	d ₃ 75 cm	d ₄ 100 cm	d ₅ 500 cm	
1	K0+000	D	13.0	0.83	0.62	0.46	0.29	0.21	0.83	0.37
2	K0+100	D	14.0	0.58	0.49	0.41	0.33	0.21	0.58	0.21
3	K0+200	D	13.0	1.33	1.20	1.12	1.08	0.87	1.33	0.41
4	K0+300	D	12.0	0.58	0.42	0.46	0.38	0.21	0.58	0.17
5	K0+400	D	14.0	1.94	1.32	0.91	0.74	0.54	1.94	0.45
6	K0+500	D	13.0	1.28	1.12	0.99	0.83	0.75	1.28	0.25
7	K0+600	D	14.0	0.70	0.58	0.54	0.45	0.29	0.70	0.37
8	K0+700	D	15.0	1.19	0.94	0.86	0.70	0.53	1.19	0.25
9	K0+800	D	15.0	0.53	0.49	0.45	0.37	0.33	0.53	0.12
10	K0+900	D	14.0	1.11	1.03	0.91	0.82	0.70	1.11	0.16
11	K1+000	D	14.0	0.49	0.29	0.25	0.16	0.12	0.49	0.16
12	K1+100	D	14.0	1.57	1.15	0.99	0.82	0.37	1.57	0.41

13	K1+200	D	15.0	1.48	0.94	0.78	0.62	0.37	1.48	0.41
14	K1+300	D	16.0	0.49	0.37	0.29	0.20	0.12	0.49	0.08
15	K0+000	I	14.0	1.11	0.70	0.62	0.08	0.04	1.11	0.12
16	K0+100	I	15.0	0.49	0.37	0.29	0.16	0.04	0.49	0.08
17	K0+200	I	14.0	1.20	0.82	0.74	0.58	0.49	1.20	0.12
18	K0+300	I	13.0	0.66	0.37	0.25	0.17	0.08	0.66	0.08
19	K0+400	I	15.0	1.44	1.23	1.07	0.90	0.74	1.44	0.41
20	K0+500	I	14.0	0.95	0.54	0.33	0.16	0.08	0.95	0.12
21	K0+600	I	13.0	1.45	1.04	0.95	0.62	0.29	1.45	0.41
22	K0+700	I	12.0	0.63	0.54	0.42	0.33	0.04	0.63	0.13
23	K0+800	I	13.0	2.03	1.37	1.20	0.70	0.29	2.03	0.17
24	K0+900	I	16.0	1.51	1.02	0.90	0.82	0.57	1.51	0.29
25	K1+000	I	16.0	0.86	0.78	0.65	0.53	0.37	0.86	0.37
26	K1+100	I	15.0	1.52	0.90	0.82	0.53	0.08	1.52	0.41
27	K1+200	I	16.0	1.51	0.98	0.73	0.57	0.24	1.51	0.29
28	K1+300	I	14.0	1.36	0.74	0.62	0.33	0.16	1.36	0.41

Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de la Deflexión Representativa

Para calcular la deflexión representativa por calzada y la desviación estándar, se aplica las fórmulas dadas en la Sección 2.2.7.2.2. Dado que se realizó la corrección por temperatura, el factor de ajuste de temperatura F no es necesario su aplicación. Los cálculos y resultados de las deflexiones representativas se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Cálculo de Deflexión Representativa

PUNTO	Progresiva teórica (km)	Carril	Temperatura		Deflexión Representativa (in)			
			Pav. °C	Aire °C	d 0 cm	d' Prom	s	drr (in)
1	0+000	D	13.0	12.0	0.033	0.0397	0.00034	0.0404
2	0+100	D	14.0	13.0	0.023			
3	0+200	D	13.0	11.0	0.052			
4	0+300	D	12.0	10.0	0.023			
5	0+400	D	14.0	11.0	0.076			
6	0+500	D	13.0	11.0	0.051			
7	0+600	D	14.0	12.0	0.028			
8	0+700	D	15.0	13.0	0.047			
9	0+800	D	15.0	13.0	0.021			
10	0+900	D	14.0	13.0	0.044			
11	1+000	D	14.0	11.0	0.019			

12	1+100	D	14.0	13.0	0.062	0.047	0.00029	0.0476
13	1+200	D	15.0	12.0	0.058			
14	1+300	D	16.0	11.0	0.019			
15	0+000	I	14.0	12.0	0.044			
16	0+100	I	15.0	13.0	0.019			
17	0+200	I	14.0	12.0	0.047			
18	0+300	I	13.0	11.0	0.026			
19	0+400	I	15.0	12.0	0.057			
20	0+500	I	14.0	13.0	0.037			
21	0+600	I	13.0	12.0	0.057			
22	0+700	I	12.0	11.0	0.025			
23	0+800	I	13.0	10.0	0.080			
24	0+900	I	16.0	14.0	0.059			
25	1+000	I	16.0	15.0	0.034			
26	1+100	I	15.0	14.0	0.060			
27	1+200	I	16.0	15.0	0.059			
28	1+300	I	14.0	14.0	0.054			

Fuente: Elaboración Propia

El módulo de elasticidad correspondiente al pavimento existente se determina de acuerdo a la deflexión representativa $drrd$, de las características del camión empleado en la evaluación de deflectometría se tiene los siguientes valores de 6.034in y 80 psi correspondientes al radio equivalente del área de contacto y la presión de contacto q

Tabla 23. Cálculo del Módulo de Elasticidad y CBR

PUNTO	Progresiva teórica (km)	Carril	MODULO DE ELASTICIDAD		CBR (%)
			drr (in)	E (psi)	
1	0+000	D	0.0404	17943.4090	21.0
2	0+100	D			
3	0+200	D			
4	0+300	D			
5	0+400	D			
6	0+500	D			
7	0+600	D			
8	0+700	D			
9	0+800	D			
10	0+900	D			

11	1+000	D			
12	1+100	D			
13	1+200	D			
14	1+300	D			
15	0+000	I			
16	0+100	I			
17	0+200	I			
18	0+300	I			
19	0+400	I			
20	0+500	I			
21	0+600	I	0.0476	15217.4425	16.3
22	0+700	I			
23	0+800	I			
24	0+900	I			
25	1+000	I			
26	1+100	I			
27	1+200	I			
28	1+300	I			

Fuente: Elaboración Propia

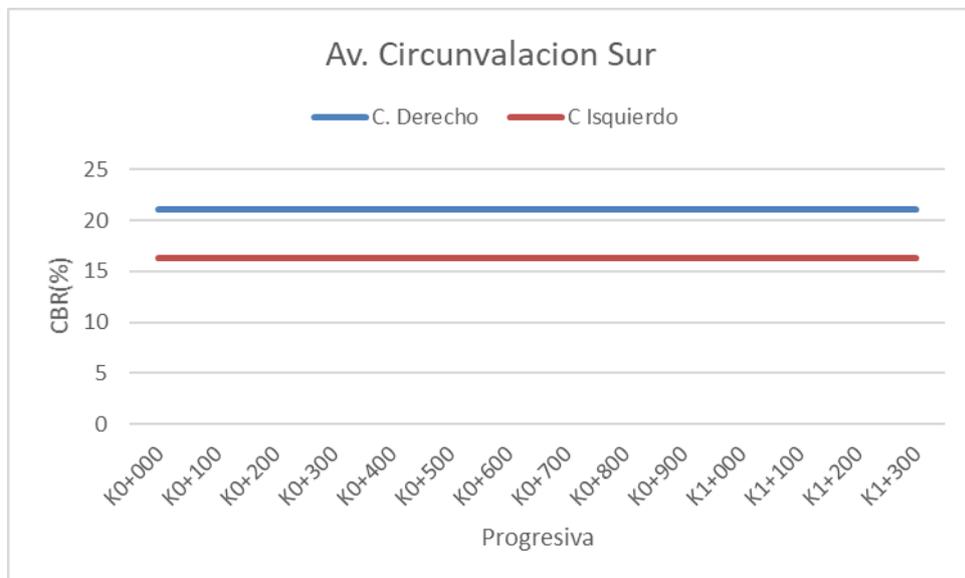


Figura 28. I.A. CBR (%), Av. Circunvalación Sur

Fuente: Elaboración Propia

Para el cumplimiento de tercer objetivo, se utilizaron los resultados obtenidos y datos previos. Con esta información se pudo diseñar los espesores de refuerzo estructural, para lo cual se utilizó como técnica el análisis documental respecto al tema de diseño del refuerzo asfáltico en pavimentos flexibles de

acuerdo a los métodos de AASHTO-93 y el Instituto del asfalto. En el procesamiento de datos se utilizó el software Excel en el que se emplea las metodologías de AASHTO-93 y el Instituto del asfalto conjuntamente con el Manual de suelos y pavimentos (MTC, 2014), determinándose los espesores de recapeo para nuestro pavimento en estudio.

MÉTODO AASTHO

De acuerdo con el procedimiento visto en la sección 2.2.7.2.1, se pasa a determinar la capacidad estructural actual, así como la capacidad estructural futura SNf, una vez obtenido estos resultados se procede a determinar los espesores de refuerzo estructural necesario DOL.

Cálculo de la Capacidad estructural efectiva S_{Neff}

Anteriormente, se tiene que el peso que presenta el eje trasero del camión fue de 18 298,37 libras distribuidas uniformemente en cada neumático, por lo que la carga P es de 9149,18 libras y la presión de los neumáticos fue 80 psi, aplicando la fórmula del apartado 2.2.6 de determino que el radio equivalente del área de contacto es de 6.034 in.

De acuerdo a la información proporcionada por el Laboratorio ACS, nuestro pavimento cuenta con capa de concreto asfáltico de 5cm o 2" y una capa granular de 40cm. (20cm. base y 20cm. sub base), de modo que el espesor total de todas las capas por encima de la sub rasante es de 45 cm o 17,72 pulg. Asimismo, se utilizó el valor de 0.45 correspondiente al módulo de Poisson para subrasantes.

A continuación, se muestran los módulos efectivos y MR utilizados para el cálculo de los números estructurales efectivos S_{Neff}, expuestos a continuación.

. Tabla 24. Cálculo de Números Estructurales Efectivos (S_{Neff})

PUNTO	Progresiva teórica	Carril	CAPACIDAD ESTRUCTURAL EFECTIVA		
			Mr (psi)	Ep (psi)	SN eff (in)
1	0+000	D	6627.368	202.411	5.38
2	0+100	D	11991.073	383.765	10.20

3	0+200	D	5964.631	197.439	5.25
4	0+300	D	14834.317	504.003	13.40
5	0+400	D	5450.488	198.695	5.28
6	0+500	D	9941.052	395.813	10.52
7	0+600	D	6661.707	198.234	5.27
8	0+700	D	10044.069	386.620	10.28
9	0+800	D	20088.137	736.517	19.58
10	0+900	D	14988.841	713.366	18.96
11	1+000	D	14988.841	487.792	12.97
12	1+100	D	5995.536	209.224	5.56
13	1+200	D	6026.441	206.569	5.49
14	1+300	D	30286.730	1319.345	35.07
15	0+000	I	19985.121	1317.492	35.02
16	0+100	I	30132.206	1312.613	34.89
17	0+200	I	19985.121	1487.796	39.55
18	0+300	I	29823.157	1678.477	44.61
19	0+400	I	6026.441	204.751	5.44
20	0+500	I	19985.121	1072.546	28.51
21	0+600	I	5964.631	202.651	5.39
22	0+700	I	19779.089	774.212	20.58
23	0+800	I	14911.579	2263.232	60.16
24	0+900	I	8653.351	348.826	9.27
25	1+000	I	6730.384	207.380	5.51
26	1+100	I	6026.441	208.419	5.54
27	1+200	I	8653.351	348.826	9.27
28	1+300	I	5995.536	200.178	5.32

Fuente: Elaboración Propia

Capacidad Estructural Futura

De acuerdo con el numeral 2.2.7.2.1 se calculó la capacidad estructural futura SNf. Se ha establecido una confiabilidad de 90% de acuerdo al ESAL calculado mismo que corresponde a un tráfico tp 11, entonces se tiene que el error estándar S_0 y la desviación estándar ZR tienen un valor de 0.49 y -1.282, los índices de serviciabilidad P_i y P_t tienen un valor de 4 y 2.5 correspondientes a un tráfico tp 11. A continuación se presentan los SNf calculados para cada sección de pavimento, asimismo se muestran los módulos resilientes MR y ESALs de cada calzada.

Tabla 25. Cálculo de números estructurales futuros SNf.

PUNTO	Progresiva teórica	Carril	NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO (SN req)		
			Mr (psi)	ESAL	SN req (in)
				EE	
1	0+000	D	6627.368	14500000.000	5.738
2	0+100	D	11991.073	14500000.000	4.704
3	0+200	D	5964.631	14500000.000	5.933
4	0+300	D	14834.317	14500000.000	4.356
5	0+400	D	5450.488	14500000.000	6.102
6	0+500	D	9941.052	14500000.000	5.021
7	0+600	D	6661.707	14500000.000	5.729
8	0+700	D	10044.069	14500000.000	5.004
9	0+800	D	20088.137	14500000.000	3.883
10	0+900	D	14988.841	14500000.000	4.339
11	1+000	D	14988.841	14500000.000	4.339
12	1+100	D	5995.536	14500000.000	5.923
13	1+200	D	6026.441	14500000.000	5.914
14	1+300	D	30286.730	15500000.000	3.298
15	0+000	I	19985.121	15500000.000	3.890
16	0+100	I	30132.206	15500000.000	3.305
17	0+200	I	19985.121	15500000.000	3.890
18	0+300	I	29823.157	15500000.000	3.319
19	0+400	I	6026.441	15500000.000	5.914
20	0+500	I	19985.121	15500000.000	3.890
21	0+600	I	5964.631	15500000.000	5.933
22	0+700	I	19779.089	15500000.000	3.906
23	0+800	I	14911.579	15500000.000	4.348
24	0+900	I	8653.351	15500000.000	5.261
25	1+000	I	6730.384	15500000.000	5.710
26	1+100	I	6026.441	15500000.000	5.914
27	1+200	I	8653.351	15500000.000	5.261
28	1+300	I	5995.536	15500000.000	5.923

Fuente: Elaboración Propia

Espesor del Refuerzo Estructural

El espesor de la sobrecapa o refuerzo estructural de concreto asfáltico se determina mediante la ecuación mostrada en el numeral 2.2.7.2.1, donde se ha adoptado un coeficiente estructural a_{OL} de 0.20 en concordancia a la evaluación funcional por el método PCI, los coeficientes estructurales dependen

de la condición de superficie, los cuales son sugeridos por la metodología AASHTO.

Los espesores calculados se muestran en la tabla 26 para cada sección del pavimento.

Tabla 26. Cálculo de Espesores de Sobrecapa AASHTO

PUNTO	Progresiva teórica	Carril	ESPESOR DE SOBRECAPA				
			SN eff	SN req	SNf/Sneff	>1	DoL
1	0+000	D	5.38	5.74	1.1	INSUFICIENCIA	1.8
2	0+100	D	10.20	4.70	0.5	SUFICIENCIA	0.0
3	0+200	D	5.25	5.93	1.1	INSUFICIENCIA	3.4
4	0+300	D	13.40	4.36	0.3	SUFICIENCIA	0.0
5	0+400	D	5.28	6.10	1.2	INSUFICIENCIA	4.1
6	0+500	D	10.52	5.02	0.5	SUFICIENCIA	0.0
7	0+600	D	5.27	5.73	1.1	INSUFICIENCIA	2.3
8	0+700	D	10.28	5.00	0.5	SUFICIENCIA	0.0
9	0+800	D	19.58	3.88	0.2	SUFICIENCIA	0.0
10	0+900	D	18.96	4.34	0.2	SUFICIENCIA	0.0
11	1+000	D	12.97	4.34	0.3	SUFICIENCIA	0.0
12	1+100	D	5.56	5.92	1.1	INSUFICIENCIA	1.8
13	1+200	D	5.49	5.91	1.1	INSUFICIENCIA	2.1
14	1+300	D	35.07	3.30	0.1	SUFICIENCIA	0.0
15	0+000	I	35.02	3.89	0.1	SUFICIENCIA	0.0
16	0+100	I	34.89	3.30	0.1	SUFICIENCIA	0.0
17	0+200	I	39.55	3.89	0.1	SUFICIENCIA	0.0
18	0+300	I	44.61	3.32	0.1	SUFICIENCIA	0.0
19	0+400	I	5.44	5.91	1.1	INSUFICIENCIA	2.4
20	0+500	I	28.51	3.89	0.1	SUFICIENCIA	0.0
21	0+600	I	5.39	5.93	1.1	INSUFICIENCIA	2.7
22	0+700	I	20.58	3.91	0.2	SUFICIENCIA	0.0
23	0+800	I	60.16	4.35	0.1	SUFICIENCIA	0.0
24	0+900	I	9.27	5.26	0.6	SUFICIENCIA	0.0
25	1+000	I	5.51	5.71	1.0	INSUFICIENCIA	1.0
26	1+100	I	5.54	5.91	1.1	INSUFICIENCIA	1.9
27	1+200	I	9.27	5.26	0.6	SUFICIENCIA	0.0
28	1+300	I	5.32	5.92	1.1	INSUFICIENCIA	3.0

Fuente: Elaboración Propia

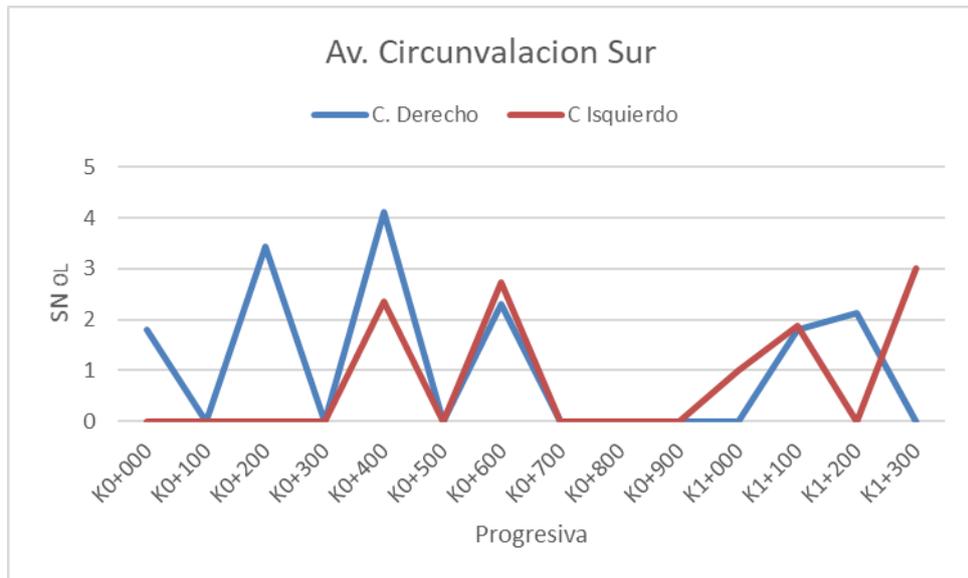


Figura 29. AASHTO SNoL, Av. Circunvalación Sur

Fuente: Elaboración Propia

METODOLOGÍA DEL INSTITUTO DEL ASFALTO

Cálculo de la Deflexión de diseño

Esta deflexión de diseño se determina para cada carril de acuerdo a su ESAL, determinado por la fórmula dada en la Sección 2.2.7.2.2. Obteniéndose como resultado la deflexión de diseño 0,0186 pulgadas para el carril derecho y un valor de 0,0183 pulgadas para el carril izquierdo.

