



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Evaluación estructural por deflectometría e IRI para determinar la vida remanente del pavimento flexible en la av. Circunvalación - Puno, 2021”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTORES:

MAMANI ARCATA, Sutner Magaly ([ORCID: 0000-0001-8782-2071](https://orcid.org/0000-0001-8782-2071))

PILCO CHURA, William Cesar ([ORCID: 0000-0002-4231-9058](https://orcid.org/0000-0002-4231-9058))

ASESOR:

Mg. Ing. SINCHE ROSILLO, Fredy Marco ([ORCID: 0000-0002-3313-9530](https://orcid.org/0000-0002-3313-9530))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de infraestructura vial

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A Dios por iluminarme y permitirme culminar con éxito mis estudios. A mis padres Roberto y Julia por haberme enseñado que los objetivos se logran con dedicación y esfuerzo permanente, también a mi hermanita Kelly, por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindan a lo largo de esta etapa de mi vida.

Sutner Magaly Mamani Arcata

A nuestro señor padre todo poderoso Dios, por iluminarme y permitirme terminar con mis estudios académicos.

A mi padre Francisco y madre Blanca, por haberme inculcado que con esfuerzo y dedicación se puede cumplir las metas trazadas, quien con su esfuerzo e inmenso amor me brindó la oportunidad de ser profesional.

William Cesar Pilco Chura

Agradecimiento

Primeramente, agradecer a Dios por habernos brindado la noción de la sabiduría y fortaleza para lograr nuestras metas trazadas en nuestras vidas.

A la subcomisión de jurados calificadores de la Universidad Cesar Vallejo, por sus acertadas recomendaciones y sugerencias en la elaboración del proyecto de investigación.

Al asesor Mgtr. Ing. Fredy Marco por guiarnos y brindado sus conocimientos en la enseñanza de la elaboración de tesis.

Al Mgtr. Ing. Alfredo Alarcón Atahuachi, por sus recomendaciones y sugerencias durante el desarrollo de la presente investigación.

Por último, agradecer encarecidamente a todos nuestros amigos y familiares por apoyarnos en los trabajos realizados en el campo in – situ.

Índice de contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vii
Resumen	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA	34
3.1 Tipo y diseño de investigación	34
3.2 Variables y operacionalización.....	35
3.3 Población, muestra y muestreo.....	36
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	37
3.5 Procedimientos	38
3.6 Método de análisis de datos	40
3.7 Aspectos éticos.....	40
IV. RESULTADOS.....	41
V. DISCUSIÓN	64
VI. CONCLUSIONES	67
VII. RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS	69
ANEXOS.....	72

Índice de tablas

Tabla 1.	Escala del IRI.....	14
Tabla 2.	Colocación de los instrumentos de viga.....	17
Tabla 3.	Característica del pavimento de acuerdo al tipo de deflexión y su Rc..	19
Tabla 4.	Coeficiente de corrección R5.....	19
Tabla 5.	Coeficiente de L0.....	20
Tabla 6.	Tipos de mantenimiento.....	23
Tabla 7.	Ejes equivalentes en condiciones su carga de ejes.....	25
Tabla 8.	Factores direccional y factor carril.....	25
Tabla 9.	Esquema de conservación para caminos con sellos asfálticos.....	33
Tabla 10.	Validación de instrumento.....	37
Tabla 11.	Resumen de los tipos de vehículos.....	42
Tabla 12.	Resultados de IMDs de vehículos livianos.....	43
Tabla 13.	Resultados de IMDs de vehículos pesados.....	43
Tabla 14.	Resultados del IMDa de vehículos livianos.....	45
Tabla 15.	Resultados del IMDa de vehículos pesados.....	45
Tabla 16.	Cuadro de factores del IMDa.....	46
Tabla 17.	Calculo del ESAL actual del pavimento.....	47
Tabla 18.	Análisis de vida remanente del pavimento.....	48
Tabla 19.	Análisis granulométrico de lavado asfáltico.....	49
Tabla 20.	Recolección del carril derecho.....	51
Tabla 21.	Resumen del cálculo de IRI de los carriles.....	53
Tabla 22.	Recolección de resultados en campo.....	55
Tabla 23.	Calculo de la deflexión característica.....	56
Tabla 24.	Deflexiones del carril derecho.....	57

Tabla 25.	Ejes equivalentes Proyectado.....	58
Tabla 26.	Resumen del refuerzo estructural asfáltico	61
Tabla 27.	Coeficientes de variaciones en relación de los resultados.	63

Índice de gráficos y figuras

Figura 1.	Sección de pavimentos flexibles	7
Figura 2.	Sección del pavimento rígido.	7
Figura 3.	Sección del pavimento articulado.	8
Figura 4.	Sección del pavimento Semirrígido.....	8
Figura 5.	Seccion transversal de una carretera	8
Figura 6.	Ciclo de vida remanente.	11
Figura 7.	Ciclo de vida progresivo de los pavimentos	12
Figura 8.	Partes del equipo de Merlín.	13
Figura 9.	Curvas de deflexiones	15
Figura 10.	partes de la viga benkelman	16
Figura 11.	Parámetros del principio de operación del equipo de Deflectometria	16
Figura 12.	Tipos de rehabilitación.	28
Figura 13.	Localización de la investigación.....	41
Figura 14.	Parámetros de condición del IRI	54

Resumen

La investigación tuvo como objetivo principal determinar la vida remanente del pavimento flexible con los métodos de Viga Benkelman e IRI, la vida remanente del pavimento flexible calculada es 9 años con un ESAL de 2706554.4 de ejes equivalentes de 8,2 ton, la investigación fue de tipo aplicada, diseño cuasi experimental, la población es av. Circunvalación - Puno de 5.0 km, mientras la muestra es 2.0 km desde el km 0+740 hasta el km 2+740. El resultado de IRI es 4.14 m/km, por lo que se interpreta que el pavimento pertenece a pavimentos envejecidos. Por otro lado, de acuerdo al ESAL de diseño el cálculo de la deflexión admisible que es de 80×10^{-2} mm, mientras la deflexión calculada por el carril derecho fue de 130×10^{-2} mm y el carril izquierdo es de 129×10^{-2} mm, por lo que se puede interpretar que el pavimento se encuentra en condiciones fatigadas, debido a que las deflexiones de la Viga Benkelman son mayores a la deflexión admisible. Por último, de acuerdo al análisis de la superficie y estructura del pavimento, el mantenimiento periódico es el adecuado con un espesor de 3.5 cm debido a que ya está cumpliendo su periodo de vida nuestro pavimento.