Cálculo del Refuerzo Estructural

El espesor de sobrecapa o refuerzo estructural “h”, se calcula utilizando la fórmula dada en la sección 2.2.7.2.2, donde se asume el valor de 450,000 psi para el módulo de elasticidad E1, el que correspondiente al pavimento de refuerzo. El presente método sugiere un valor de 500 000 psi, como se puede ver en la sección 2.2.7.2.2, pero se utilizó el valor de 450 000 psi propuesto por el método AASHTO. Los resultados del cálculo de espesores para el refuerzo estructural del pavimento se exponen a continuación:

Tabla 27. Cálculo de Espesores de Sobrecapa I.A.

PUNTO	Progresiva teórica	Carril	ESPESOR DE SOBRECAPA				
			drr (in)	E2 (psi)	ESSAL	dd (in)	h (in)
1	0+000	D	0.0404	17943.41	14500000	0.01860133	1.74
2	0+100	D					
3	0+200	D					
4	0+300	D					
5	0+400	D					
6	0+500	D					
7	0+600	D					
8	0+700	D					
9	0+800	D					
10	0+900	D					
11	1+000	D					
12	1+100	D					
13	1+200	D					
14	1+300	D					
15	0+000	I	0.0476	15217.4425	15500000	0.01830133	1.84
16	0+100	I					
17	0+200	I					
18	0+300	I					
19	0+400	I					
20	0+500	I					
21	0+600	I					
22	0+700	I					
23	0+800	I					
24	0+900	I					
25	1+000	I					
26	1+100	I					
27	1+200	I					
28	1+300	I					

Fuente: Elaboración Propia

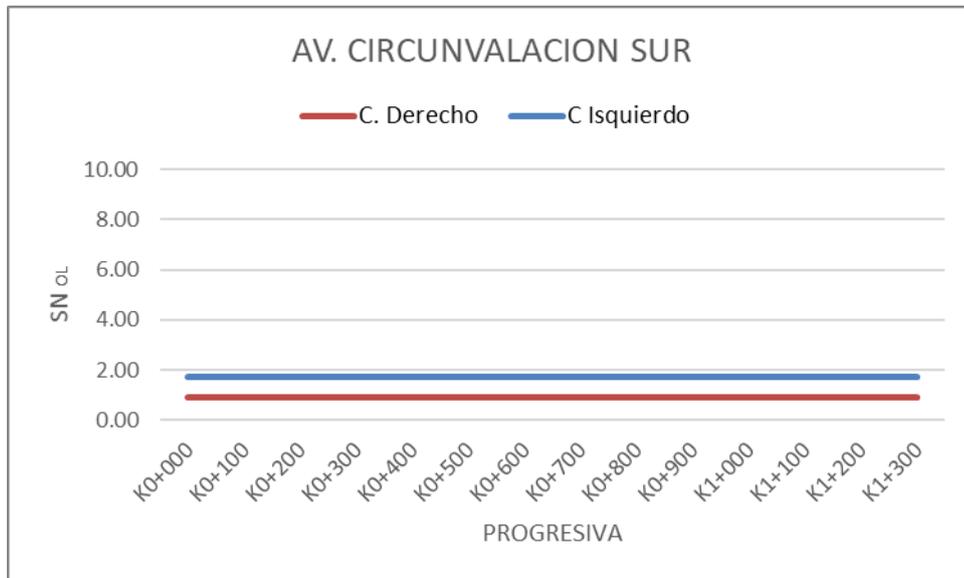


Figura 30. I.A. SN_{OL}, Av. Circunvalación Sur

Fuente: Elaboración Propia

3.6 Método de análisis de datos

Correspondiente al desarrollo del objetivo específico 2. Se realizará el análisis estadístico donde se planteó como hipótesis alterna: Si existen diferencias significativas respecto al cálculo del comportamiento estructural efectivo del pavimento flexible utilizando los métodos de AASHTO-93 y el Instituto del asfalto en la vía Circunvalación Sur.

Primeramente, se verificó si los datos tienen una distribución normal aplicando la prueba de normalidad, para este análisis estadístico se aplicó la prueba denominada Shapiro-Wilk (Para datos menores o iguales a 50), esta prueba determina si la distribución es paramétrica o no paramétrica.

Para el desarrollo de esta prueba estadística se cumplió con los siguientes parámetros:

Nivel de significancia: $\alpha=0.05$, $NC=0.95$

Estadístico de prueba: Si $p \geq$ se acepta la H_0 y se rechaza la H_1 , Si $p < 0.05$ se rechaza H_0 .

Prueba de normalidad: se realizará esta prueba a los 28 pares de datos, conformado por los CBR calculados por las metodologías AASHTO e Instituto del Asfalto, para esto nos planteamos lo siguiente.

H0: Los datos siguen una distribución normal

H1: Los datos no siguen una distribución normal

Tabla 28. Prueba de normalidad específico 2

MÉTODO		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CBR	AASHTO	.210	28	.003	.776	28	.000
	IA	.337	28	.000	.639	28	.000

De la prueba de normalidad se tiene que $P(0.003) < 0.05$; entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 : Los datos siguen una distribución normal, entonces se pueden utilizar pruebas no paramétricas.

Comprobación de hipótesis específica 2:

En este análisis estadístico se empleó la prueba "t" de student a los 28 pares de datos de CBR obtenidos por retro cálculo por las metodologías AASHTO e Instituto del Asfalto partir del ensayo de deflectometría, para la siguiente prueba se empleó el software SPSS Statistics 21 donde se determina si las diferencias son estadísticamente significativas entre estos pares de datos.

Tabla 29. Resumen de resultados CBR (%)

"t" de student			
Metodo	CBR (%)	Metodo	CBR (%)
AASHTO	4.4	IA	21.0
AASHTO	11.2	IA	21.0
AASHTO	3.8	IA	21.0
AASHTO	15.6	IA	21.0
AASHTO	3.3	IA	21.0
AASHTO	8.4	IA	21.0
AASHTO	4.5	IA	21.0
AASHTO	8.5	IA	21.0
AASHTO	25.1	IA	21.0
AASHTO	15.9	IA	21.0
AASHTO	15.9	IA	21.0

AASHTO	3.8	IA	21.0
AASHTO	3.8	IA	21.0
AASHTO	47.6	IA	21.0
AASHTO	24.9	IA	16.3
AASHTO	47.3	IA	16.3
AASHTO	24.9	IA	16.3
AASHTO	46.5	IA	16.3
AASHTO	3.8	IA	16.3
AASHTO	24.9	IA	16.3
AASHTO	3.8	IA	16.3
AASHTO	24.5	IA	16.3
AASHTO	15.7	IA	16.3
AASHTO	6.7	IA	16.3
AASHTO	4.5	IA	16.3
AASHTO	3.8	IA	16.3
AASHTO	6.7	IA	16.3
AASHTO	3.8	IA	16.3

Fuente: Elaboración Propia

Planteamiento de las Hipótesis: correspondiente al objetivo específico 2.

H0: No existen diferencias significativas respecto al cálculo del comportamiento estructural efectivo del pavimento flexible aplicando los métodos AASHTO-93 e Instituto del asfalto en la vía Circunvalación Sur.

Ha: Si existen diferencias significativas respecto al cálculo del comportamiento estructural efectivo del pavimento flexible aplicando los métodos AASHTO-93 e Instituto del asfalto en la vía Circunvalación Sur.

Tabla 30. Prueba t hipótesis específica 2

		Prueba T para la igualdad de medias					
		t	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
						Inferior	Superior
CBR	Se han asumido varianzas iguales	-1.461	.150	-3.87857	2.65426	-9.20004	1.44290
	No se han asumido varianzas iguales	-1.461	.155	-3.87857	2.65426	-9.31033	1.55319

De los resultados obtenidos de la prueba “t” se tiene que el valor de “p” es mayor a 0.05, entonces aceptamos la hipótesis nula y rechazamos la hipótesis alterna.

De la Tabla 30 se tiene, tras el análisis general las diferencias entre los resultados de CBR por las dos metodologías reflejaron ser estadísticamente no significativas porque no cumplió con la hipótesis planteada.

De la prueba “t” se tiene como resultado que no existen diferencias significativas respecto al cálculo del comportamiento estructural efectivo del pavimento flexible aplicando los métodos de AASHTO 93 e Instituto del asfalto en la vía Circunvalación Sur.

Correspondiente al desarrollo del objetivo específico 3: Se realizará el análisis estadístico donde se planteó como hipótesis alterna: Si existen diferencias significativas respecto al diseño de espesores de refuerzo estructural de la carpeta asfáltica aplicando las metodologías de AASHTO 93 e Instituto del Asfalto de la vía Circunvalación Sur.

Primeramente, se efectuó la prueba de normalidad donde se determinará si los datos persiguen una distribución normal, para este análisis estadístico se aplicó la prueba denominada Shapiro-Wilk (Para datos menores o iguales a 50), esta prueba determina si la distribución es paramétrica o no paramétrica.

Para el desarrollo de esta prueba estadística se cumplió con los siguientes parámetros:

Nivel de significancia: $\alpha=0.05$, $NC=0.95$.

Estadístico de prueba: Si $p \geq 0.05$ se acepta la H_0 y se rechaza la H_1 ,
Si $p < 0.05$ se rechaza H_0 .

Prueba de normalidad: se realizará esta prueba a los 28 pares de datos, conformado por los espesores calculados por las metodologías AASHTO e Instituto del Asfalto, para esto se plantea lo siguiente:

H_0 : Los datos siguen una distribución normal

H1: Los datos no siguen una distribución normal

Tabla 31. Prueba de normalidad específico 3

		Pruebas de normalidad					
MÉTODO		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
RECAPEO	AASHTO	.373	28	.000	.737	28	.000
	IA	.337	28	.000	.639	28	.000

De los resultados se tiene que $p < 0.05$; entonces rechazamos la hipótesis nula H_0 : Los datos siguen una distribución normal.

Comprobación de hipótesis específica 3:

Para el análisis estadístico se empleó la prueba "t" de student, a los 28 pares de datos obtenidos del diseño de espesores por las metodologías AASHTO e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, para la siguiente prueba se utilizará el software SPSS Statistics 21 donde se determina si las diferencias existentes son estadísticamente significativas.

Tabla 32. Resumen de resultados refuerzo estructural

"t" de student			
Método	h	Método	h
AASHTO	1.8	IA	1.7
AASHTO	0.0	IA	1.7
AASHTO	3.4	IA	1.7
AASHTO	0.0	IA	1.7
AASHTO	4.1	IA	1.7
AASHTO	0.0	IA	1.7
AASHTO	2.3	IA	1.7
AASHTO	0.0	IA	1.7
AASHTO	0.0	IA	1.7
AASHTO	0.0	IA	1.7
AASHTO	0.0	IA	1.7
AASHTO	0.0	IA	1.7
AASHTO	1.8	IA	1.7
AASHTO	2.1	IA	1.7
AASHTO	0.0	IA	1.7
AASHTO	0.0	IA	1.8
AASHTO	0.0	IA	1.8
AASHTO	0.0	IA	1.8
AASHTO	0.0	IA	1.8

AASHTO	2.4	IA	1.8
AASHTO	0.0	IA	1.8
AASHTO	2.7	IA	1.8
AASHTO	0.0	IA	1.8
AASHTO	0.0	IA	1.8
AASHTO	0.0	IA	1.8
AASHTO	1.0	IA	1.8
AASHTO	1.9	IA	1.8
AASHTO	0.0	IA	1.8
AASHTO	3.0	IA	1.8

Fuente: Elaboración Propia

Planteamiento de las Hipótesis: correspondiente al análisis del objetivo específico 3.

H0: No existen diferencias significativas respecto al diseño de espesores de refuerzo estructural de la carpeta asfáltica aplicando los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto de la vía Circunvalación Sur.

Ha: Si existen diferencias significativas respecto al diseño de espesores de refuerzo estructural de la carpeta asfáltica aplicando los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto de la vía Circunvalación Sur.

Tabla 33. Prueba “t” hipótesis específica 3

		Prueba T					
		t	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
						Inferior	Superior
RECAPEO	Se han asumido varianzas iguales	- 3.251	.002	-.80357	.24721	-1.29919	-.30795
	No se han asumido varianzas iguales	- 3.251	.003	-.80357	.24721	-1.31072	-.29642

De acuerdo a los resultados conseguidos de la prueba “t” se tiene que el valor de “p” resulta menor a 0.05 por lo que aceptamos la hipótesis alterna y rechazamos la hipótesis nula.

Como se presenta en la Tabla 33, de acuerdo al análisis estadístico general sobre las diferencias entre los espesores de refuerzo estructural por ambas metodologías se tiene como resultado que son estadísticamente significativas, aceptando la hipótesis planteada.

De la prueba “t” se tiene como resultado que si existen diferencias significativas respecto al cálculo espesores de refuerzo estructural para el pavimento flexible de la Av. Circunvalación sur aplicando las metodologías AASHTO-93 e Instituto del asfalto.

3.7 Aspectos éticos

Como futuros ingenieros, tenemos el deber de favorecer al desarrollo y bienestar de la humanidad, promoviendo y protegiendo la integridad vocacional, desarrollando trabajos de calidad con ética, transparencia y responsabilidad. En este estudio, el autor expresa el compromiso de conservar la autenticidad de la información a través de fuentes confiables, utilizando las técnicas y herramientas para el estudio de los indicadores que favorecieron en el logro de nuestros objetivos.

IV. RESULTADOS

Descripción de la zona de estudio

Este tramo evaluado ubicado en la ciudad de Puno perteneciente al distrito de Puno en el departamento de Puno, ubicado en el sureste del Perú. Limita por el Norte con el departamento de Madre de Dios, por el Este con Bolivia, por el Sur con el departamento de Tacna, por el Suroeste con el departamento de Moquegua y por el Oeste con los departamentos de Arequipa y el Cuzco. El departamento de Puno cuenta con 66 997 km² siendo el quinto departamento más grande.



Figura 31. Mapa político del Perú



Figura 32. Mapa político de Departamento de Puno

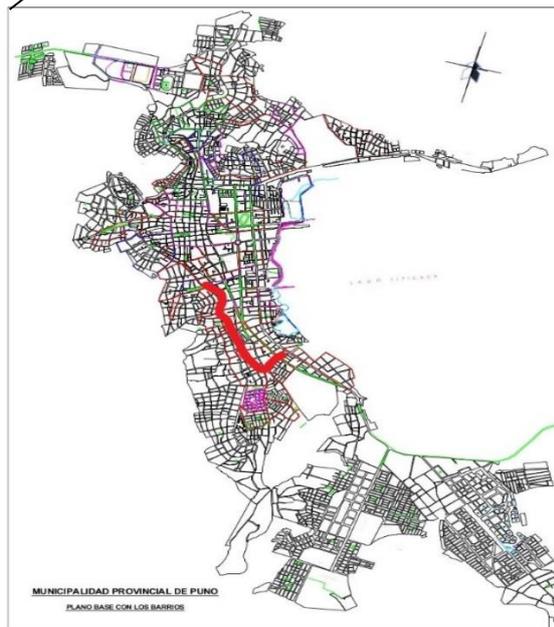


Figura 33. Plano base Puno (MPP, 2017)

Respecto a evaluar el estado actual del pavimento flexible de acuerdo a la metodología índice de condición del pavimento (PCI) de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno, se presenta los siguientes resultados:



Figura 34. Identificación de fallas Figura 35. Identificación de fallas

Resultados de las pruebas

Los resultados conseguidos se exponen en la Tabla 34 en el cual se aprecia el máximo valor deducido corregido y los índices de condición por U.M. (unidad de muestra), correspondiente al diagnóstico superficial del pavimento flexible empleando el método PCI.