Palabras Clave: Vida Remanente, Índice de Regularidad Internacional, Deflectometría, mantenimiento.

Abstract

The main objective of the investigation was to determine the remaining life of the flexible pavement with the Benkelman Beam and IRI methods, the remaining life of the flexible pavement calculated is 9 years with an ESAL of 2706554.4 of equivalent axes of 8.2 tons, the investigation was of applied type, quasi-experimental design, population is av. Circunvalación - Puno of 5.0 km, while the sample is 2.0 km from km 0 + 740 to km 2 + 740. The IRI result is 4.14 m / km, so it is interpreted that the pavement belongs to aged pavements. On the other hand, according to the ESAL design, the calculation of the admissible deflection, which is $[80 \times 10]^{-2}$ mm, while the deflection calculated by the right rail was $[130 \times 10]^{-2}$ mm and the left lane is $[129 \times 10]^{-2}$ mm, so it can be interpreted that the pavement is in fatigued conditions, because the deflections of the Benkelman Beam are greater than the deflection admissible. Finally, according to the analysis of the surface and structure of the pavement, periodic maintenance is adequate with a thickness of 3.5 cm because our pavement is already reaching its life span.

Keywords: Remaining Life, International Regularity Index, Deflectometry, maintenance.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad todas las obras de carreteras presentan vital importancia en el desarrollo del país, siendo así que las carreteras presentan desgastes físicos y estructurales producto de la transitabilidad de los vehículos o cumplido su vida útil del pavimento flexible. Las fallas que presentan estos pavimentos se producen por infinidad de factores tales como la meteorización del material asfáltico, mal diseño del pavimento, falta de supervisión en procesos constructivos, no adecuado el sistema de drenaje y por último los factores climáticos.

Los pavimentos flexibles que existen en la Ciudad Puno, en mayoría se encuentran deterioradas por que se muestran con frecuencias de fallas superficiales como fisuras, grietas, hundimientos y bacheos el cual repercute en el desplazamiento vehicular.

De acuerdo con el tiempo todo pavimento tiende a fallar porque tiene un periodo de diseño acumulable, durante el proceso de su periodo de vida la carpeta asfáltica tiende a deteriorarse, producto del deterioro las entidades del estado tienen la función de hacer los mantenimientos.

Cuando la carpeta de rodadura sufre daños estructurales se produce deficiencias respecto al desplazamiento del tráfico vehicular, así mismo se producen riesgos de accidentes. Las evaluaciones periódicas de los pavimentos son muy importantes en la duración de su periodo de vida útil, de acuerdo a dichas evaluaciones se puede determinar su condición superficial o estructural.

Producto de la problemática que se tiene, la presente investigación plantea los problemas siguientes:

Problema general

¿Cuál será la vida remanente del pavimento flexible en la av. Circunvalación utilizando la evaluación estructural por Deflectometría e IRI, en la Ciudad de Puno, 2021?

Problemas específicos

¿Cuál es el estado superficial del pavimento flexible aplicando el IRI en la determinación de la vida remanente de la avenida Circunvalación?

¿Cuál es la condición estructural del pavimento flexible empleando la Deflectometría en la avenida Circunvalación, Puno?

¿Qué tipo de mantenimiento es el adecuado para el pavimento flexible en la optimización de la vida remanente de la avenida Circunvalación?

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Determinar la vida remanente del pavimento flexible utilizando la evaluación estructural mediante Deflectometría e IRI en la av. Circunvalación, 2021.

Objetivos específicos

Evaluar el estado superficial del pavimento flexible aplicando el IRI en la determinación de la vida remanente de la avenida circunvalación.

Evaluar la condición estructural del pavimento flexible mediante Deflectometría en la avenida Circunvalación, Puno.

Seleccionar el tipo de mantenimiento adecuado para optimizar la vida remanente del pavimento flexible en la avenida Circunvalación

Justificación del estudio

Justificación técnica

Desde el punto de vista el avance vertiginoso este proyecto de tesis se justifica porque las metodologías que se aplicó en la evaluación del pavimento flexible aporta a verificar las deflexiones máximas y los niveles de serviciabilidad de vía existente en cuyos resultados son cumplidos en base a la norma MTC 2013.

Justificación económica

Los pavimentos flexibles son utilizados en zonas de mayor abundancia de tráfico y esto hace que el desgaste sea mayor, el mantenimiento de las vías económicamente es mucho mayor al de su construcción. La vía actual necesita un mantenimiento periódico y rutinario para cuidar la carpeta asfáltica.

Justificación social

La investigación permite que al evaluar el pavimento flexible brinda un bienestar común en el aspecto social a fin de que los estudios realizados en campo corroboren la realidad del estado del pavimento.

Hipótesis

Hipótesis general

La evaluación estructural mediante la Deflectometría e IRI permitirá determinar la vida remanente del pavimento en la av. Circunvalación de la Ciudad de Puno,2021.

Hipótesis específicos

La evaluación del estado superficial mediante el IRI determinara la vida remanente del pavimento flexible en la av. Circunvalación.

La evaluación estructural mediante la Deflectometría permitirá dimensionar la vida remanente del pavimento flexible en la av. Circunvalación.

El tipo de mantenimiento adecuado es el periódico para optimizar la vida remanente del pavimento flexible en av. Circunvalación.

II. MARCO TEÓRICO

Antecedentes de la investigación

Antecedentes Internacionales

Cabrera M. (2013), según su tesina denominada “Evaluación, Análisis y Determinación de la Vida Remanente mediante la Auscultación con el Ground Penetrating Radar (GPR) en la carretera Nuevo Laredo – CD Acuña” presentada en la Universidad Nacional Autónoma de México. Tuvo como finalidad determinar las condiciones funcionales y estructurales. En la carretera Nuevo Laredo – Ciudad Acuña.

Obteniéndose los resultados de los tres tramos su vida útil en la cual en el primer tramo su vida es de 5 años, segunda 2 años y tercera 2.9 años, lo cual indica que hay diferencias de sus módulos de elasticidad, en base a estos datos se proyecta para los futuros rehabilitaciones y mantenimientos.

Garcés (2017), según la tesis denominada “Evaluación Vial y Plan de Rehabilitación y Mantenimiento de la Vía Azogues – Cojitambo – Deleg – La Raya” presentada en la Universidad de Cuenca, en esta tesis identificó las fallas en la carretera con una metodología para incrementar la vida útil.

Llegando a la conclusión de que la carretera presenta fallas de piel de cocodrilo, fisuras, hundimientos y baches, en la cual se comportó con una medida del índice de condición del pavimento de 4, lo cual indica de calidad MALO, lo cual indica el cumplimiento de su vida útil.

Ríos et al (2020), según la revista denominada “Revisión de Métodos para la Clasificación de Fallas Superficiales en Pavimentos Flexibles” presentada en la Universidad del Valle, esta revista identifico los métodos y los aportes de investigaciones de pavimentos flexibles. Llegando a la conclusión que se puede detectar varias fallas con experiencia de los ingenieros, encontrando así fisuras y baches.

(Carrasco Cantos & Vizhñay Reyes, 2019), según su tesis denominada “Evaluación estructural vial para Azogues mediante el análisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman” presentada en la universidad de Cuenca, en esta tesis se tuvo como objetivo determinar su condición estructural de la vía, si es necesario hacer un refuerzo estructural, por ello usaron las mediciones de la metodología viga Benkelman. Analizando los resultados se llegó a la siguiente conclusión, que sus calzadas analizadas en de norte a sur y viceversa, el carril derecho no necesita un refuerzo porque su estructura puede soportar grandes cargas, mientras en carril izquierdo si necesita un refuerzo estructural y por ello necesita un refuerzo de 2 pulgadas, de acuerdo al periodo de diseño planteado de 20 años.

Antecedentes Nacionales

Sullca (2017), presento en la Universidad Nacional de Huancavelica la tesis “Evaluación De La Capacidad Estructural Y Funcional Del Pavimento Según La Norma Peruana De Pavimentos, Durante El Proceso De Construcción Carretera Huancavelica – Lircay, Periodo 2016” la presente tesis de investigación tiene como finalidad determinar con los métodos de Viga Benkelman y IRI en la verificación de los procesos de construcción basándose en las normas peruanas en el tramo Huancavelica – Lircay. Para la determinación del nivel del estado de la carpeta asfáltica, Basándose en la Norma peruana de pavimentos, EG-2013, siguiendo el procedimiento especificado, Una vez realizado el levantamiento de información en campo, se registró la deflexión promedio $D_{car} = 51,00 \text{ mm}/100$ y IRI promedio 1,39 m/km, en lo cual indica que el pavimento flexible debido a la evolución se determina que está en un buen estado y buenas condiciones.

Gamarra et al (2018), Presentaron en la Universidad Cesar Vallejo la tesis denominada “Evaluación Del Diseño Estructural Para Optimizar La Vida Útil Del Pavimento Flexible Lado Aire Del Aeropuerto De Ilo, Moquegua 2018”, donde se tiene como finalidad evaluar la vida útil del estado del pavimento considerando alternativas solución en términos de composición estructural y serviciabilidad, por ende se realizó la evaluación estructural por componentes mediante la ejecución de

sondeos y ensayos de laboratorio. Al realizar el estudio del pavimento flexible, se concluyó que las evaluaciones del pavimento en base a su composición estructural y serviciabilidad influyen demasiado.

Mallma, (2018) En su tesis “Evaluación De La Carpeta Asfáltica Del Pavimento Flexible Aplicando El Método Índice De Condición Del Pavimento” presentada en la Universidad Peruana los Andes, teniendo como objetivo, definir las causa que generan el deterioro (fallas y nivel de severidad) en la estructura de la carpeta asfáltica, esta investigación tiene una muestra de estudio de la avenida Martínez del periodismo – San Carlos que tiene en su totalidad de 22 cuadras partiendo del pasaje aurora a la altura de la I.E. Santa Isabel. Donde en esta muestra se evaluará el estado actual de la carpeta asfáltica existente. Una vez realizada dicha evaluación, concluyeron que la condición del pavimento es del 53.10% clasificando en un estado regular lo cual Indica que el estado del pavimento se encuentra en mal estado en la que podría traer accidentes de tránsito. Dándose como recomendación realizar la intervención el mantenimiento rutinario y periódico.

Base teórica

Pavimento (Vivar R, 1995)

Los pavimentos están formados por varias capas de espesores y calidades diferentes, están constituidos por un elemento estructural monocapa o multicapa, durante un periodo de tiempo predeterminado se coloca en terrenos mejorados para soportar las capas existentes.

Según la norma AASHTO, indica que existen varias perspectivas estructurales el primero es el punto de vista desde los ingenieros y la segunda punto de vista de los usuarios, las estructuras de los pavimentos están sometidas a cargas vehiculares. Estas capas estructurales están calculados y diseñados para soportar las diferentes cargas durante su tiempo de vida útil. Para la población los pavimentos deberán tener calidad de servicio y ser seguros, cómodos cuando se transporten sobre ella.