Tabla 34. Resumen de resultados obtenidos por el método PCI Av. Circunvalación Sur

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE (AV. CIRCUNVALACIÓN SUR)						
UM	CARRIL	PROGRESIVA		MAX CDV	PCI	CONDICIÓN
		INICIAL	FINAL			
UM 01	Derecho	0+000	0+035	57.6	42.40	REGULAR
UM 02	Derecho	0+141	0+177	55	45.00	REGULAR
UM 03	Derecho	0+283	0+318	76.05	23.95	MALO
UM 04	Derecho	0+424	0+460	34.4	65.60	BUENO
UM 05	Derecho	0+566	0+601	65	35.00	MALO
UM 06	Derecho	0+743	0+778	68	32.00	MALO
UM 07	Derecho	0+883	0+920	54	46.00	REGULAR
UM 08	Derecho	1+026	1+062	55	45.00	REGULAR
UM 09	Derecho	1+168	1+203	44.8	55.20	BUENO
UM 10	Derecho	1+345	1+380	44	56.00	BUENO
UM 11	Derecho	1+486	1+522	51	49.00	REGULAR
UM 12	Izquierdo	0+000	0+035	54.5	45.50	REGULAR
UM 13	Izquierdo	0+141	0+177	54.8	45.20	REGULAR
UM 14	Izquierdo	0+283	0+318	71	29.00	MALO
UM 15	Izquierdo	0+424	0+460	54.8	45.20	REGULAR
UM 16	Izquierdo	0+566	0+601	69	31.00	MALO
UM 17	Izquierdo	0+743	0+778	42.9	57.10	BUENO
UM 18	Izquierdo	0+883	0+920	56	44.00	REGULAR
UM 19	Izquierdo	1+026	1+062	43	57.00	BUENO
UM 20	Izquierdo	1+168	1+203	52.9	47.10	REGULAR
UM 21	Izquierdo	1+345	1+380	53	47.00	REGULAR
UM 22	Izquierdo	1+486	1+522	45	55.00	BUENO

Fuente: Elaboración Propia

Como resultado general de la evaluación funcional se determinó el promedio de las 22 unidades de muestreo, obteniendo una puntuación PCI de 45.38 lo que significa que el pavimento está en condición regular.

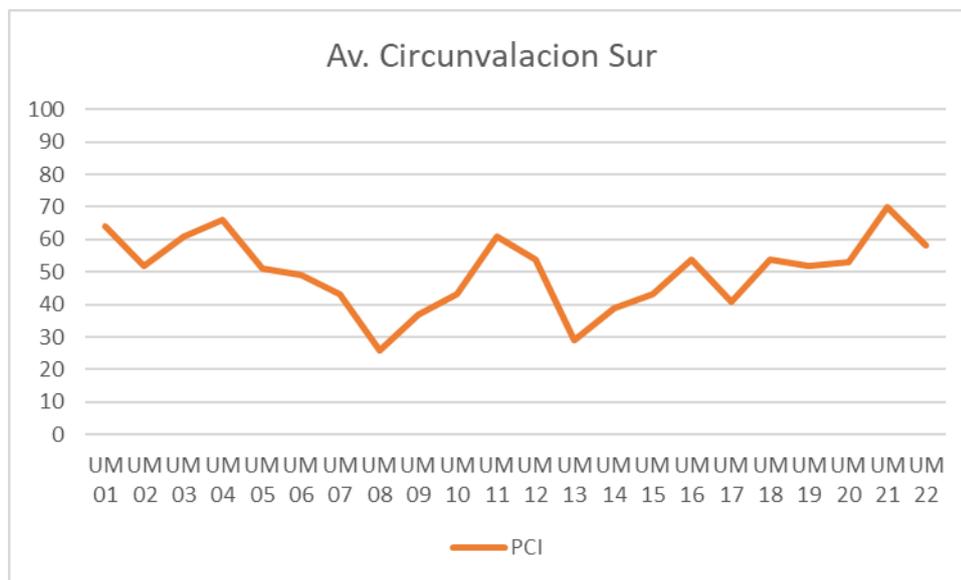


Figura 36. PCI por unidad de muestra

Fallas existentes

Después de evaluar la Av. Circunvalación Sur, se presenta la Tabla 35 donde se muestran los diferentes tipos de fallas identificadas con sus respectivos porcentajes de incidencia.

Tabla 35. Porcentaje de incidencia de fallas.

Falla N°	Descripción	% de incidencia
1	Piel de cocodrilo	26.80
3	Agrietamiento en bloque	21.65
8	Grieta de reflexión de junta	1.03
9	Desnivel Carril/Berma	1.03
10	Grietas Longitudinales y Transversales	23.71
11	Parcheo	20.62
13	Huecos	5.15
Total		100.00

Fuente: Elaboración Propia

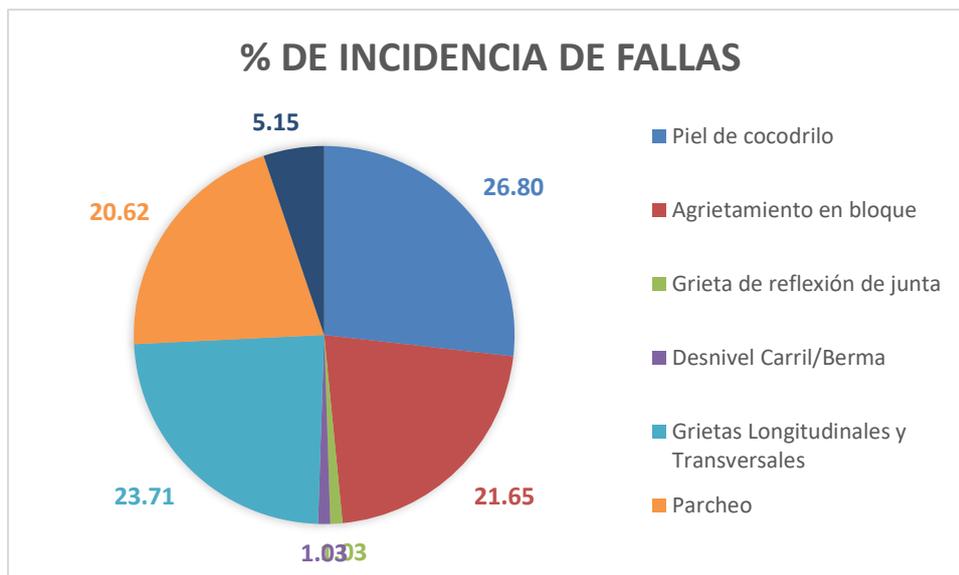


Figura 37. % de incidencia de fallas PCI de la Av. Circunvalación Sur

Fuente: Elaboración Propia

Severidad por tipo de falla

Los niveles de severidad se detallan en la siguiente tabla para las diferentes fallas que fueron identificados en la evaluación de la Av. Circunvalación Sur.

Tabla 36. Nivel de severidad de los diferentes tipos de fallas.

Falla N°	Descripción	Severidad		
		L	M	H
01	Piel de cocodrilo			
03	Agrietamiento en bloque			
08	Grieta de reflexión de junta			
09	Desnivel Carril/Berma			
10	Grietas Longitudinales y Transversales			
11	Parcheo			
13	Huecos			

Fuente: Elaboración Propia

Respecto al comportamiento estructural efectivo del pavimento flexible aplicando los métodos AASHTO 93 e Instituto del asfalto en la vía Circunvalación Sur, se presenta los siguientes resultados.



Figura 38. Instalacion de Viga Benkelman



Figura39. Ensayo Viga Benkelman

A partir del procedimiento desarrollado, se presenta la Tabla 37 donde se puede apreciar los hallazgos de los MR correspondientes a las metodologías de AASHTO y el Instituto del Asfalto.

Tabla 37. Resumen de resultados Modulo Resiliente - AASHTO e I.A.

RESUMEN DE RESULTADOS MR				
PUNTO	Progresiva teórica	Carril	MR (psi)	
			AASHTO	Instituto del Asfalto E2
1	K0+000	Der.	6627.37	17943.4
2	K0+100	Der.	11991.07	17943.4
3	K0+200	Der.	5964.63	17943.4
4	K0+300	Der.	14834.32	17943.4
5	K0+400	Der.	5450.49	17943.4
6	K0+500	Der.	9941.05	17943.4
7	K0+600	Der.	6661.71	17943.4
8	K0+700	Der.	10044.07	17943.4
9	K0+800	Der.	20088.14	17943.4
10	K0+900	Der.	14988.84	17943.4
11	K1+000	Der.	14988.84	17943.4
12	K1+100	Der.	5995.54	17943.4
13	K1+200	Der.	6026.44	17943.4
14	K1+300	Der.	30286.73	17943.4
15	K0+000	Izq.	19985.12	15217.4
16	K0+100	Izq.	30132.21	15217.4
17	K0+200	Izq.	19985.12	15217.4
18	K0+300	Izq.	29823.16	15217.4
19	K0+400	Izq.	6026.44	15217.4
20	K0+500	Izq.	19985.12	15217.4

21	K0+600	lzq.	5964.63	15217.4
22	K0+700	lzq.	19779.09	15217.4
23	K0+800	lzq.	14911.58	15217.4
24	K0+900	lzq.	8653.35	15217.4
25	K1+000	lzq.	6730.38	15217.4
26	K1+100	lzq.	6026.44	15217.4
27	K1+200	lzq.	8653.35	15217.4
28	K1+300	lzq.	5995.54	15217.4

Fuente: Elaboración Propia

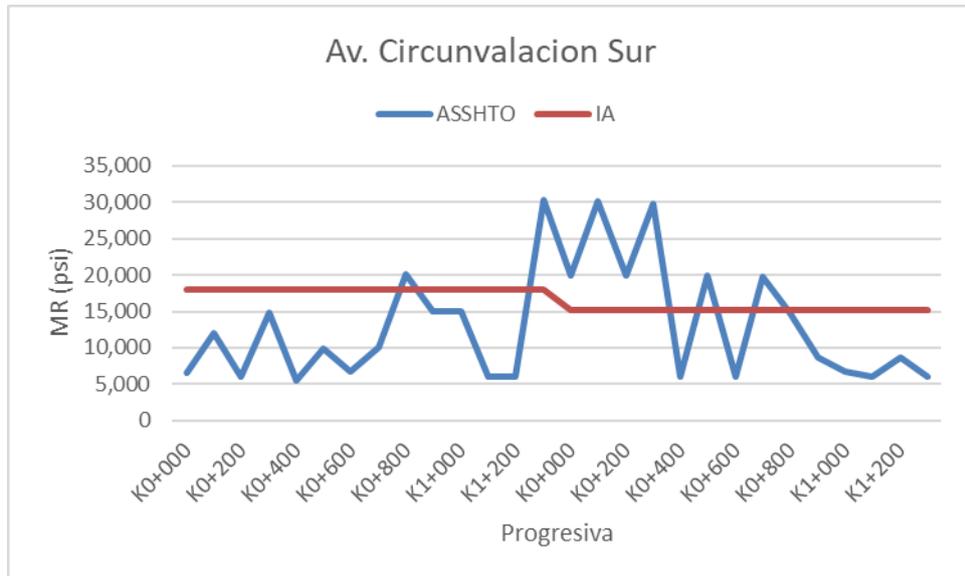


Figura 40. MR Av. Circunvalación Sur AASHTO e I.A.

Fuente: Elaboración Propia

Del procedimiento desarrollado, se presenta en la Tabla 38 el resumen de los hallazgos de los CBR, correspondientes a las metodologías de AASHTO y del Instituto del Asfalto.

Tabla 38. Resumen de resultados CBR - AASHTO e I.A.

RESUMEN DE RESULTADOS CBR				
PUNTO	Progresiva teórica	Carril	CBR (%)	
			AASHTO	Instituto del Asfalto
1	K0+000	Der.	4.434	21.0
2	K0+100	Der.	11.199	21.0
3	K0+200	Der.	3.761	21.0
4	K0+300	Der.	15.616	21.0

5	K0+400	Der.	3.267	21.0
6	K0+500	Der.	8.355	21.0
7	K0+600	Der.	4.470	21.0
8	K0+700	Der.	8.491	21.0
9	K0+800	Der.	25.078	21.0
10	K0+900	Der.	15.870	21.0
11	K1+000	Der.	15.870	21.0
12	K1+100	Der.	3.791	21.0
13	K1+200	Der.	3.822	21.0
14	K1+300	Der.	47.633	21.0
15	K0+000	Izq.	24.877	16.3
16	K0+100	Izq.	47.254	16.3
17	K0+200	Izq.	24.877	16.3
18	K0+300	Izq.	46.499	16.3
19	K0+400	Izq.	3.822	16.3
20	K0+500	Izq.	24.877	16.3
21	K0+600	Izq.	3.761	16.3
22	K0+700	Izq.	24.478	16.3
23	K0+800	Izq.	15.743	16.3
24	K0+900	Izq.	6.727	16.3
25	K1+000	Izq.	4.542	16.3
26	K1+100	Izq.	3.822	16.3
27	K1+200	Izq.	6.727	16.3
28	K1+300	Izq.	3.791	16.3

Fuente: Elaboración Propia

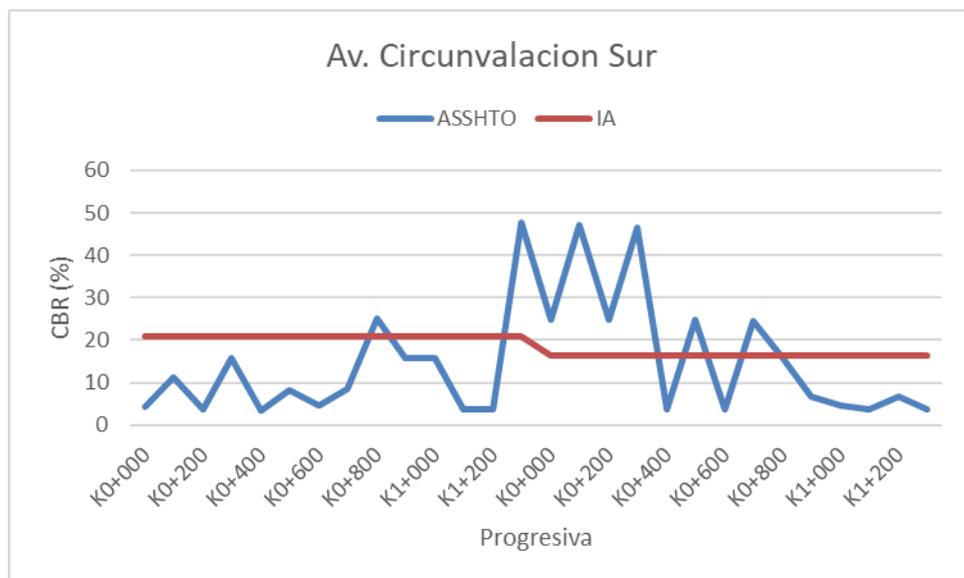


Figura 41. CBR (%) Av. Circunvalación Sur AASHTO e I.A.

Fuente: Elaboración Propia

Respecto al diseño de espesores de refuerzo estructural aplicando los métodos de AASHTO 93 y del Instituto del Asfalto de la vía Circunvalación Sur, se presentan los siguientes resultados.

Del procedimiento desarrollado se presenta a continuación la Tabla 39 el cual contiene el resumen de los hallazgos de espesores de refuerzo estructural calculados por las metodologías de AASHTO e Instituto del Asfalto.

Tabla 39. Resumen de resultados de Espesores de Sobrecapa

RESUMEN DE RESULTADOS				
PUNTO	Progresiva teórica	Carril	ESPESOR DE SOBRECAPA	
			AASHTO	Instituto del Asfalto
1	K0+000	Der.	1.8	1.7
2	K0+100	Der.	0.0	1.7
3	K0+200	Der.	3.4	1.7
4	K0+300	Der.	0.0	1.7
5	K0+400	Der.	4.1	1.7
6	K0+500	Der.	0.0	1.7
7	K0+600	Der.	2.3	1.7
8	K0+700	Der.	0.0	1.7
9	K0+800	Der.	0.0	1.7
10	K0+900	Der.	0.0	1.7
11	K1+000	Der.	0.0	1.7
12	K1+100	Der.	1.8	1.7
13	K1+200	Der.	2.1	1.7
14	K1+300	Der.	0.0	1.7
15	K0+000	Izq.	0.0	1.8
16	K0+100	Izq.	0.0	1.8
17	K0+200	Izq.	0.0	1.8
18	K0+300	Izq.	0.0	1.8
19	K0+400	Izq.	2.4	1.8
20	K0+500	Izq.	0.0	1.8
21	K0+600	Izq.	2.7	1.8
22	K0+700	Izq.	0.0	1.8
23	K0+800	Izq.	0.0	1.8
24	K0+900	Izq.	0.0	1.8
25	K1+000	Izq.	1.0	1.8
26	K1+100	Izq.	1.9	1.8
27	K1+200	Izq.	0.0	1.8
28	K1+300	Izq.	3.0	1.8

Fuente: Elaboración Propia

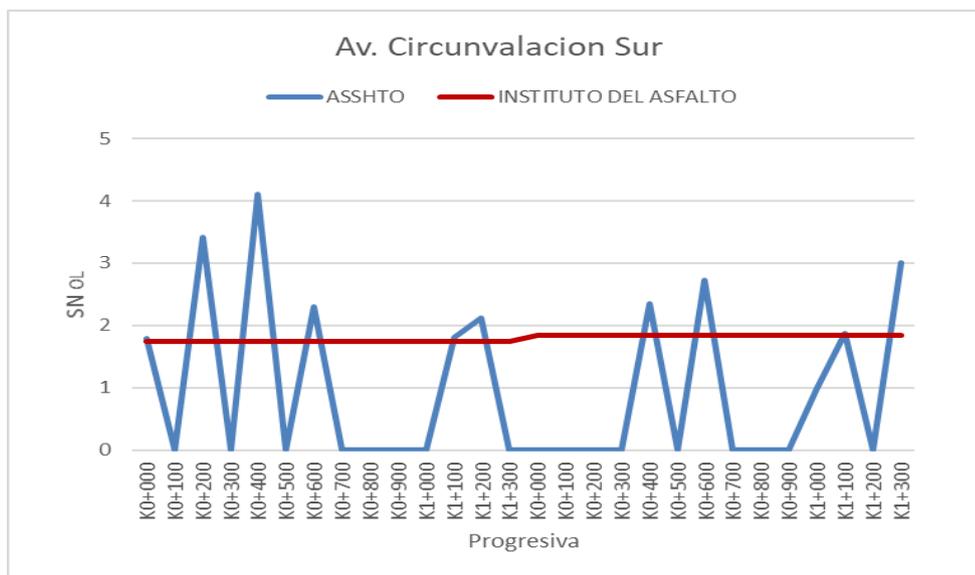


Figura 42. SN OL, Av. Circunvalación Sur AASHTO e I.A.