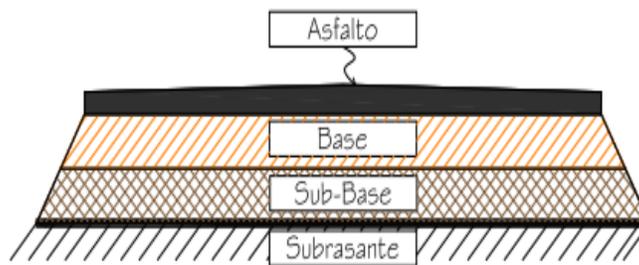
El pavimento tiene por objetivo de cumplir con la resistencia de la carga a soportar, esfuerzos cortantes y condiciones climáticas, ocurridos con el paso del tiempo. También es necesario tomar en cuenta que el diseño geométrico de carreteras tiene por objetivo garantizar el correcto funcionamiento de un pavimento, entonces es necesario tomar en cuenta las condiciones de diseño y drenajes para garantizar el correcto funcionamiento de un pavimento.

Clasificación de los pavimentos

Se clasifican en varios tipos, tales como se describe a continuación:

Pavimento Flexible: Está conformada por distintas capas granulares que actúan como capas filtrantes para el soporte de la carpeta asfáltica, el pavimento flexible es la primera capa que absorbe las cargas vehiculares, teniendo periodos de vida entre los 10 a años.

Figura 1. Sección de pavimentos flexibles



Fuente: Pavimento flexible (Armijo, 2009)

Pavimentos Rígidos: Está conformado por dos capas llamadas sub rasante y base, en la cual en estas capas está apoyada el cemento hidráulico actúa como superficie de rodadura.

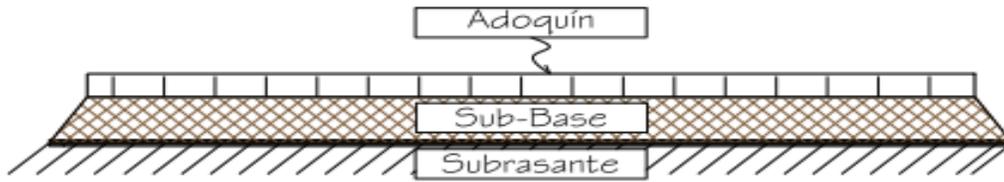
Figura 2. Sección del pavimento rígido.



Fuente: (Armijo, 2009)

Pavimento Articulado: Está conformado por capas filtrantes como la capa granular o sub rasante y sobre una capa de arena gradada en la cual absorberá la capa de rodadura como los bloques de concreto y adoquines.

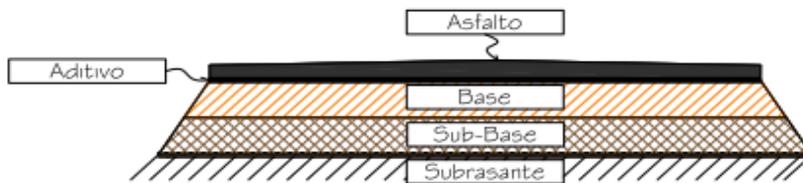
Figura 3. Sección del pavimento articulado.



Fuente:(Armijo, 2009)

Pavimento Semi – Rígido: Es una estructura compuesta por capas, en las que la capa inferior actúa de soporte, luego está la capa mejorada con cemento y por último esta la carpeta de rodadura de concreto asfáltico, en el cual este tipo de pavimentos semirrígidos se incluyeron en los pavimentos adoquinados.

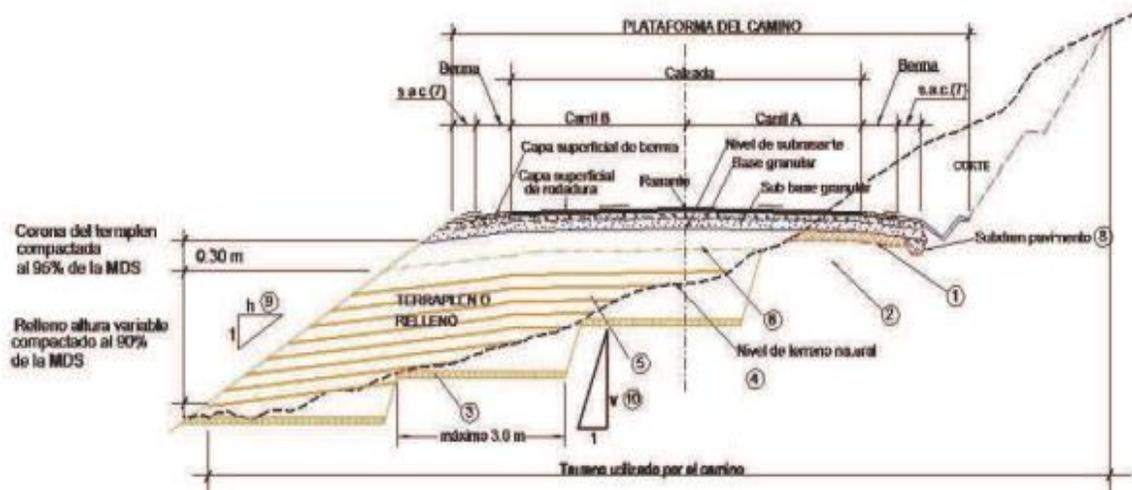
Figura 4. Sección del pavimento Semirrígido.



Fuente: Pavimento Semirrígidos (Armijo, 2009)

Todo pavimento está compuesto por diferentes capas en su estructura, en especial el pavimento flexible tiene capas interiores como son:

Figura 5. Sección transversal de una carretera



Fuente: Infraestructura del camino (MTC, 2016)

Sub Rasante: Esta capa se encuentra en la plataforma del terreno natural, para conformar en esta capa el suelo natural tendrá un CBR igual o mayor al 6, según lo especificado en la norma MTC, si en caso el CBR es inferior se necesitará distintos mejoramientos para el soporte de las capas superiores.