Fuente: Elaboración Propia

V. DISCUSIÓN:

Luego de analizar los hallazgos determinados en este estudio, se pasa a la discusión sobre las diferentes teorías relacionadas a las variables en estudio, los cuales serán evaluadas y discutidas de acuerdo a la relación por cada objetivo desarrollado en esta investigación.

Respecto a la evaluación del estado actual del pavimento flexible de acuerdo a la metodología PCI (índice de condición del pavimento) de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno.

De los resultados conseguidos aplicando la metodología PCI en la evaluación funcional de la Av. Circunvalación Sur correspondiente al tramo Jr. Pacheco Vargas – Av. Ejército, se logró determinar el grado la incidencia, severidad y densidad de las fallas identificadas, donde las fallas funcionales representan la mayor área. De las fallas funcionales identificadas el que tiene mayor área es la piel de cocodrilo con el 26.80% de incidencia, la segunda falla con más incidencia fue el agrietamiento en bloque que representa el 21.65% y la tercera falla identificada con más incidencia son las grietas longitudinales con el 23.71%. Así mismo en comparación con los resultados de Bocanegra y Flores (2020) de la Calle 2, Av. Integración y Av. Alcatraces, donde se concluyó que

dentro de las fallas funcionales la exudación y Abultamiento y Hundimiento que representa el 14.44 % de incidencia siendo las que más área abarcaron. La segunda falla de mayor incidencia fue los ahuellamientos con el 23.85%.

Asimismo, el tipo de daño presente en la carpeta asfáltica de la Av. Circunvalación Sur se determinó por el método PCI. Obteniendo una calificación PCI de 50 según la escala de calificación, encontrándose en condición regular el tramo evaluado. Comparación que se realizó con los resultados de Bocanegra y Flores (2020) de Calle 2, Av. Integración y Av. Alcatraces se utilizó la metodología PCI. Donde la Calle 2 tiene una calificación PCI de 39.27, según la escala de calificación este pavimento se encuentra en mal estado.

Respecto al comportamiento estructural del pavimento flexible aplicando los métodos de AASHTO 93 e del Instituto del asfalto en la vía circunvalación Sur.

(BALAREZO, 2017) determino la condición del pavimento del pavimento flexible de la Universidad de Piura para saber si dicho suelo está en buen estado y si necesita una intervención para que pueda ofrecer una buena servicialidad a los usuarios, aplicando el equipo de la Viga Benkelman, donde se obtuvo que la deflexión admisible fue mayor que la característica, resultando que este pavimento necesita de un mantenimiento porque presentaba fallas superficiales. En el caso de nuestra investigación determinamos que la deflexión característica resulta mayor que la admisible además los CBR de nuestra zona de estudio resultaron que se encuentran en condiciones regulares, también se pudo identificar fallas superficiales y deficiencias estructurales, de acuerdo con el manual de suelos y pavimentos se tiene que nuestra muestra de estudio necesita de una rehabilitación en consecuencia de las deficiencias estructurales que presenta.

Respecto al cálculo de los espesores del refuerzo estructural de la carpeta asfáltica aplicando los métodos AASHTO 93 e Instituto del Asfalto de la vía Circunvalación Sur.

Julca y tafur (2020) en su estudio determino el refuerzo estructural de un tramo de la Vía Central. realizando ensayos "no destructivos", mediante el

procesamiento y análisis de las deflexiones obtenidas de la superficie de la carretera con el equipo FWL deflectómetro de impacto; deflexiones que reflejan la respuesta del paquete estructural bajo un peso dado, el procedimiento de medición es simple y rápida, sin alterar el paquete estructural. Las deflexiones fueron analizadas utilizando la técnica de cálculo inverso, con el que conoció el refuerzo estructural total en función de las características del pavimento flexible aplicando la metodología de AASHTO 93 y los coeficientes de corrección de la metodología del Instituto del Asfalto, obteniendo el resultado para el número estructural S_n de 5.6 y 6.2 para la calzada izquierda y derecha, respectivamente. En el caso del presente estudio se realizó las mediciones de las deflexiones con la viga Benkelman siguiendo el mismo procedimiento de la metodología AASHTO donde determinamos un refuerzo estructural de 3.5 pulgadas para el carril derecho y para el carril izquierdo de 3 in.

VI. CONCLUSIONES:

Como parte de las evaluaciones de inspección visual que se realizaron en la Av. Circunvalación Sur, utilizando la metodología PCI (índice de condición del pavimento), se consiguió determinar que el pavimento evaluado obtiene una calificación PCI de 50, definiéndolo como un pavimento en condición regular.

Durante la evaluación de cada unidad muestral se hallaron 5 tipos de fallas, con niveles de severidad: baja, media y alta. De la evaluación funcional se tiene las fallas con mayor extensión: en el caso de las grietas transversales tiene una extensión de 4.8 metros y en el caso de la piel de cocodrilo llegan a tener una extensión de 15.40 metros cuadrados, las cuales influyeron a la hora de hallar la calificación PCI y la conservación del pavimento.

En esta investigación se aplicó un plan de evaluación estructural al pavimento flexible de la Av. Circunvalación Sur de Puno, mediante ensayos no destructivos utilizando el ensayo de Benkelman. A través de esta evaluación, se logró identificar en ambos carriles las deficiencias estructurales que presentan a lo largo de la vía en estudio empleando las metodologías AASHTO-93 e Instituto del Asfalto, donde se obtuvo el espesor de refuerzo estructural que requiere el

pavimento como alternativa de solución en la rehabilitación del pavimento flexible.

El ensayo de la viga Benkelman se ha aplicado con éxito en la avenida Circunvalación Sur en Puno, siendo una vía representativa que muestra la condición superficial de la mayoría de los pavimentos flexibles de la ciudad. Donde se aprendió todo sobre el procedimiento de ejecución de la Viga Benkelman en pruebas de deflectometría, además se consiguió toda la información necesaria para ejecutar una evaluación estructural en pavimentos flexibles.

Se utilizaron las metodologías de AASHTO e Instituto del Asfalto para estudiar y comparar los datos conseguidos a través de pruebas de deflectometría, en las que se determinó el comportamiento estructural actual y el refuerzo estructural requerido para un nuevo periodo de vida útil del pavimento asfáltico de la Avenida Circunvalación Sur. Además.

Del análisis estadístico aplicando la prueba “t” se tiene como resultado que no existen diferencias significativas respecto al cálculo del comportamiento estructural efectivo del pavimento flexible empleando los métodos de AASHTO-93 y el Instituto del asfalto en la Av. Circunvalación Sur.

Del análisis estadístico aplicando la prueba “T” se tiene como resultado que si existen diferencias significativas respecto al cálculo de espesores de refuerzo estructural para el pavimento flexible de la Av. Circunvalación Sur empleando los métodos AASHTO 93 y el Instituto del asfalto.

Empleando la metodología AASHTO en el diseño de la rehabilitación, a partir de la evaluación estructural realizada se determina que la avenida Circunvalación Sur demanda un recapeo de 3.5 pulgadas para la calzada derecha el cual va a satisfacer la deficiencia estructural que presenta en toda su extensión. Con las mismas consideraciones la calzada izquierda demanda un recapeo de 3 pulgadas.

En la progresiva k0 400 del carril derecho se presentó la deformación más resaltante, punto que posee un valor de 0.45 mm, el cual incide en el espesor

de recapeo o refuerzo estructural de 4.1 pulgadas, en contraste con el resto del tramo vial presenta la mayor deflexión lo que significa que cuenta con una mayor deficiencia estructural en comparación de la calzada izquierda, la razón de esto por general se debe a los parches identificados que corresponden a la instalación de tuberías de agua y desagüe, alterando la condición física de la estructura del pavimento, a pesar de esto se recomienda efectuar de nuevo un ensayo de deflectometría y corroborar esta información.

VII. RECOMENDACIONES

Antes de proceder con el diseño, es necesario realizar una evaluación técnica del pavimento existente y analizar las actividades a realizar, así como definir los equipos que se utilizarán. Siempre que sea posible, el responsable de realizar el diseño deberá definir claramente las actividades adecuadas a las características y necesidades de cada proyecto.

En la medida de lo posible, la exploración mediante perforación con diamantina debe realizarse cada 100 m para adquirir una estructura estratigráfica más precisa el cual ayuda a construir tramos con características equivalentes en relación a la estructura vial.

Se recomienda el cumplimiento de los mantenimientos rutinarios y periódicos en los diferentes pavimentos, ya que esto ayuda a prevenir el desgaste prematuro y prolonga significativamente su vida útil. Dentro de las actividades de mantenimiento rutinario a realizar en las vías se encuentra la limpieza de drenajes.

Se deben efectuar estudios similares para diferentes carreteras nacionales con diferentes características topográficas, y se pueden identificar factores de adaptación a la realidad del Perú.

Para actualizar los métodos de cálculo de capas de refuerzo asfáltico, se recomienda utilizar nuevos equipos para recopilación de datos.

REFERENCIAS

- AASHTO. Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State and Highway Transportation Officials. Estados Unidos, 1993.
- AB.AZIZ, S. Y MOHAMAD TAHER, M. Application of Falling Weight Deflectometer (FWD) and Synthetic Fiber in the Asphalt Mixture: A Review. 1, Malaysia. UTHM Publisher, 2021, Vol. II.
- ANDRADE, C., MACHADO, I. Y RUFINO, J. Metodología de análisis de la condición del pavimento a partir del cuenco de deflexión. *Infraestructura Vial*, 2015, 17(29), 24–32.
- ASPHALT INSTITUTE. Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements. Manual Series No. 22, Lexington.
- ASTM. Standard practice for road and parking lots pavement conditions survey. American Society for Testing and Materials, USA, 2008, Designation D 6433-07.
- ÁVILA, E., ALBARRACÍN, F., Y BOJORQUE, J. Evaluación de pavimentos en base a métodos no destructivos y análisis inverso. *Maskana*, 2015, 6(1), 149–167.
- AVILA, L. et al. Application of Pavement Index for the Evaluation of the Running Surface of the Lima-Peru Roads. *Journal of Green Engineering*, 2020, 10(10), 8129-8141.
- AZAÑA, D. Y GONZALES, M. Evaluación estructural del pavimento asfáltico en la carretera Huaraz Casma, Km 132+000 al 137+000, utilizando la viga Benkelman, Huaraz 2018. Huaraz: Universidad Cesar Vallejo, 2019.
- BALAREZO, J. Evaluación estructural usando Viga Benkelman aplicada a un pavimento. Piura: Universidad de Piura, 2017.
- BENITO, V. Análisis comparativo entre las estimaciones del porcentaje de vida remanente útil obtenidas a partir de una evaluación funcional y una evaluación estructural, del pavimento flexible en el tramo T'icapata – Pumamarca en la carretera ENACO – Abra Ccorao. CUSCO: Universidad Andina Del Cusco, 2020.
- CARRASCO, S. Y VIZHÑAY, C. Evaluación estructural vial para Azogues mediante el análisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman. Cuenca: Universidad de Cenca, 2019.

- CRUZ, O. Y OCAÑA, F. Evaluación estructural de pavimentos flexibles construidos en la localidad de Usme utilizando el deflectómetro de impacto o FWD . Bogota: Universidad Santo Tomás, 2019.
- CUBAS DE LA TORRE, R. Comportamiento Estructural del Pavimento Flexible en la Vía de Evitamiento Sur - Cajamarca utilizando las deflexiones medidas con la Viga Benkelman. Cajamarca: Universidad Privada del Norte , 2017.
- CHEN, D. et al. Temperature Correction on Falling Weight Deflectometer Measurements Transportation Research Record. Journal of the Transportation Research Board, 2000.
- DEBELA, D. A Review on Effect of Pavement Surface Failure on Road Traffic Accident, Gondar: University of Gondar, 2020, Ethiopia.
- GUZMÁN, E. Adjustment Factors for Backcalculated Modulus of Flexible Pavement. Colombia: UPTC, 2016, Vol. III.
- HOFFMAN, M. Y DEL AGUILA, P. Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos). Lima: s.n., 1985.
- HUANG, Y. Pavement Analysis and Design - Second Edition. Prentice Hall. United States of América, 2004.
- HUMPIRE, K. Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región de Puno, 2015.
- HURTADO, W. 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. Quito: Universidad Internacional del Ecuador, 2016.
- JULCA, C., TAFUR, V. Y ESENARRO, D. Impact deflectometry in the structural evaluation, Central Highway km 12 + 250 - km 26 + 500, Lima 2020. España : s.n., 2021, 3C Tecnología, 2021, pp. 95-115.
- JUNYU, S. et al. A Review of PCN Determination of Airport Pavements Using FWD/HWD Test: International Journal of Pavement Research and Technology, 2021.
- KAMRUZAMAN, N. Y MOHD KAMARUDDIN, D. Non-destructive Method for Asphalt Pavement Evaluation: A Review. 1, Malaysia, 2021, Vol. II. ISSN :2773-5184.

- LEGUÍA, B., Y PACHECO, H. Evaluación superficial del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colón y Miguel Grau (Huacho - Huaura - Lima). Lima, 2016.
- MIAH, M. et al. An overview of the airport pavement management systems (APMS): International Journal of Pavement Research and Technology, 2020, Chinese Society of Pavement Engineering
- MÉNDEZ, R. et al. Vulnerability of the soils of Metropolitan Lima and their relationship with urban sustainability. 3C Tecnología, 2020, Glosas de innovación aplicadas a la pyme. Edición Especial, Octubre 2020, 161-177
- MEDINA, A., Y DE LA CRUZ, M. Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI. Lima, 2015.
- M.T.C. Manual de ensayo de materiales. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.
- Ng, K. et al. Systematic back-calculation protocol and prediction of resilient modulus for MEPDG: International Journal of Pavement Engineering, 2016, ISSN: 1029-8436
- OCMIN, A. Y RAMOS, C. Deflectometría de impacto para la determinación del refuerzo en la carretera Lima – Chosica km 35+535 al km 39+500. Lima : Universidad Ricardo Palma, 2019.
- RAGNOLI, A., DE BLASIIS, M. Y DI BENEDETTO, A. Pavement Distress Detection Methods: A Review: Constructional and Environmental Engineering, Sapienza University of Rome, Rome, Italy, 2018, doi:10.3390/infrastructures3040058, Vol. III.
- RAMOS, R. Evaluación estructural y superficial del pavimento de la av. Lambramani con fines de diagnóstico y rehabilitación. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2021.
- RODRIGUEZ, J. Evaluación del módulo resiliente fundamentado en la deflectometría y la geotecnia para optimizar diseños y costos en pavimentos reciclados de la carretera Yanango – Puente Herrería. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola, 2020.
- SHARMA, A., SACHDEVA, S. Y AGGARWAL, P. Pavement Condition Assessment: A Brief Review: National Institute of Technology, Kurukshetra, India, Design Engineering, 2021, ISSN: 0011-9342

- SHOLEVAR, N., GOLROO, A. Y ROGHANI, S. Machine learning techniques for pavement condition evaluation: Automation in Construction, 2022, Volume 136
- SHTAYAT, A. et al. An Overview of Pavement Degradation Prediction Models: Journal of Advanced Transportation, 2021, Vol 2021.
- SMITH, K. et al. Using Falling Weight Deflectometer Data with Mechanistic-Empirical, 2017.
- SOTO, G. Grado de deterioro de los pavimentos flexibles en la ciudad de puno con fines de aplicación de un programa de mantenimiento y reparación sostenible. Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, 2018.
- TACZA, E. Y RODRIGUEZ, B. Evaluación de fallas mediante el método PCI y planteamiento de alternativas de intervención para mejorar la condición operacional del pavimento flexible en el carril segregado del corredor Javier Prado. Lima : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2018.
- UBALDE, R. et al. Quality model for Peruvian microenterprises of a software product Factory. Test Engineering and Management, 2020, 83, 13434.