Sub – Base: Esta capa es la más importante en la infraestructura vial porque actúa como capa drenaje, dicha capa soporta también las capas superiores como el estrato de base y la carpeta asfáltica, el material según la cantera es seleccionada y granular con un CBR mayor o igual al 40%, según norma.

Base Granular: Esta capa se encuentra por encima de la capa de sub base y por debajo de la carpeta asfáltica, su principal función es soportar la carpeta asfáltica, por lo que esta capa debe cumplir con los parámetros del CBR mayores o igual al 80 % según las especificados en la norma MTC.

Carpeta Asfáltica: Esta es la capa más importante en el transitabilidad de los vehículos lo cual se llama también pavimento flexible, la capa en mención es de tipo bituminoso con características a la fricción y absorber el ruido vehicular.

Evaluación del pavimento flexible.

Según Medina y Cruz (2015), menciona que las evaluaciones de los pavimentos tienen la finalidad de verificar el estado en el que se encuentra la superficie y su

estructura, así mismo la evaluación estudia el deterioro de forma temprana para establecer las medidas correctivas y preventivas para de esta manera se pueda optar medidas necesarias con respecto a su comportamiento adecuado.

Vida remanente del pavimento flexible

Gary et al. (2013), la vida remanente del pavimento restante es utilizada en la gestión de pavimentos para verificar la condición del estado actual del pavimento. Los pavimentos se componen de partes estructurales interrelacionadas que se pueden mantener, conservar, restaurar, rehabilitar o reconstruir para satisfacer las necesidades del transporte terrestre. La vida remanente del pavimento proporciona el costo de ciclo de vida, análisis de riesgos y enfoques basados en los futuros eventos de construcción y beneficios en las carreteras.

Características de la vida remanente.

Gary et al. (2013), para predecir la vida útil restante de un pavimento se debe conocer la condición futura de los segmentos del pavimento, para minimizar los costos en mantenimientos; las técnicas para el mejoramiento de conservación requieren estar dentro de los marcos del tiempo, en las cuales esas técnicas que predicen son:

- Las estructuras del pavimento todavía están en condiciones aceptables, dicha alternativa de no hacer nada donde no se necesita hacer la construcción de carreteras dentro de la planificación.
- Los mantenimientos rutinarios para corregir las deficiencias existentes en la carretera.
- Las actividades de mantenimiento preventivo y conservación para extender la vida útil del pavimento sin cambios estructurales, antes de que requieran tratamientos de mantenimiento.
- La aplicación de tratamiento y rehabilitación.
- Reconstrucción del pavimento existente.

Modelo de la vida remanente

En el diseño de pavimentos las curvas de rendimiento se utilizan para la gestión en ella (Gary et al, 2013), Por lo tanto, pueden utilizarse los modelos basados en ecuaciones como los siguientes:

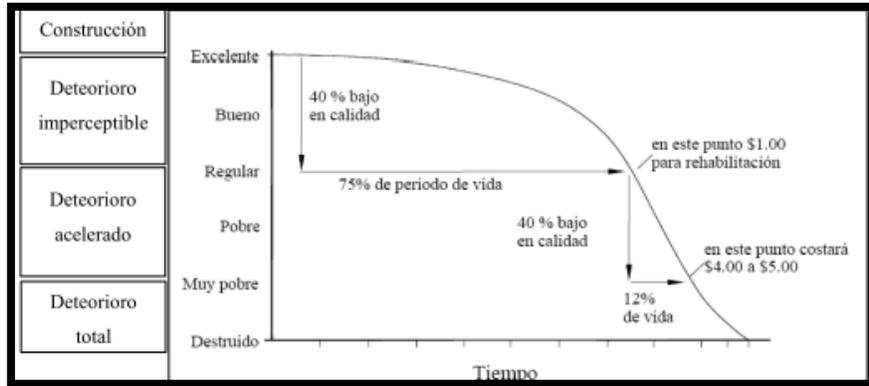
- Los modelos basados en la guía AASHTO en 1986, para el diseño de pavimentos como la condición del rejuvenecimiento o reconstrucción mediante la vida remanente.
- Cuando la vida remanente del pavimento pronosticado de un ciclo de análisis cae por debajo de la condición mínima, indica la reparación.

Ciclo de la vida del pavimento flexible

Los ciclos de la vida del pavimento se representan mediante curvas de comportamiento, dichas curvas ponen en evidencia las cuatro etapas sin considerar un mantenimiento y rehabilitación, en las cuales las evidencias son:

- Construcción: es el estado en la que en el proceso contractivo se encuentra en las óptimas condiciones de calidad.
- Deterioro imperceptible: es la primera etapa en que se muestra las pequeñas fisuras, dicho pavimento ha sufrido un deterioro progresivo. Que generalmente el daño es producido por las condiciones climáticas y el tránsito.
- Deterioro acelerado: esta etapa es corta ya que el estado de la carretera se deteriora rápidamente, en cual se puede observar la destrucción y fallas visibles en la superficie de rodadura.
- Deterioro total: consta en el desgaste total del pavimento, de acuerdo a lo cumplido su tiempo de vida, en la cual puede durar varios años en donde los vehículos tienen daños en los neumáticos.

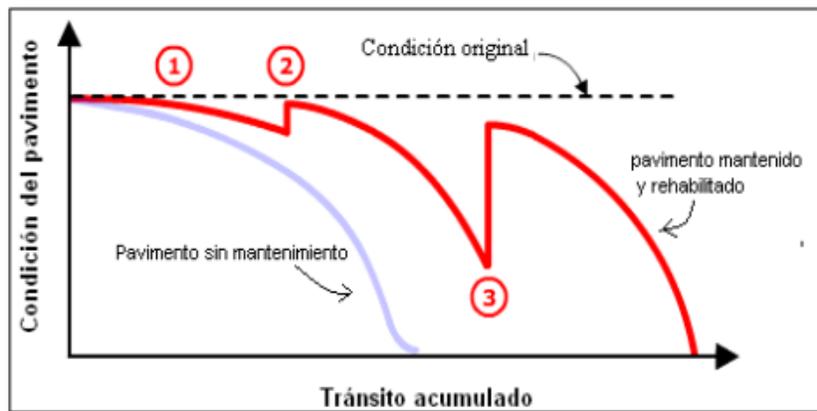
Figura 6. Ciclo de vida remanente.



Fuente: Ciclo de Vida del Pavimento (Sanchez, 2009)

Los pavimentos sufren daños constantes debido a la carga vehicular y las condiciones climatológicas como la lluvia, heladas, etc. Estos factores pueden influir en el deterioro de las vías. El deterioro de un pavimento se da desde la colocación de la carpeta asfáltica debido a sus temperaturas de colocado y desde ese momento empieza a disminuir su resistencia.

Figura 7. Ciclo de vida progresivo de los pavimentos



Fuente: Ciclo de vida progresivo de los pavimentos (Sanchez, 2009)

ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD

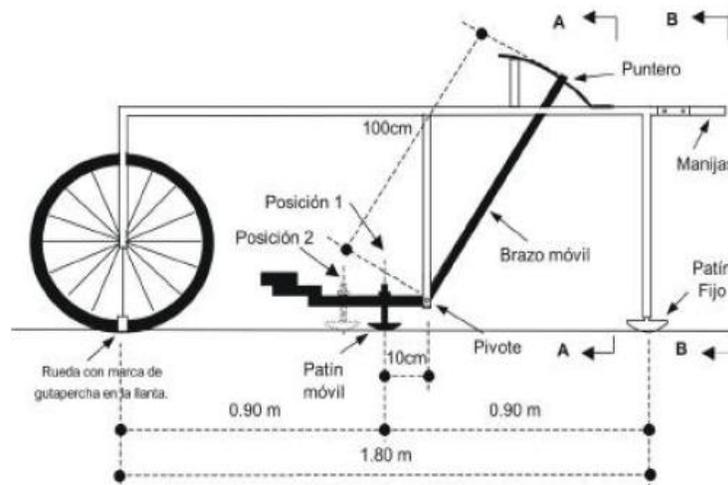
Según Badilla (2009), el método del índice de regularidad internacional es usado para buscar información de la superficie del pavimento, en cual dicho método establece las condiciones superficiales del contorno de circulación vehicular, por ende, los vehículos deben de transitar con facilidad y solidez.

MÉTODO DE MERLIN

Según águila el método de Merlín, tiene una finalidad el manejo de dos apoyos en cada margen viendo así el perfil real del pavimento, por ende, los en el perfil demuestra los panderos cóncavas y convexas de la superficie del pavimento.

Las superficies de los pavimentos presentan condiciones lisas y rugosas, entre más rugosa sea el pavimento tendrá mayores desplazamientos.

Figura 8. Partes del equipo de Merlín.



Fuente: Merliner

El método MERLIN nos da a conocer la variación del perfil longitudinal del pavimento existente, en donde las cuerdas colocadas a 0.90 m del punto medio con una longitud total de 1.80 m cuyo ancho es conocido como unidades de MERLIN "D", la rugosidad del pavimento es establecido por parámetros estadísticos donde existen muestras totales tomadas en campo, para el cálculo se depura el 10 % de datos efectuados mediante la observación.

En base a las unidades de MERLIN se uniformiza el uso de los parámetros de correlación "D" entre IRI, en las cuales se toma estos rangos:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL

Recolección de datos (De Aguila Rodriguez, 2006)

Durante la carretera se selecciona un punto crítico para realizar la primera lectura, el ensayo de MERLIN se contrasta las lecturas cada 400 metros, con una velocidad de 2 km/h.

Cálculo de corrección de ajuste D

Para el cálculo se debe analizar los 200 datos obtenidos en el campo para hallar un valor de la superficie del pavimento (rugosidad), para tal caso se tendrá que usar escalas aleatorias de 50 muestras en donde se encuentra en dicho tablero del equipo, de acuerdo a la escala de división de 25 mantiene las dispersiones.

Para calcular el factor corrección se aplica esta fórmula.

$$F.C. = (EP \times 10) / [(LI - LF) \times 5]$$

Dónde:

EP: Espesor de la pastilla.

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero.

Determinación del IRI

Se considera fórmulas de acuerdo a las condiciones actuales, en cuales se presentas estas dos condiciones:

a.- Cuando $2.4 < IRI < 15.9$, el $IRI = 0.593 + 0.0471 D$

b.- Cuando $IRI < 2.4$, el $IRI = 0.0485 D$

Tabla 1. Escala del IRI.

Condición del camino	Pavimento asfáltico IRI (m/km)	Pavimento hidráulico IRI (m/km)
Muy bueno	< 3.2	< 2.8
Bueno	3.2 – 3.9	2.8 – 3.5
Regular	4.0 – 4.6	3.6 – 4.3
Malo	> 4.6	>4.3

Fuente: Instituto del asfalto

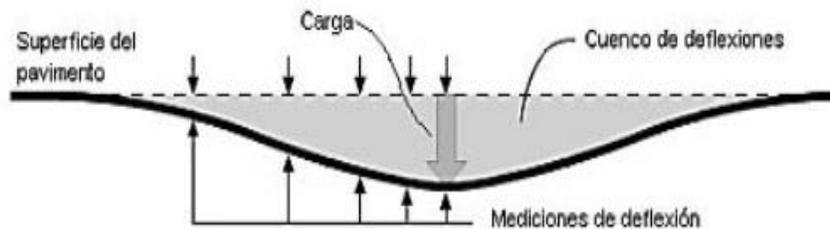
Deflectometría

Generalidades

Según Melgar y Irigoyen, (1982) las deformaciones en la superficie de la carretera son producto de una carga vehicular, esto hace que la Deflectometría estudie el pandeo de la superficie de rodadura. La deflexión es una respuesta al

comportamiento de la estructura del pavimento, existe una correlación entre las fallas por fatiga y las deflexiones frente a los volúmenes de tránsito.