ANEXOS

ANEXO 01. Matriz de operacionalización de variables.

Título: Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de vía Circunvalación Sur, Puno, 2021”

Autor: Jhonatan Michael Villanueva Flores

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
<p>VARIABLE: Diseño de la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur</p>	<p>Es una medida necesaria para mejorar el estado de la vía, además del nivel de serviciabilidad vial, brindando seguridad y confort a los pasajeros (Ramos, 2021).</p>	<p>La aplicación del método PCI es muy importante para determinar la severidad, magnitud y tipos de daño en pavimentos flexibles.</p>	<p>Metodología PCI</p>	<p>Tipos de fallas</p>	<p>Nominal</p>
		<p>Emplear la viga Benkelman en la evaluación estructural de los pavimentos, es importante cuando se desea evaluar las deflexiones en la estructura del pavimento.</p>	<p>Deficiencia estructural</p>	<p>Metodologías AASHTO-93 e Instituto del Asfalto, a partir del ensayo de la Viga Benkelman</p>	<p>Razón</p>
		<p>El espesor del refuerzo estructural es una característica importante de todo el sistema del pavimento. Por lo tanto, la elección del espesor debe satisfacer varios factores, incluida la carga de tráfico esperada y la resistencia y rigidez del pavimento disponible.</p>	<p>Diseño de espesor de refuerzo estructural</p>	<p>Metodología: - AASHTO 93 - Instituto del Asfalto</p>	<p>Razón</p>

ANEXO 02. Matriz de consistencia.

Título: Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de vía Circunvalación Sur, Puno, 2021”

Autor: Jhonatan Michael Villanueva Flores

PREGUNTAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	DISEÑO	POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICA E INSTRUMENTOS
¿Qué diferencias existen en la aplicación de los métodos AASHTO 93 e Instituto del asfalto, respecto al diseño de la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno - 2021?	Comparar los métodos AASHTO 93 e Instituto del asfalto, respecto al diseño de la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno - 2021.	Ha: Existen diferencias significativas en la aplicación de los métodos AASHTO 93 e Instituto del asfalto, respecto al diseño de la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno – 2021.	VARIABLE: Diseño de la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur.	Índice de condición del pavimento - Metodología PCI Deficiencia Estructural -Metodología AASHTO 93 -Metodología del Instituto del asfalto Espesor de refuerzo estructural -Metodología AASHTO 93 -Metodología del Instituto del Asfalto	ENFOQUE: CUANTITATIVO TIPO: APLICADA DISEÑO: NO – EXPERIMENTAL COMPARATIVO – TRANSVERSAL	POBLACIÓN: PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA VÍA DE EVITAMIENTO CIRCUNVALACIÓN DE LA CIUDAD DE PUNO MUESTRA: AV. CIRCUNVALACIÓN SUR TRAMO AV. SIMÓN BOLÍVAR – JR. PACHECO VARGAS CON UNA LONGITUD DE 1541 M.	EXPLORACIÓN Y OBSERVACIÓN EN CAMPO ANÁLISIS DOCUMENTAL FICHA TÉCNICA: REGISTRO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO DE ACUERDO A CADA METODOLOGÍA.
ESPECÍFICOS							
1. ¿Cuál es el estado actual del pavimento asfáltico de acuerdo a la metodología índice de condición del pavimento (PCI) de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno?	1. Evaluar el estado actual del pavimento flexible de acuerdo a la metodología índice de condición del pavimento (PCI) de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno.	1. Ha: La evaluación del estado actual del pavimento flexible es de condición regular de acuerdo a la metodología índice de condición del pavimento (PCI) de la vía Circunvalación Sur de la ciudad de Puno.					
2. ¿Qué diferencias existen respecto al cálculo del comportamiento estructural efectivo del pavimento flexible aplicando los métodos AASHTO 93 e Instituto del asfalto en la vía Circunvalación Sur?.	2. Identificar las diferencias que existen respecto al comportamiento estructural efectivo del pavimento flexible aplicando los métodos AASHTO 93 e Instituto del asfalto en la vía Circunvalación Sur.	2. Ha: Si existen diferencias significativas respecto al cálculo del comportamiento estructural efectivo del pavimento flexible aplicando los métodos AASHTO 93 e Instituto del asfalto en la vía Circunvalación Sur.					
3. ¿Qué diferencias existen respecto al diseño de los espesores de refuerzo estructural de la carpeta asfáltica aplicando los métodos AASHTO 93 e Instituto del Asfalto de la vía Circunvalación Sur?.	3. Identificar las diferencias que existen respecto a espesores de refuerzo estructural de la carpeta asfáltica aplicando los métodos AASHTO 93 e Instituto del Asfalto de la vía Circunvalación Sur.	3. Ha: Si existen diferencias significativas respecto al diseño de espesores de refuerzo estructural de la carpeta asfáltica aplicando los métodos AASHTO 93 e Instituto del Asfalto de la vía Circunvalación Sur.					

ANEXO 03. Validacion de instrumentos

INFORME DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: ARIZOBAL RAMIREZ, JUAN MANUEL
 Institución donde labora : CONSORCIO VIAL 67 - PAVIMENTO 1
 Especialidad : GERENTE VIAL
 Instrumento de validación : Formato de aforo vehicular, formato de identificación de fallas para pavimento flexible, formato de recolección de datos ensayo Viga Benkelman
 Autor del instrumento : Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguajes apropiados y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales					X
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: APLICACIONES DE LOS MÉTODOS AASHTO-93 E INSTITUTO DEL ASFALTO EN EL DISEÑO DE LA REHABILITACIÓN DE LA VÍA CIRCUNVALACIÓN SUR en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					X
ACTUALIDAD	El instrumento refleja vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológica innovación y legal inherente a la variable: APLICACIONES DE LOS MÉTODOS AASHTO-93 E INSTITUTO DEL ASFALTO EN EL DISEÑO DE LA REHABILITACIÓN DE LA VÍA CIRCUNVALACIÓN SUR.				X	
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.				X	
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: APLICACIONES DE LOS MÉTODOS AASHTO-93 E INSTITUTO DEL ASFALTO EN EL DISEÑO DE LA REHABILITACIÓN DE LA VÍA CIRCUNVALACIÓN SUR					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
PUNTAJE TOTAL						48

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD


JUAN M. ARIZABAL RAMIREZ
 INGENIERO CIVIL
 CIP 78527

Lima, 25 de FEBRERO del 2022

INFORME DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

Apellidos y nombres del experto: ISIDRO PERCCA JUAN
 Institución donde labora : DEPT. GOBIERNO REGIONAL
 Especialidad : ESPECIALISTA EN VIAS
 Instrumento de validación : Formato de aforo vehicular, formato de identificación de fallas para pavimento flexible, formato de recolección de datos ensayo Viga Benkelman
 Autor del instrumento : Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	MUY DEFICIENTE (1) DEFICIENTE (2) ACEPTABLE (3) BUENA (4) EXCELENTE (5)				
		1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguajes apropiados y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales					X
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable DISEÑO DE LA REHABILITACIÓN DE LA VÍA CIRCUNVALACIÓN SUR en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales				X	
ACTUALIDAD	El instrumento refleja vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológica innovación y legal inherente a la variable DISEÑO DE LA REHABILITACIÓN DE LA VÍA CIRCUNVALACIÓN SUR .					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores					X
INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.					X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.				X	
COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable DISEÑO DE LA REHABILITACIÓN DE LA VÍA CIRCUNVALACIÓN SUR					X
METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.					X
PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.					X
PUNTAJE TOTAL						47

(Nota: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 41; sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no válido ni aplicable)

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

Lima, 03 de MARZO del 2022



Juan Isidro Percca
 ING. CIVIL
 D.P. 135675

	EVALUACION DEFLECTOMETRICA A NIVEL DE TRANSITABILIDAD (VIGA BENKELMAN)				GO-CC-SYP-FOR-XXXXX
	Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha	Revisión: XXXXX
	XXXXXXX	XXXXXXXXX	XXXXXXXXX	XXXXXXXXX	Página 1 de 1

PROYECTO: _____ **TIPO/COD. MUESTRA:** _____
UBICACIÓN: _____ **APLICACIÓN:** _____
LUGAR DE MUESTREO: _____ **FECHA:** _____

Progresiva (Km)	Lado	LECTURAS DEL PRIMER DIAL						LECTURA 2° DIAL L-25* 0.01 mm	TEMPERATURAS		Espesor (cm)	Deflexiones Normalizadas		Radio curvatura Rc (m)
		L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-50 0.01 mm R=50	L-75 0.01 mm R=75	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500		Amb °C	Carp. °C		Dk0 (0.01 mm) 1 er. Dial	Dk25 (0.01 mm) 2 do. Dial	
		Der.	0.0											
Der.	0.0													
Der.	0.0													
Der.	0.0													
Der.	0.0													
Der.	0.0													
Der.	0.0													
Der.	0.0													
Der.	0.0													
Der.	0.0													
Der.	0.0													
Der.	0.0													
Der.	0.0													
Der.	0.0													
Der.	0.0													

A. - DATOS ESTADISTICOS

DEFLEXION PROMEDIO		
DESVIACION ESTANDAR		
COEFICIENTE DE VARIACION		
DEFLEXION MINIMA		
DEFLEXION MAXIMA		

B.- DEFLEXION CARACTERISTICA

$D_c = D_p + 1.645 \times \delta$
 donde :
 Dc : DEFLEXION CARACTERISTICA
 Dp : DEFLEXION PROMEDIO
 δ : DESVIACION ESTANDAR DE LAS DEFLEXIONES

Dc = 0.0 + 1.645 x 0.0

Dc = _____ x 10⁻² mm

C.- DEFLEXION ADMISIBLE

Da = _____ x 10⁻² mm


JOHAN M. ARIZABAL RAMIREZ
 INGENIERO CIVIL
 CIP 78527

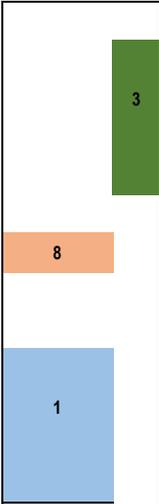
ANEXO 04. Resumen de estudio de clasificacion vehicular.

ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR																					
TRAMO DE LA CARRETERA:		AV. CIRCUNVALACION SUR										ESTACION :		1							
SENTIDO :		N-S Y S-N										DIA :		JUEVES							
UBICACIÓN :		PUNO										FECHA :		20/01/2022							
HORA	SENTIDO	AUTO 	STATION WAGON 	CAMIONETAS			MICRO 	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
				PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 		2 E 	3 E 	2 E 	3 E 	4 E 	2S1/2S2 	2S3 	3S1/3S2 	>= 3S3 	2T2 	2T3 	3T2 	3T3 	
JUEVES 20-01-2022	N-S	474	39	231	19	57	0	13	14	17	8	0	11	25	48	33	0	0	1	0	990
	S-N	460	47	223	28	56	0	11	19	19	9	0	24	51	55	31	0	0	0	0	1034
	TOTAL	934	86	454	48	113	0	25	33	36	18	0	34	76	103	64	0	0	1	0	2024
VIERNES 20-01-2022	S-N	523	34	236	28	62	0	13	21	15	9	0	32	63	63	36	0	0	0	0	1136
	N-S	507	41	254	30	60	0	13	20	22	10	0	29	53	53	30	0	0	1	0	1121
	TOTAL	1030	75	490	58	121	0	26	41	37	19	0	62	116	116	66	0	0	1	0	2257
SABADO 20-01-2022	N-S	511	48	241	29	58	0	15	12	23	9	0	28	61	61	32	0	0	0	0	1129
	S-N	495	58	265	26	67	0	11	19	28	10	0	30	53	53	32	0	0	2	0	1149
	TOTAL	1006	106	506	55	125	0	26	31	51	19	0	58	114	114	64	0	0	2	0	2278
DOMINGO 20-01-2022	S-N	467	46	244	21	55	0	9	15	21	7	0	22	47	47	23	0	0	0	0	1024
	N-S	475	38	233	28	56	0	10	16	26	8	0	24	26	26	26	0	0	0	0	991
	TOTAL	942	84	477	49	111	0	19	31	47	15	0	46	73	73	48	0	0	0	0	2015
LUNES 20-01-2022	N-S	669	66	328	42	79	0	16	18	35	12	0	35	31	31	29	0	0	1	0	1391
	S-N	675	65	348	39	82	0	15	22	33	11	0	34	29	29	18	0	0	2	0	1404
	TOTAL	1344	131	676	81	161	0	31	40	68	23	0	69	61	61	46	0	0	3	0	2794
MARTES 20-01-2022	N-S	480	47	222	24	56	0	13	21	26	12	0	35	39	39	35	0	0	1	0	1049
	S-N	467	42	229	27	60	0	11	19	23	11	0	32	80	80	42	0	0	0	0	1121
	TOTAL	947	89	451	51	117	0	24	40	49	22	0	67	118	118	77	0	0	1	0	2171
MIERCOLES 20-01-2022	N-S	489	48	240	29	58	0	11	24	26	12	0	36	40	40	36	0	0	2	0	1089
	S-N	501	41	246	29	59	0	14	24	32	7	0	36	58	58	41	0	0	0	0	1146
	TOTAL	991	89	486	58	117	0	25	48	58	19	0	72	98	98	77	0	0	2	0	2235
IMDs	N-S	516	47	249	27	61	0	13	18	23	10	0	28	44	47	32	0	0	1	0	1115
	S-N	511	48	257	30	63	0	12	20	26	9	0	30	50	51	31	0	0	1	0	1138
	TOTAL	1028	94	506	57	124	0	25	38	49	19	0	58	94	98	63	0	0	1	0	2253
IMDa	N-S	546	50	263	29	64	0	13	19	24	10	0	30	46	49	34	0	0	1	0	1178
	S-N	541	50	272	31	67	0	13	21	27	10	0	31	52	53	33	0	0	1	0	1201
	TOTAL	1087	100	535	61	131	0	26	40	52	20	0	61	98	102	66	0	0	1	0	2379

ANEXO 05. Resumen de resultados PCI.

CONDICION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE (AV. CIRCUNVALACION SUR)						
UM	CARRIL	PROGRESIVA		MAX CDV	PCI	CONDICION
		INICIAL	FINAL			
UM 01	Derecho	0+000	0+035	58	42	REGULAR
UM 02	Derecho	0+141	0+177	55	45	REGULAR
UM 03	Derecho	0+283	0+318	76	24	MALO
UM 04	Derecho	0+424	0+460	34	66	BUENO
UM 05	Derecho	0+566	0+601	65	35	MALO
UM 06	Derecho	0+743	0+778	68	32	MALO
UM 07	Derecho	0+883	0+920	54	46	REGULAR
UM 08	Derecho	1+026	1+062	55	45	REGULAR
UM 09	Derecho	1+168	1+203	45	55	BUENO
UM 10	Derecho	1+345	1+380	44	56	BUENO
UM 11	Derecho	1+486	1+522	51	49	REGULAR
UM 12	Izquierdo	0+000	0+035	55	46	REGULAR
UM 13	Izquierdo	0+141	0+177	55	45	REGULAR
UM 14	Izquierdo	0+283	0+318	71	29	MALO
UM 15	Izquierdo	0+424	0+460	55	45	REGULAR
UM 16	Izquierdo	0+566	0+601	69	31	MALO
UM 17	Izquierdo	0+743	0+778	43	57	BUENO
UM 18	Izquierdo	0+883	0+920	56	44	REGULAR
UM 19	Izquierdo	1+026	1+062	43	57	BUNEO
UM 20	Izquierdo	1+168	1+203	53	47	REGULAR
UM 21	Izquierdo	1+345	1+380	53	47	REGULAR
UM 22	Izquierdo	1+486	1+522	45	55	BUENO

ANEXO 06 Procedimientos para el calculo del PCI.

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA							 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO		
PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"									
Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores					Departamento : Puno				
Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur			Unidad de muestreo : 1		Progresiva inicial : K0+000				
Carril : Derecho			Área de muestreo : 230.1 m ²		Progresiva final : K0+035				
Ancho de vía : 6.5 m			Fecha : 16-02-2022						
PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS									
1.- Piel de cocodrilo (m ²)			7.- Grieta de borde (m)			13.- Huecos (unidad)			
2.- Exudación (m ²)			8.- Grieta de reflexión de junta (m)			14.- Cruce de vía férrea (m ²)			
3.- Agrietamiento en bloque (m ²)			9.- Desnivel Carril/Berma (m)			15.- Ahuellamiento (m ²)			
4.- Hundimientos (m ²)			10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m)			16.- Desplazamiento (m ²)			
5.- Corrugación (m ²)			11.- Parqueo (m ²)			17.- Grieta parabólica (m ²)			
6.- Depresión (m ²)			12.- Pulimiento de agregados (m ²)			18.- Hinchamiento (m ²)			
19.- Desprendimiento de agregados (m ²)									
Severidad L:Bajo			M:Medio			H:Alto			
Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad				Densidad	Valor Deducido (VD)	Esquema 
			L	A	H	Total			
3	m ²	M	5.4	1.9		10.3	4.5	11.2	
10	m	M	3.6			3.6	1.6	10.0	
1	m ²	M	3.9	2.8		10.9	4.7	25.7	
Máximo valor deducido (MVD)			25.7		$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$				
Numero de deducciones admisibles (m)			7.8						
Calculo del máximo valor deducido corregido									
Falla	q=3		q=2		q=1				
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT			
1	25.7	46.9	25.7	38.9	25.7	29.7			
3	11.2		11.2						
10	10		2						
VDC	36		29		32				
ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)									
$PCI = 100 - MVDC$									
PCI =							64		
CONDICIÓN DEL PAVIMENTO							BUENO		

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 2 Progresiva inicial : K0+142
 Carril Derecho Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K0+177
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parcheo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Densidad	Valor Deducido (VD)	Esquema
			L	A	Parcial	Total				
1	m ²	M	1.5	4.5	6.8	6.8	2.9	31.0		
3	m ²	M	6.0	2.7	16.2	50.1	21.8	25.0		
3	m ²	M	2.2	4.5	9.9					
3	m ²	M	10.2	2.4	24.0					
8	m	M	2.8		2.8	2.8	1.2	9.0		
10	m	L	2.0	2.1	4.1	7.6	3.3	8.0		
10	m	L	1.8	1.9	3.4					

Máximo valor deducido (MVD) 31.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 7.3

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=4		q=3		q=2		q=1	
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT
1	31	73	31	67	31	60	31	37
3	25		25		25		2	
8	9		9		2		2	
10	8		2		2		2	
VDC	42		44		46		48	

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

$$PCI = \boxed{52}$$

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO REGULAR

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 3 Progresiva inicial : K0+283
 . Derecho Área de muestreo : 230.1 m2 Progresiva final : K0+319
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|----------------------------------|---|--|
| 1.- Piel de cocodrilo (m2) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m2) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m2) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m2) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m2) |
| 4.- Hundimientos (m2) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m2) |
| 5.- Corrugación (m2) | 11.- Parcheo (m2) | 17.- Grieta parabólica (m2) |
| 6.- Depresión (m2) | 12.- Pulimiento de agregados (m2) | 18.- Hinchamiento (m2) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m2) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad						Esquema
			L	A	Parcial	Total	Densidad	Valor Deducido (VD)	
1	m2	M	4.0	1.2	4.8	4.8	2.1	29.0	
3	m2	M	4.8	0.9	4.3	8.4	3.6	8.0	
3	m2	M	4.4	0.9	4.0				
9	m	M	9.0		9.0	9.0	3.9	9.5	
10	m	M	3.6		3.6	8.3	3.6	19.0	
10	m	M	2.6		2.6				
10	m	M	2.1		2.1				

Máximo valor deducido (MVD) 29.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 7.5

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=4		q=3		q=2		q=1	
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT
1	29	66	29	60	29	52	29	35
10	19		19		19		2	
9	9.5		10		2		2	
3	8		2		2		2	
VDC	38		38		39		37	

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

$$PCI = \boxed{61}$$

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO BUENO

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 4 Progresiva inicial : K0+425
 . Derecho Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K0+460
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parcheo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad						Esquema
			L	A	Parcial	Total	Densidad	Valor Deducido (VD)	
11	m ²	M	2.5	3.8	9.5	20.2	8.8	29.0	
11	m ²	M	0.9	6.0	5.6				
11	m ²	M	0.8	6.0	5.0				
10	m	M	1.7		1.7	6.6	2.9	8.0	
10	m	M	2.2		2.2				
10	m	M	2.7		2.7				

Máximo valor deducido (MVD) 29.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 7.5

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=2		q=1		VDC
	VD	VDT	VD	VDT	
11	29	37	29	31	34
10	8		2		
VDC	29		34		

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

$$PCI = \boxed{66}$$

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO BUENO

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 5 Progresiva inicial : K0+567
 Derecho Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K0+602
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parcheo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad						Esquema
			L	A	Parcial	Total	Densidad	Valor Deducido (VD)	
1	m ²	M	4.7	2.1	10.0	16.6	7.2	42.0	
1	m ²	M	3.5	1.9	6.6				
10	m	M		4.1	4.1	13.1	5.7	23.0	
10	m	M	9.0		9.0				

Máximo valor deducido (MVD) 42.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 6.3

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=2		q=1				
	VD	VDT	VD	VDT			
1	42	65	42	44			
10	23		2				
VDC	49		44				

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

$$PCI = \boxed{51}$$

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO REGULAR

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 6 Progresiva inicial : K0+708
 Derecho Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K0+743
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parqueo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad						Esquema
			L	A	Parcial	Total	Densidad	Valor Deducido (VD)	
1	m ²	M	4.7	2.1	10.0	19.5	8.5	46.0	
1	m ²	M	6.2	0.7	4.5				
1	m ²	M	2.2	2.3	5.0				
3	m ²	L	3.4	3.3	11.2	16.1	7.0	8.0	
3	m ²	L	2.9	1.7	4.9				
10	m	M	3.0		3.0	3.0	1.3	9.0	

Máximo valor deducido (MVD) 46.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 6.0

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=3		q=2		q=1		VDC
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT	
1	46	63	46	57	46	50	
10	9		9		2		
3	8		2		2		
VDC	41		42		51		

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

PCI = 49

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO REGULAR

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 7 Progresiva inicial : K0+850
 Derecho Área de muestreo : 230.1 m2 Progresiva final : K0+885
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|----------------------------------|---|--|
| 1.- Piel de cocodrilo (m2) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m2) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m2) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m2) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m2) |
| 4.- Hundimientos (m2) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m2) |
| 5.- Corrugación (m2) | 11.- Parcheo (m2) | 17.- Grieta parabólica (m2) |
| 6.- Depresión (m2) | 12.- Pulimiento de agregados (m2) | 18.- Hinchamiento (m2) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m2) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alb

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Valor Deducido (VD)	Esquema
			L	A	Parcial	Total	Densidad		
1	m2	M	17.0	1.4	23.8	23.8	10.3	50.0	
3	m2	M	32.0	2.3	73.6	73.6	32.0	28.0	
10	m	L	4.3		4.3	4.3	1.9	5.0	

Máximo valor deducido (MVD) 50.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 5.6

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=3		q=2		q=1			
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT		
1	50	83	50	80	50	54		
3	28		28		2			
10	5		2		2			
VDC	53		57		54			

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

PCI = 43

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO REGULAR

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 8 Progresiva inicial : K0+991
 Carril Derecho Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K1+027
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parcheo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Valor Deducido (VD)	Esquema
			L	A	Parcial	Total	Densidad		
1	m ²	M	2.1	1.4	2.9	2.9	1.3	23.0	
3	m ²	M	5.1	4.3	21.9	21.9	9.5	16.0	
11	m ²	H	4.5	6.0	27.0	63.3	27.5	71.0	
11	m ²	H	5.4	2.9	15.7				
11	m ²	H	5.7	1.6	8.9				
11	m ²	H	8.0	1.5	11.7				

Máximo valor deducido (MVD) 71.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 3.7

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=3		q=2		q=1		VDC
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT	
11	71	110	71	96	71	75	
1	23		23		2		
3	16		2		2		
VDC	69		68		74		

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

PCI = 26

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO MALO

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 9 Progresiva inicial : K1+133
 Derecho Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K1+168
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parcheo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Valor Deducido (VD)	Esquema
			L	A	Parcial	Total	Densidad		
3	m ²	M	9.3	1.9	17.7	17.7	7.7	14.0	
11	m ²	M	30.0	0.7	19.5	19.5	8.5	29.0	
13	unid	M	1.0		1.0	2.0	0.9	55.0	
13	unid	M	1.0		1.0				

Máximo valor deducido (MVD) 55.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 5.1

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=3		q=2		q=1			
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT		
13	55	98	55	86	55	59		
11	29		29		2			
3	14		2		2			
VDC	63		62		58			

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

$$PCI = 37$$

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO MALO

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 10 Progresiva inicial : K1+274
 Carril Derecho Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K1+310
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parcheo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad						Esquema
			L	A	Parcial	Total	Densidad	Valor Deducido (VD)	
1	m ²	M	5.0	1.1	5.4	19.6	8.5	45.0	
1	m ²	M	7.2	2.0	14.1				
3	m ²	M	16.0	5.0	80.0	80.0	34.8	29.0	
10	m	M	4.2		4.2	4.2	1.8	5.0	
11	m ²	M	2.3	1.5	3.4	3.4	1.5	11.0	

Máximo valor deducido (MVD)

45.0

Numero de deducciones admisibles (m)

6.1

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=4		q=3		q=2		q=1	
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT
1	45	90	45	87	45	78	45	51
3	29		29		29		2	
11	11		11		2		2	
10	5		2		2		2	
VDC	52		57		56		50	

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

PCI = 43

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO REGULAR

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 11 Progresiva inicial : K1+486
 Derecho Área de muestreo : 230.1 m2 Progresiva final : K1+522
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|----------------------------------|---|--|
| 1.- Piel de cocodrilo (m2) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m2) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m2) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m2) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m2) |
| 4.- Hundimientos (m2) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m2) |
| 5.- Corrugación (m2) | 11.- Parqueo (m2) | 17.- Grieta parabólica (m2) |
| 6.- Depresión (m2) | 12.- Pulimiento de agregados (m2) | 18.- Hinchamiento (m2) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m2) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Densidad	Valor Deducido (VD)	Esquema
			L	A	Parcial	Total				
1	m2	L	12.0	0.8	9.0	9.0	3.9	35.0		
10	m	M	4.6		4.6	4.6	2.0	14.0		
11	m2	M	1.1	0.7	0.7	0.7	0.3	5.0		

Máximo valor deducido (MVD) 35.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 7.0

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=3		q=2		q=1		VDC
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT	
1	35	54	35	51	35	39	
10	14		14		2		
11	5		2		2		
VDC	35		38		39		

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

$$PCI = \boxed{61}$$

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO BUENO

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 12 Progresiva inicial : K0+000
 . Izquierdo Área de muestreo : 230.1 m2 Progresiva final : K0+035
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|----------------------------------|---|--|
| 1.- Piel de cocodrilo (m2) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m2) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m2) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m2) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m2) |
| 4.- Hundimientos (m2) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m2) |
| 5.- Corrugación (m2) | 11.- Parcheo (m2) | 17.- Grieta parabólica (m2) |
| 6.- Depresión (m2) | 12.- Pulimiento de agregados (m2) | 18.- Hinchamiento (m2) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m2) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Densidad	Valor Deducido (VD)	Esquema ↓
			L	A	Parcial	Total				
1	m2	M	19.0	0.9	17.1	17.1	7.4	42.0		
3	m2	M	9.5	3.2	30.4	30.4	13.2	18.0		
10	m	M	3.2		3.2	3.2	1.4	10.0		

Máximo valor deducido (MVD) 42.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 6.3

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=3		q=2		q=1			
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT		
1	42	70	42	62	42	46		
3	18		18		2			
10	10		2		2			
VDC	45		46		45			

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

PCI = 54

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO REGULAR

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 13 Progresiva inicial : K0+142
 Carril izquierdo Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K0+177
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parcheo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Densidad	Valor Deducido (VD)	Esquema
			L	A	Parcial	Total				
1	m ²	M	7.2	1.2	8.6	14.8	6.4	41.0		
1	m ²	M	5.6	1.1	6.2					
11	m ²	M	4.2	0.9	3.6	6.2	2.7	17.0		
11	m ²	M	2.3	0.6	1.4					
11	m ²	M	1.6	0.8	1.3					
13	unid	L	1.0		1.0	2.0	0.9	56.0		
13	unid	L	1.0		1.0					

Máximo valor deducido (MVD) 56.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 5.0

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=3		q=2		q=1		VDC
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT	
13	56	114	56	99	56	60	
1	41		41		2		
11	17		2		2		
VDC	71		70		60		

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

$$PCI = \boxed{29}$$

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO MALO

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 14 Progresiva inicial : K0+283
 Carril izquierdo Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K0+319
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parcheo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Densidad	Valor Deducido (VD)	Esquema ↓
			L	A	Parcial	Total				
1	m ²	L	14.0	1.1	15.4	15.4	6.7	29.0		
3	m ²	M	11.0	3.1	34.1	34.1	14.8	20.0		
10	m	M	24.0			24.0	10.4	35.0		
11	m ²	M	2.2	2.0	4.4	11.2	4.9	21.0		
11	m ²	M	3.6	1.9	6.8					

Máximo valor deducido (MVD) 35.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 7.0

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=4		q=3		q=2		q=1	
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT
10	39	109	39	91	39	72	39	45
1	29		29		29		2	
11	21		21		2		2	
3	20		2		2		2	
VDC	61		59		54		44	

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

$$PCI = \boxed{39}$$

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO MALO

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 15 Progresiva inicial : K0+425
 . Izquierdo Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K0+460
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parcheo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Densidad	Valor Deducido (VD)	Esquema
			L	A	Parcial	Total				
1	m ²	M	5.3	1.8	9.5	13.2	5.7	38.0		
1	m ²	M	2.4	1.5	3.7				11	
10	m	M	24.0			24.0	10.4	34.0		
11	m ²	L	6.3	2.1	13.2	20.2	8.8	15.0		
11	m ²	L	3.7	1.0	3.6				11	
11	m ²	L	5.1	0.7	3.3				11	
									1	
									10	
									1	

Máximo valor deducido (MVD) 38.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 6.7

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=3		q=2		q=1		VDC
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT	
1	38	87	38	74	38	42	
10	34		34		2		
11	15		2		2		
VDC	57		54		41		

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

PCI = 43

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO REGULAR

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 16 Progresiva inicial : K0+566
 Carril izquierdo Área de muestreo : 230.1 m2 Progresiva final : K0+602
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|----------------------------------|---|--|
| 1.- Piel de cocodrilo (m2) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m2) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m2) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m2) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m2) |
| 4.- Hundimientos (m2) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m2) |
| 5.- Corrugación (m2) | 11.- Parcheo (m2) | 17.- Grieta parabólica (m2) |
| 6.- Depresión (m2) | 12.- Pulimiento de agregados (m2) | 18.- Hinchamiento (m2) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m2) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Valor Deducido (VD)	Esquema ↓
			L	A	Parcial	Total	Densidad		
3	m2	M	4.9	1.2	5.9	5.9	2.6	8.0	
10	m	M	3.8		3.8	6.3	2.7	17.0	
10	m	M	2.5		2.5				
13	unid	L	1.0		1.0	1.0	0.4	41.0	

Máximo valor deducido (MVD) 41.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 6.4

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=3		q=2		q=1		VDC
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT	
13	41	66	41	60	41	45	
10	17		17		2		
3	8		2		2		
VDC	42		45		46		

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

PCI = 54

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO REGULAR

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 17 Progresiva inicial : K0+708
 Carril izquierdo Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K0+743
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parcheo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Valor Deducido (VD)	Esquema ↓
			L	A	Parcial	Total	Densidad		
1	m ²	M	13.4	0.8	10.1	10.1	4.4	38.0	<div style="background-color: yellow; width: 100px; height: 100px; margin: 0 auto;"></div>
3	m ²	M	9.8	4.9	47.9	103.6	45.0	32.0	
3	m ²	M	11.6	4.8	55.7				
10	m	M	4.9		4.9	10.2	4.4	21.0	
10	m	M	5.3		5.3				

Máximo valor deducido (MVD) 38.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 6.7

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=3		q=2		q=1		VDC
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT	
1	38	91	38	72	38	42	
3	32		32		2		
10	21		2		2		
VDC	59		53		41		

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

PCI = 41

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO REGULAR

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 18 Progresiva inicial : K0+850
 Izquierdo Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K0+885
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parcheo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Valor Deducido (VD)	Esquema ↓
			L	A	Parcial	Total	Densidad		
1	m ²	M	7.8	0.6	4.7	4.7	2.0	29.0	
3	m ²	M	10.6	4.3	45.6	45.6	19.8	22.0	
10	m	M	2.4		2.4	6.5	2.8	17.0	
10	m	M	4.1		4.1				
11	m ²	L	6.0	0.7	3.9	3.9	1.7	5.0	

Máximo valor deducido (MVD) 29.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 7.5

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=4		q=3		q=2		q=1	
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT
1	29	73	29	70	29	55	29	35
3	22		22		22		2	
10	17		17		2		2	
11	5		2		2		2	
VDC	41		46		42		37	

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

$$PCI = \boxed{54}$$

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO REGULAR

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 19 Progresiva inicial : K0+991
 . Izquierdo Área de muestreo : 230.1 m2 Progresiva final : K1+027
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|----------------------------------|---|--|
| 1.- Piel de cocodrilo (m2) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m2) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m2) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m2) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m2) |
| 4.- Hundimientos (m2) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m2) |
| 5.- Corrugación (m2) | 11.- Parcheo (m2) | 17.- Grieta parabólica (m2) |
| 6.- Depresión (m2) | 12.- Pulimiento de agregados (m2) | 18.- Hinchamiento (m2) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m2) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alb

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Densidad	Valor Deducido (VD)	Esquema
			L	A	Parcial	Total				
1	m2	M	14.0	0.6	8.4	8.4	3.7	35.0		
11	m2	L	23.0	0.8	18.4	19.1	8.3	29.0		
11	m2	L	2.2	0.3	0.7					

Máximo valor deducido (MVD) 35.0 $m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$
 Numero de deducciones admisibles (m) 7.0

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=2		q=1				
	VD	VDT	VD	VDT			
1	35	64	35	37			
3	29		2				
VDC	48		38				

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)
 $PCI = 100 - MVDC$
 PCI = 52