Figura 9. Curvas de deflexiones



Fuente: (Bejarano, 2013)

Dentro de las mediciones existen parámetros primordiales para determinar de acuerdo a sus expansiones y profundidades máximas en cuales puede determinar los siguientes aspectos:

- Resolver el tiempo de vida de un pavimento.
- Establecer las condiciones de la estructura del pavimento (drenajes y naturaleza de capa base).
- Verificar los diseños establecidos durante la ejecución, si cumplió con los parámetros de control de calidad)

Viga Benkelman

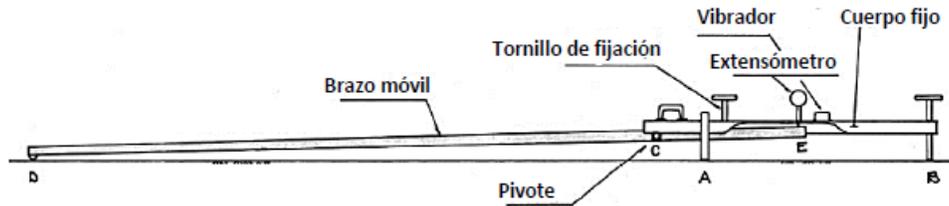
Definición

Según Melgar y Irigoyen, (1982) el Deflectómetro Benkelman es un equipo mecánico que se utiliza para medir las deflexiones del comportamiento de una estructura del pavimento, en las que sus lecturas comprenden con lecturas iniciales y finales para cuantificar la deflexión máxima del punto establecido.

Por otra parte, según la MTC menciona también que la viga benkelman tiene dos componentes, el primer componente es un cuerpo estático que decae en la superficie fijados con tres patas de apoyo, en la que se denota en la figura en los puntos A y B. El segundo componente es la parte del brazo móvil en donde esta

articulado en el pivote, el tornillo de fijación actúa como una palanca en el momento del ensayo.

Figura 10. partes de la Viga Benkelman



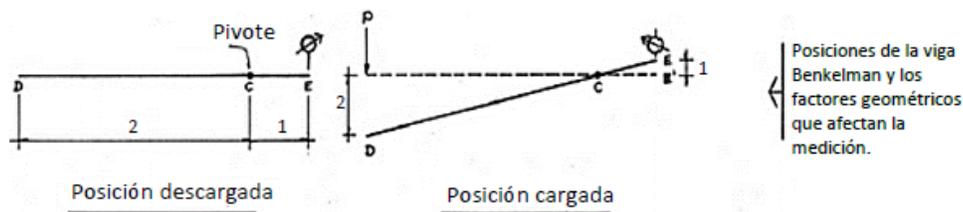
Fuente; (Hoffman, 1985)

Según la MTC E 1002, La Viga Benkelman mide la deflexión recuperable en relación al número de brazos, en las que cuenta con una condición inicial y final, producto de una carga estática con llantas duales traseras estandarizadas. Producto de la medición con este método se distinguen aspectos fundamentales, como:

- La deflexión máxima que llega producto de una carga
- La deflexión recuperable al estado inicial.
- La deflexión de la diferencia de los dos anteriormente ya mencionado.

Asimismo, la viga benkelman tiene principios en el sentido de una palanca según Hoffman, lo cual se denota en la siguiente figura.

Figura 11. Parámetros del principio de operación del equipo de Deflectometría



Fuente: (Hoffman, 1985)

Características

Según la ASTM D 4695 Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements, las deflexiones son productos de las acciones de cargas estáticas y dinámicas ante una superficie pavimentada. Las evaluaciones con el equipo de Viga Benkelman son muy amplio y tiene finalidades de mejoramiento y rehabilitación

de la estructura del pavimento lo cual se caracteriza por tener dos métodos de evaluación en relación a que una viga es simple y la otra doble. Las características que toma en cuenta la Viga Benkelman para el análisis son las siguientes:

Procedimiento

Según la MTC, para la lectura y el colocado de la llanta posterior se fija una distancia desde el borde de la capa asfáltica. Las distancias son acordes al ancho del carril.

Tabla 2. Colocación de los instrumentos de viga

Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2,70 m	0,45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m o más	0.90 m

Fuente: (MTC, Manual de Ensayo de Materiales, 2016)

Viga Doble

Se arma la viga, luego se coloca el bastidor de delimitación en camión tándem en la parte de atrás, se inserta la viga hacia las llantas traseras en el punto medio entre las dos caras de los neumáticos.

Se desajustan los anillos de los brazos y el anillo de la parte de atrás para que el pivote este en el aire con una sensibilidad a la milésima.

Se pone suelta todo el brazo y se verifica que los diales están insertados con el brazo, se prende el vibrador de la viga y el cambiión avanza, siendo así con una lectura inicial de cero (L0) y una final de (L25).

La temperatura se debe de medir con límites de inferior 5 °C hasta 35 °C, estos parámetros de temperatura son las adecuadas como para poder trabajar según lo establecido en norma.

Parámetros del Cálculo de la Viga Doble

El cálculo de las deflexiones es directo, se relacionan proporcionalmente en relación a su número de brazos, según la MTC.

$$D = LD \times RB$$

D: Deflexión, Dado en 0.01 mm.

LD: Lectura del dial.

RB: Relación de brazos de la viga Benkelman.

El cálculo de las deflexiones corregidas, está en función de temperatura.

$$D_{(20^{\circ}\text{C})} = \frac{D_t}{K(t - 20) \cdot e + 1}$$

Donde:

$D_{(20^{\circ}\text{C})}$: Deflexión corregida, a la temperatura estándar de 20 °C.

D_t : Deflexión medida a la temperatura "t" (1/100 mm).

K : 1×10^{-3} , constante para capas granulares (1/cm °C)

t: Temperatura de la carpeta asfáltica del pavimento (°C).

e: espesor de la carpeta asfáltica (cm).

Calculo de la deflexión característica

Según Fernández (2020), señala que el cálculo de las deflexiones se calcula tomando en cuenta la ley de Gauss, por ende, calcula la deflexión, desviación estándar y el coeficiente de variación.

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{(n - 1)}}, n > 30$$

$$cv = \frac{\sigma}{\bar{D}} * 100$$

Donde:

D_c : Deflexión característica.

D^n : Deflexión promedio.

∞ : Desviación estándar.

De acuerdo a los radios de curvatura en cada punto, se calcula así:

$$RC = \frac{3125}{(D_0 - D_{25})} \text{ (Expresado en m)}$$

Donde:

Rc: Radio de curvatura (m).

D0: Deflexión máxima corregida por temperatura (1/100 mm)

D25: Deflexión a 25 cm corregida por temperatura (1/100 mm)

Tabla 3. **Característica del pavimento de acuerdo al tipo de deflexión y su Rc**

<i>Tipo de Deflexión</i>	<i>Comportamiento la Subrasante</i>	<i>Comportamiento del Pavimento</i>
<i>Tipo I</i>	<i>Bueno</i> <i>Dc < Da</i>	<i>Bueno</i> <i>Rc > 100</i>
<i>Tipo II</i>	<i>Malo</i> <i>Dc > Da</i>	<i>Bueno</i> <i>Rc > 100</i>
<i>Tipo III</i>	<i>Bueno</i> <i>Dc < Da</i>	<i>Malo</i> <i>Rc < 100</i>
<i>Tipo IV</i>	<i>Malo</i> <i>Dc > Da</i>	<i>Malo</i> <i>Rc < 100</i>

Fuente: CONREVIAl (1983)

Parámetros del modelo de Hogg.

Determinación del (R5)

Según Hoffman (1985), nos indica el valor R es la distancia geométrica del centro de las llantas en la cual se obtiene una relación $DR/D0 = 0.5$ de las curvas de deflexiones. Para el modelo de HOGG se ha establecido que R5 puede determinarse usando la siguiente ecuación:

$$R_5 = R \frac{A^c - B}{\left[A \left(\frac{D_0}{D_R} - 1 \right) \right]^c - B}$$

Dónde:

R: Distancia a la que se mide la deflexión DR.

D0: deflexión máxima.

Dr: deflexión a la distancia R.

A, B y C: Coeficiente de corrección de acuerdo a la tabla.

Coeficiente del R5

Tabla 4. **Coeficiente de corrección R5**

H/Lo	μ	A	B	C
∞	Cualquier valor	3.115	0	0.584
10 DR/Do>0.7	0.5	2.46	0	0.592
10 DR/Do<0.7	0.5	371.1	2	0.219
10 DR/Do>0.426	0.4	2.629	0	0.548
10 DR/Do<0.426	0.4	2283.4	3	0.2004

Fuente: Hoffman (1985)

Longitud característica (L0)

Según Balerezo Zapana (2017), menciona que es la interacción entre el paquete de pavimento y la sub rasante en relación a su rigidez relativa; cuyo calculo depende de la deflexión característica, deflexión máxima y la distancia máxima a la que fue su lectura. Las condiciones que debe de cumplir de acuerdo a la longitud característica son:

Cuando varia de 15 a 80 cm; la L0 = 80 cm indica que el pavimento se encuentra rígido sobre una sub rasante débil.

Cuando varia la L0 = 15 cm indica el pavimento es débil sobre una sub rasante fuerte.

$$L_0 = \frac{YR_5 + \sqrt{(YR_5)^2 - 4AXR_5}}{2}$$

Dónde:

R5: Cálculo a una distancia R.

A: Radio de la huella circular.

X, Y: Coeficiente de corrección.

U: Relación de Poison.

Tabla 5. Coeficiente de L0

H/Lo	μ	X	Y
10	0.5	0.183	0.62
10	0.4	0.192	0.602
∞	Cualquier valor	0.18	0.525

Fuente: Hoffman (1985)

Módulo de elasticidad de la sub rasante (E0, Esg)

Según Balerezo Zapana (2017), menciona que el módulo de elasticidad de la sub rasante constituye un punto esencial en la evaluación de los pavimentos. Para corroborar las soluciones numéricas se consideran coeficientes de correlación en la cual se determinará en dos pasos:

$$E_0 = \left(\frac{K * I * P}{L_0 * D_0} \right) \frac{S_0}{S}$$

Dónde:

K: Coeficiente numérico de Poisson de la sub rasante y tiende a tener los siguientes valores:

Para $\mu = 0.5$; K= 1.5

Para $\mu = 0.4$; K= 1.633

I: Coeficiente numérico que adopta los siguientes valores:

Para H/L0 = 10; $\mu = 0.4$; I = 0.1689

Para H/L0 = 10; $\mu = 0.5$; I = 0.1614

Para H/L0 = ∞ ; $\mu =$ cualquier valor; I=0.1925

P: Carga total de la llanta doble.

L0: Longitud elástica.

D0: Deflexión máxima.

Determinación de S_{Neff} y S_{Nreq}

Para verificar la condición del pavimento existente es necesario conocer el número estructural efectivo (S_{Neff}), en el cual representa la capacidad de soporte de las cargas de tránsito en un punto en el momento de las lecturas de las deflexiones, mientras el número estructural de diseño (S_{Nreq}) nos da a conocer la capacidad estructural que se necesita para un determinado tránsito futuro.

SN – Efectivo (S_{Neff})

El número estructural efectivo da a conocer sobre la capacidad estructural del pavimento y del deterioro que ha sufrido durante un tiempo determinado

De acuerdo a la guía ASSHTO 93, en relación entre el S_{Neff}, de la longitud característica L0 y el módulo de elasticidad E0, tiene la siguiente expresión:

$$SN_{eff} = 0.0182L_0