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO REGULAR

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 20 Progresiva inicial : K1+133
 . Izquierdo Área de muestreo : 230.1 m2 Progresiva final : K1+168
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|----------------------------------|---|--|
| 1.- Piel de cocodrilo (m2) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m2) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m2) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m2) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m2) |
| 4.- Hundimientos (m2) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m2) |
| 5.- Corrugación (m2) | 11.- Parcheo (m2) | 17.- Grieta parabólica (m2) |
| 6.- Depresión (m2) | 12.- Pulimiento de agregados (m2) | 18.- Hinchamiento (m2) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m2) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Densidad	Valor Deducido (VD)	Esquema ↓
			L	A	Parcial	Total				
1	m2	M	2.9	0.7	2.0	7.2	3.1	33.0		
1	m2	M	4.3	1.2	5.2					
3	m2	M	17.0	4.1	69.7	69.7	30.3	29.0		
11	m2	L	9.0	0.6	5.4	5.4	2.3	5.0		

Máximo valor deducido (MVD) 33.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 7.2

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=3		q=2		q=1			
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT		
1	33	67	33	64	33	37		
3	29		29		2			
11	5		2		2			
VDC	44		47		38			

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

PCI = 53

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO REGULAR

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 21 Progresiva inicial : K1+274
 Carril izquierdo Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K1+310
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parcheo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad					Densidad	Valor Deducido (VD)	Esquema ↓
			L	A	Parcial	Total				
1	m ²	L	1.8	0.9	1.6	1.6	0.7	9.0	1	
3	m ²	M	8.0	4.0	32.0	32.0	13.9	19.0	3	
11	m ²	M	11.0	0.4	4.4	7.1	3.1	18.0	11	
11	m ²	M	3.8	0.7	2.7				11	

Máximo valor deducido (MVD) 19.0
 Numero de deducciones admisibles (m) 8.4

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=3		q=2		q=1			
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT		
3	19	46	19	39	19	23		
11	18		18		2			
1	9		2		2			
VDC	29		30		25			

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)
 $PCI = 100 - MVDC$
 PCI = 70

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO BUENO

**ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
PAVIMENTOS CON SUPERFICIE ASFÁLTICA**



PROYECTO: "Estudio comparativo para aplicaciones de los métodos AASHTO-93 e Instituto del Asfalto en la rehabilitación de la vía Circunvalación Sur, Puno, 2021"

Inspeccionado por: Bach. Jhonatan Michael Villanueva Flores Departamento : Puno

Nombre de la vía : Av. Circunvalación sur Unidad de muestreo : 22 Progresiva inicial : K1+416
 Carril izquierdo Área de muestreo : 230.1 m² Progresiva final : K1+451
 Ancho de vía : 6.5 m Fecha : 16-02-2022

PAVIMENTO FLEXIBLE - FALLAS

- | | | |
|---|---|---|
| 1.- Piel de cocodrilo (m ²) | 7.- Grieta de borde (m) | 13.- Huecos (unid) |
| 2.- Exudación (m ²) | 8.- Grieta de reflexión de junta (m) | 14.- Cruce de vía férrea (m ²) |
| 3.- Agrietamiento en bloque (m ²) | 9.- Desnivel Carril/Berma (m) | 15.- Ahuellamiento (m ²) |
| 4.- Hundimientos (m ²) | 10.- Grietas Longitudinales y Transversales (m) | 16.- Desplazamiento (m ²) |
| 5.- Corrugación (m ²) | 11.- Parcheo (m ²) | 17.- Grieta parabólica (m ²) |
| 6.- Depresión (m ²) | 12.- Pulimiento de agregados (m ²) | 18.- Hinchamiento (m ²) |
| | | 19.- Desprendimiento de agregados (m ²) |

Severidad L:Bajo M:Medio H:Alto

Fallas	Unidad	Severidad	Cantidad						Valor Deducido (VD)	Esquema ↓
			L	A	Parcial	Total	Densidad			
1	m ²	M	11.0	0.6	6.6	6.6	2.9	31.0		
3	m ²	L	6.4	3.7	23.7	23.7	10.3	9.0		
11	m ²	M	30.0	0.4	12.0	12.0	5.2	23.0		

Máximo valor deducido (MVD)

31.0

Numero de deducciones admisibles (m)

7.3

$$m = 1 + \frac{9}{98} * (100 - Max VD)$$

Calculo del Máximo Valor Deducido Corregido

Falla	q=3		q=2		q=1			
	VD	VDT	VD	VDT	VD	VDT		
1	31	63	31	56	31	35		
11	23		23		2			
3	9		2		2			
VDC	40		42		36			

ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (PCI)

$$PCI = 100 - MVDC$$

PCI = 58

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO BUENO

ANEXO 07. Formato de resultados de laboratorio de suelos.

	EVALUACION DEFLECTOMETRICA A NIVEL DE TRANSITABILIDAD		
	(VIGA BENKELMAN)		
Elaborado Por:		Aprobado por:	
xxxxxxxx		xxxxxxxx	

TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO PARA APLICACIONES DE LOS METODOS AASHTO-93 E INSTITUTO DEL ASFALTO EN LA REHABILITACION DE LA VIA CIRCUNVALACION SUR, PUNO 2021 **TIPO/COD. MUESTRA:** CAC - 001 / M-1
APLICACION: A NIVEL CARPETA ASFALTICA EN CALI
SOLICITANT: BACHILLER. VILLANUEVA FLORES JHONATAN MICHAEL **FECHA:** 18/02/2022
UBICACION: AVENIDA CIRCUNVALACION SUR UBICADO KM 00+000 A KM 01+300
MUESTRA: PLATAFORMA (CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE EXISTENTE)

Progresiva (km)	Lado	LECTURAS DEL PRIMER DIAL						LECTURA 2º DIAL	TEMPERATURAS		Espesor (cm)	Deflexiones Normalizadas		Radio curvatura Rc (m)
		L-0 0.01 mm	L-25 0.01 mm	L-50 0.01 mm	L-75 0.01 mm	L-100 0.01 mm	L-500 0.01 mm		L-25* 0.01 mm	Amb °C		Carp. °C	Dk0 (0.01 mm) 1 er. Dial	
		R=0	R=25	R=50	R=75	R=100	R=500							
1+300	Der.	0.0	5	9	13	15	20	11	12	13	---	80.0	44.0	87
1+200	Der.	0.0	2	4	6	9	14	9	13	14	---	56.0	36.0	156
1+100	Der.	0.0	3	5	6	11	32	22	11	13	---	128.0	88.0	78
1+000	Der.	0.0	4	3	5	9	14	10	10	12	---	56.0	40.0	195
0+900	Der.	0.0	15	25	29	34	47	36	11	14	---	188.0	144.0	71
0+800	Der.	0.0	4	7	11	13	31	25	11	13	---	124.0	100.0	130
0+700	Der.	0.0	3	4	6	10	17	8	12	14	---	68.0	32.0	87
0+600	Der.	0.0	6	8	12	16	29	23	13	15	---	116.0	92.0	130
0+500	Der.	0.0	1	2	4	5	13	10	13	15	---	52.0	40.0	260
0+400	Der.	0.0	2	5	7	10	27	23	13	14	---	108.0	92.0	195
0+300	Der.	0.0	5	6	8	9	12	8	11	14	---	48.0	32.0	195
0+200	Der.	0.0	10	14	18	29	38	28	13	14	---	152.0	112.0	78
0+100	Der.	0.0	13	17	21	27	36	26	12	15	---	144.0	104.0	78
0+000	Der.	0.0	3	5	7	9	12	10	11	16	---	48.0	40.0	391

ESPORES DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE (

CARPETA ASFALTICA	5 CM
BASE GRANULAR	20 CM
SUB BASE GRANULAR	20 CM

A. - DATOS ESTADISTICOS

DEFLEXION PROMEDIO	97.7	152.3
DESVIACION ESTANDAR	45.6	90.6
COEFICIENTE DE VARIACION	46.6	59.5
DEFLEXION MINIMA	48.0	71.0
DEFLEXION MAXIMA	188.0	390.6

B. - DEFLEXION CARACTERISTICA

$$D_c = D_p + 1.645 \times \delta$$

donde:

D_c: DEFLEXION CARACTERISTICA

D_p: DEFLEXION PROMEDIO

δ: DESVIACION ESTANDAR DE LAS DEFLEXIONES

$$D_c = 97.7 + 1.645 \times 45.6$$

$$D_c = 173 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

C. - DEFLEXION ADMISIBLE

$$D_a = 107.41 \times 10^{-2} \text{ mm}$$


CORPORACION ACS CONSULTORES S.A.C.
 ACTIVIDADES DE CONSTRUCCION Y SERVICIOS
 Arnulfo L. Fernandez Ortega
 Técnico de Laboratorio de Suelos,
 Concreto y Asfalto
 TÉCNICO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

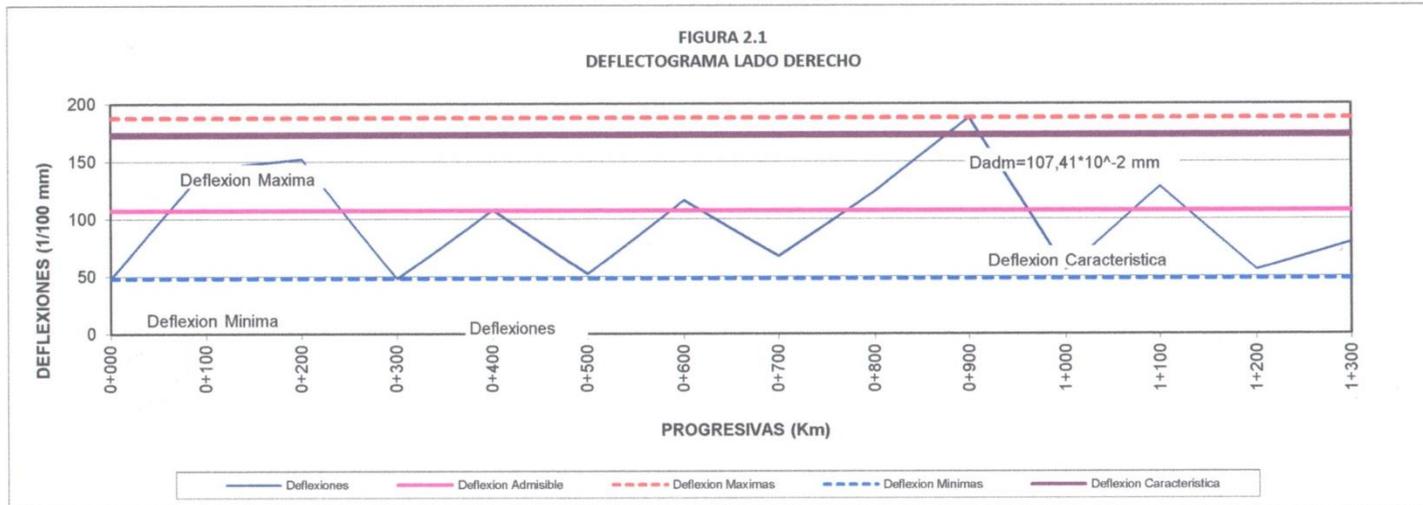



CORPORACION ACS CONSULTORES S.A.C.
 ACTIVIDADES DE CONSTRUCCION Y SERVICIOS
 Ing. Victor R. Chaguecota Serrano
 Jefe de Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
 CIP: 259821
 ESPECIALISTA DE SUELOS Y PAVIMENTOS



TRAMO km. 00+000 a Km. 01+300

A NIVEL DE CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE



CORPORACIÓN ACS CONSULTORES S.A.C.
ACTIVIDADES: CONSTRUCCIÓN Y SERVICIOS

Arnulfo L. Fernandez Ortega
Técnico de Laboratorio de Suelos,
Concreto y Asfalto

TÉCNICO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



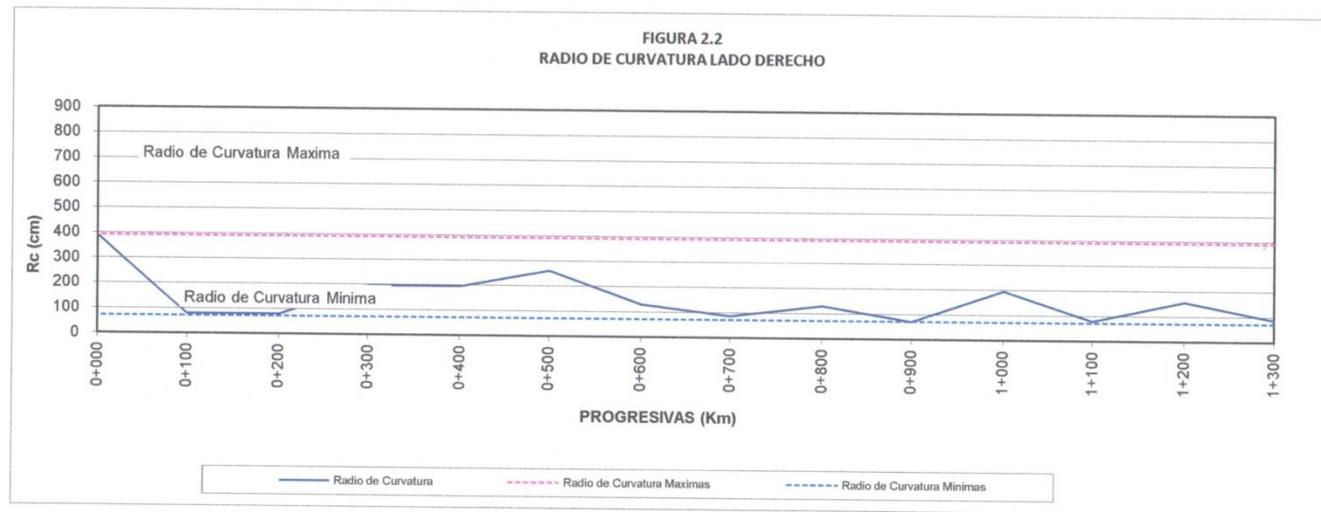
CORPORACIÓN ACS CONSULTORES S.A.C.
ACTIVIDADES: CONSTRUCCIÓN Y SERVICIOS

Ing. Victor R. Choquecota Serrano
Jefe de Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
CIP 259821

PERSONAL DEL ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD

	<p>TESIS : "ESTUDIO COMPARATIVO PARA APLICACIONES DE LOS METODOS AASHTO-93 E INSTITUTO DEL ASFALTO EN LA REHABILITACION DE LA VIA CIRCUNVALACION SUR, PUNO 2021"</p>	
	<p>TRAMO km. 00+000 a Km. 01+300</p>	

A NIVEL DE CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE



CORPORACIÓN ACS CONSULTORES S.A.C.
ACTIVIDADES: CONSTRUCCIÓN Y SERVICIOS

Armando E. Fernandez Ortega
Armando E. Fernandez Ortega
Técnico de Laboratorio de Suelos,
Concreto y Asfalto
TÉCNICO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



CORPORACIÓN ACS CONSULTORES S.A.C.
ACTIVIDADES: CONSTRUCCIÓN Y SERVICIOS

Ing. Victor B. Chocoma Serrano
Ing. Victor B. Chocoma Serrano
Jefe de Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
PERSONAL DEL ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD

	EVALUACION DEFLECTOMETRICA A NIVEL DE TRANSITABILIDAD		
	(VIGA BENKELMAN)		
	Elaborado Por: xxxxxxx	Aprobado por: xxxxxxx	

TESIS: ESTUDIO COMPARATIVO PARA APLICACIONES DE LOS METODOS AASHTO-93 E INSTITUTO DEL ASFALTO EN LA REHABILITACION DE LA VIA CIRCUNVALACION SUR, PUNO 2021
TIPO/COD. MUESTRA: CAC. - 001 / M-1
APLICACIÓN: A NIVEL CARPETA ASFALTICA EN CALI
SOLICITANTE: BACHILLER. VILLANUEVA FLORES JHONATAN MICHAEL
FECHA: 18/02/2022
UBICACIÓN: AVENIDA CIRCUNVALACION SUR UBICADO KM 00+000 A KM 01+300
MUESTRA: PLATAFORMA (CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE EXISTENTE)

Progresiva (Km)	Lado	LECTURAS DEL PRIMER DIAL						LECTURA 2° DIAL L-25° 0.01 mm	TEMPERATURAS		Espesor (cm)	Deflexiones Normalizadas		Radio curvatura Rc (m)
		L-0 0.01 mm R=0	L-25 0.01 mm R=25	L-50 0.01 mm R=50	L-75 0.01 mm R=75	L-100 0.01 mm R=100	L-500 0.01 mm R=500		Amb °C	Carp. °C		Dk0 (0.01 mm) 1 er. Dial	Dk25 (0.01 mm) 2 do. Dial	
		0+000	lzq.	0.0	10	12	25		26	27		24	12	
0+100	lzq.	0.0	3	5	8	11	12	10	13	15	---	48	40	391
0+200	lzq.	0.0	9	11	15	17	29	26	12	14	---	116	104	260
0+300	lzq.	0.0	7	10	12	14	16	14	11	13	---	64	56	391
0+400	lzq.	0.0	5	9	13	17	35	25	12	15	---	140	100	78
0+500	lzq.	0.0	10	15	19	21	23	20	13	14	---	92	80	260
0+600	lzq.	0.0	10	12	20	28	35	25	12	13	---	140	100	78
0+700	lzq.	0.0	2	5	7	14	15	12	11	12	---	60	48	260
0+800	lzq.	0.0	16	20	32	42	49	45	10	13	---	196	180	195
0+900	lzq.	0.0	12	15	17	23	37	30	14	16	---	148	120	112
1+000	lzq.	0.0	2	5	8	12	21	12	15	16	---	84	48	87
1+100	lzq.	0.0	15	17	24	35	37	27	14	15	---	148	108	78
1+200	lzq.	0.0	13	19	23	31	37	30	15	16	---	148	120	112
1+300	lzq.	0.0	15	18	25	29	33	23	14	14	---	132	92	78

ESPORES DE ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE (CM)

CARPETA ASFALTICA	5 CM
BASE GRANULAR	20 CM
SUB BASE GRANULAR	20 CM

A. - DATOS ESTADISTICOS

DEFLEXION PROMEDIO	116.0	188.6
DESVIACION ESTANDAR	42.1	115.5
COEFICIENTE DE VARIACION	36.3	61.2
DEFLEXION MINIMA	48.0	78.1
DEFLEXION MAXIMA	196.0	390.6

B.- DEFLEXION CARACTERISTICA

$$D_c = D_p + 1.645 \times \delta$$

donde:

D_c : DEFLEXION CARACTERISTICA

D_p : DEFLEXION PROMEDIO

δ : DESVIACION ESTANDAR DE LAS DEFLEXIONES

$$D_c = 116.0 + 1.645 \times 42.1$$

$$D_c = 185 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

C.- DEFLEXION ADMISIBLE

$$D_a = 112 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

CORPORACIÓN ACS CONSULTORES S.A.C.
ACTIVIDADES: CONSTRUCCIÓN Y SERVICIOS

Arnulfo L. Fernandez Ortega
Técnico de Laboratorio de Suelos,
COPESCAL 2550014
TECNICO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

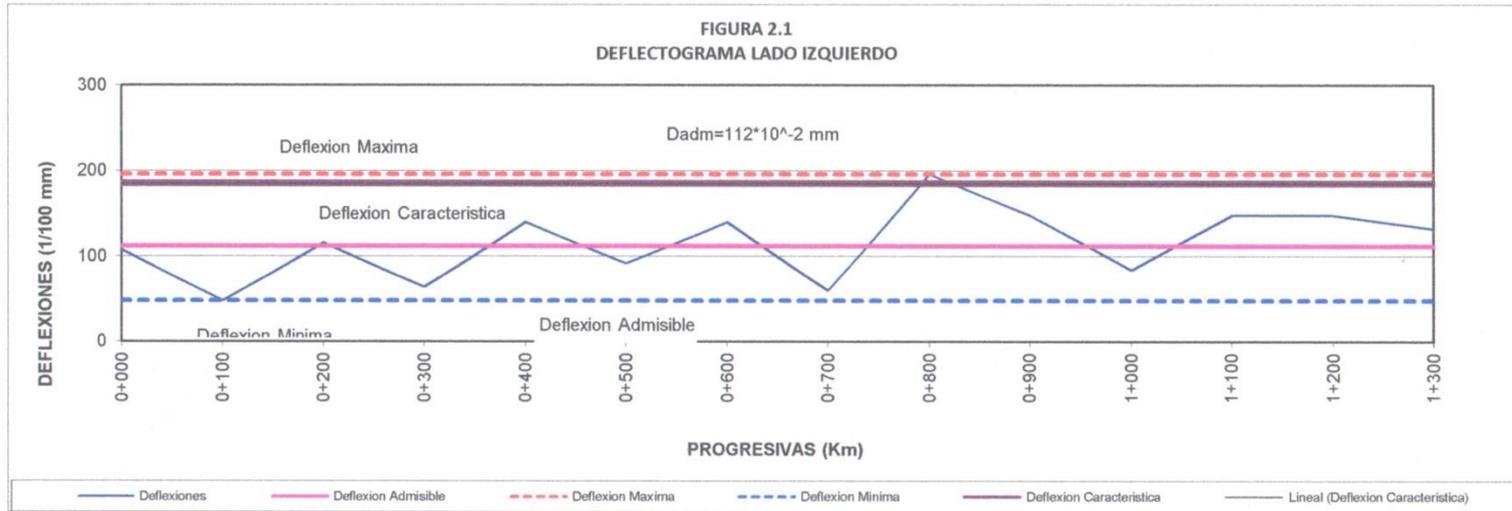


CORPORACIÓN ACS CONSULTORES S.A.C.
ACTIVIDADES: CONSTRUCCIÓN Y SERVICIOS

Ing. Victor R. Choquecota Serrano
Jefe de Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
C.I.P. 2550014

ESPECIALISTA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

A NIVEL DE CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE



CORPORACIÓN ACS CONSULTORES S.A.C.
ACTIVIDADES, CONSTRUCCIÓN Y SERVICIOS

Arnulfo L. Fernandez Ortega
Técnico de Laboratorio de Suelos,
Concreto y Asfalto

TÉCNICO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



CORPORACIÓN ACS CONSULTORES S.A.C.
ACTIVIDADES, CONSTRUCCIÓN Y SERVICIOS

Ing. Víctor H. Choquecota Serrano
Jefe de Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
CIP. 258821

PERSONAL DEL ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD



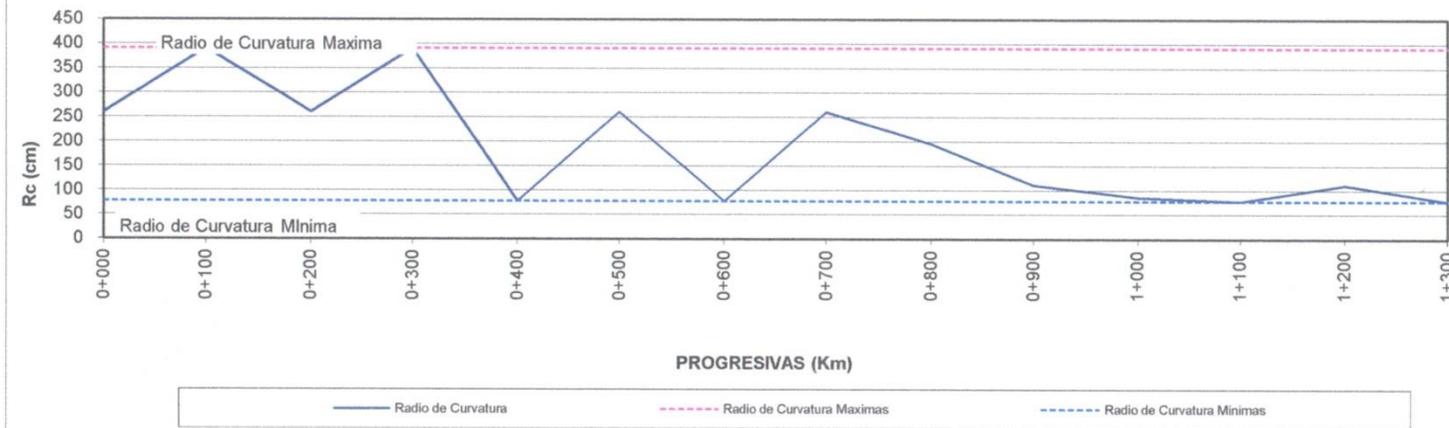
TESIS : "ESTUDIO COMPARATIVO PARA APLICACIONES DE LOS METODOS AASHTO-93 E INSTITUTO DEL ASFALTO EN LA REHABILITACION DE LA VIA CIRCUNVALACION SUR, PUNO 2021"

TRAMO km 00+000 a km 01+300



A NIVEL DE CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE

FIGURA 2.2
RADIO DE CURVATURA LADO IZQUIERDO



CORPORACIÓN ACS CONSULTORES S.A.C.
ACTIVIDADES: CONSTRUCCION Y SERVICIOS

Arturo L. Fernandez Ortega
Técnico de Laboratorio de Suelos,
Concreto y Asfalto

TÉCNICO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



CORPORACIÓN ACS CONSULTORES S.A.C.
ACTIVIDADES: CONSTRUCCION Y SERVICIOS

Ing. Victor R. Choquecota Serrano
Jefe de Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
CIP: 250821

PERSONAL DEL ÁREA DE CONTROL DE CALIDAD

ANEXO 08. Certificado de calibración de equipo


JMR EQUIPOS S.A.C.
 Equipos para Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN CON TRAZABILIDAD AL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° V0621010

Expediente : N° 0178-2021 Página 1 de 3
 Fecha de Emisión : 2021-11-19

1. SOLICITANTE : CORPORACION ACS CONSULTORES SAC El equipo de medición especificado en este documento ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la dirección de Metrología del INACAL y otros.

DIRECCIÓN : JR. BENJAMIN PACHECO VARGAS N° 122 - PUNO Los resultados sólo están relacionados con los items calibrados y son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

2. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : Viga Benkelman

Marca : PALIO
 Modelo : PE2021.1
 Número de Serie : 0621010
 Relación de Pivote : 4:1
 Tipo : Doble Brazo
 Procedencia : PERÚ
 Identificación : 0621010
 Ubicación : Instalaciones de JMR EQUIPOS S.A.C.

3. LUGAR Y FECHA DE CALIBRACIÓN

Fecha : 2021-11-19
 Lugar : Laboratorio de JMR EQUIPOS S.A.C.

4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Se determinó el error de indicación de los Diales por comparación con nuestro Patrón Digital. Se aplicaron tres series de medición al dial mediante el mismo mecanismo de desplazamiento. En cada serie se registraron las lecturas correspondientes.

5. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	20.1	21.1
Humedad Relativa (%)	71	70

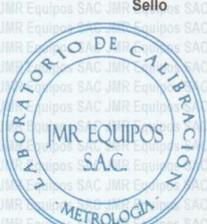
6. TRAZABILIDAD

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
METROSYSTEMS S.R.L.	Comparador de Cuadrante Digital	MS-0053-2021
METROIL S.A.C.	Flexómetro (Wincha)	L-1269-2021
JMR EQUIPOS S.A.C	Termohigrómetro	L1021056

7. OBSERVACIONES

No presenta ninguna observación



Sello Laboratorio de Metrología



Ing. GIANMARCO ANDRE MESTAS PIZANGO
 CIP: 256285
 JEFE DE LABORATORIO

FEI-06
Rev00
Elaborado:AJPM
Revisado:GAMP
Aprobado:PFSP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA
 Tel.: 300 0230 / 562 8972 Cel.: 989 589 974 / E-mail: servicios@jmrequipos.com, ventas@jmrequipos.com / Web: jmrequipos.com

PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO



JMR EQUIPOS S.A.C.
Equipos para Laboratorio
de Suelos, Concreto y Asfalto

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN CON
TRAZABILIDAD AL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL**

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° V0621010

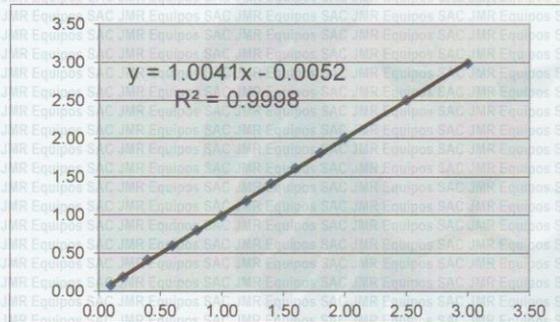
Página 2 de 3

8. RESULTADO DE MEDICIÓN

TABLA N° 01 - BRAZO 1 (LARGO)

DIAL COMPARADOR	SERIES DE VERIFICACIÓN RELACION DE BRAZO 1:4			PROMEDIO	LECTURA RELACION 4:1 C = (A*4)
	Serie (1)	Serie (2)	Serie (3)		
mm	mm	mm	mm	"A" mm	mm
0.10	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08
0.20	0.05	0.05	0.04	0.05	0.19
0.40	0.11	0.10	0.10	0.10	0.41
0.60	0.15	0.15	0.15	0.15	0.60
0.80	0.21	0.19	0.20	0.20	0.80
1.00	0.25	0.24	0.25	0.25	0.99
1.20	0.30	0.29	0.30	0.30	1.19
1.40	0.35	0.35	0.36	0.35	1.41
1.60	0.40	0.41	0.40	0.40	1.61
1.80	0.46	0.45	0.45	0.45	1.81
2.00	0.51	0.5	0.5	0.50	2.01
2.50	0.63	0.62	0.63	0.63	2.51
3.00	0.75	0.74	0.75	0.75	2.99

GRAFICO N° 01



NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

- 1.- La Calibración se hizo según el Método C de la norma ASTM E4-01.
- 2.- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:
 $Ep = ((A-B) / B) * 100$
 $Rp = Error(2) - Error(1)$
- 3.- La norma exige que Ep y Rp no excedan el $\pm 1.0\%$.

Coefficiente Correlación:

$R^2 = 0.9998$

Ecuación de ajuste:

$y = 1.0041x - 0.0052$

x: Lectura del Dial (mm)

y: Cálculo de la Flexión (mm)

L. Dial Viga	L. Corregida						
mm	(y) mm						
0.1	0.4	0.6	2.4	1.1	4.4	1.6	6.4
0.2	0.8	0.7	2.8	1.2	4.8	1.7	6.8
0.3	1.2	0.8	3.2	1.3	5.2	1.8	7.2
0.4	1.6	0.9	3.6	1.4	5.6	1.9	7.6
0.5	2.0	1.0	4.0	1.5	6.0	2.0	8.0

L = Lectura

Sello

Laboratorio de Metrología



JMR EQUIPOS S.A.C.
Ing. PAUL FAVIO SUZUA PIZANGO
JEFE LABORATORIO METROLOGIA



JMR EQUIPOS S.A.C.
Ing. GIANMARCO ANDRE
MESTAS PIZANGO
CIP: 256285
JEFE DE LABORATORIO

FEI-06

Rev00

Elaborado:AJPM

Revisado:GAMP

Aprovado:PFSP

Tel.: 300 0230 / 562 8972 Cel.: 989 589 974 / E-mail: servicios@jmrequipos.com, ventas@jmrequipos.com / Web: jmrequipos.com

PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO



JMR EQUIPOS S.A.C.
Equipos para Laboratorio
de Suelos, Concreto y Asfalto

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN CON
TRAZABILIDAD AL ORGANISMO PERUANO
DE ACREDITACIÓN INACAL**

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° V0621010

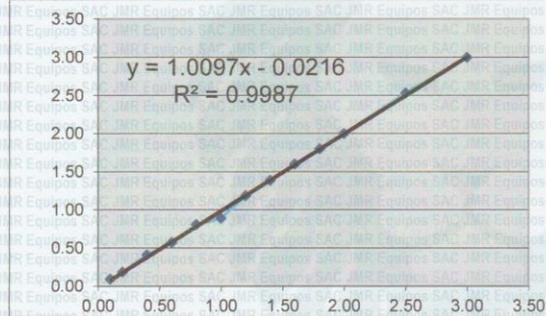
Página 3 de 3

8.1 RESULTADO DE MEDICIÓN

TABLA N° 02 - BRAZO 2 (CORTO)

DIAL COMPARADOR	SERIES DE VERIFICACIÓN RELACION DE BRAZO 1:4			PROMEDIO "A"	LECTURA RELACION 4:1 C = (A*4)
	Serie (1)	Serie (2)	Serie (2)		
mm	mm	mm	mm	mm	mm
0.10	0.01	0.03	0.03	0.02	0.09
0.20	0.04	0.05	0.05	0.05	0.19
0.40	0.10	0.11	0.10	0.10	0.41
0.60	0.14	0.14	0.15	0.14	0.57
0.80	0.21	0.20	0.20	0.20	0.81
1.00	0.22	0.23	0.22	0.22	0.89
1.20	0.30	0.30	0.29	0.30	1.19
1.40	0.35	0.35	0.34	0.35	1.39
1.60	0.40	0.40	0.40	0.40	1.60
1.80	0.45	0.45	0.45	0.45	1.80
2.00	0.5	0.5	0.5	0.50	2.00
2.50	0.63	0.63	0.64	0.63	2.53
3.00	0.75	0.75	0.75	0.75	3.00

GRAFICO N° 02



NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

- La Calibración se hizo según el Método C de la norma ASTM E4-01.
- Ep y Rp son del Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:

$$Ep = ((A-B) / B) * 100$$

$$Rp = Error(2) - Error(1)$$
- La norma exige que Ep y Rp no excedan el $\pm 1.0\%$.

Coefficiente Correlación:

$$R^2 = 0.9987$$

Ecuación de ajuste:

$$y = 1.0097x - 0.0216$$

x : Lectura del Dial (mm)

y : Cálculo de la Flexión (mm)

L. Dial Viga	L. Corregida (y) mm	L. Dial Viga	L. Corregida (y) mm	L. Dial Viga	L. Corregida (y) mm	L. Dial Viga	L. Corregida (y) mm
0.1	0.3	0.6	2.3	1.1	4.4	1.6	6.4
0.2	0.7	0.7	2.7	1.2	4.8	1.7	6.8
0.3	1.1	0.8	3.2	1.3	5.2	1.8	7.2
0.4	1.5	0.9	3.6	1.4	5.6	1.9	7.6
0.5	1.9	1.0	4.0	1.5	6.0	2.0	8.0

L = Lectura

Sello

Laboratorio de Metrología



JMR EQUIPOS SAC
Tto. PAUL FAVIO SUZUA PIZANGO
JEFE LABORATORIO METROLOGÍA



JMR EQUIPOS S.A.C.
Ing. GIANMARCO ANDRE
MESTAS PIZANGO
CIP: 256285
JEFE DE LABORATORIO

FEI-06

Rev00

Elaborado:AJPM

Revisado:GAMP

Aprobado:PFSP

DIRECCIÓN FISCAL: CAL. JANGAS N° 628, BREÑA – LIMA – LIMA
Tel.: 300 0230 / 562 8972 Cel.: 989 589 974 / E-mail: servicios@jmrequipos.com, ventas@jmrequipos.com / Web: jmrequipos.com

PROHIBIDO LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO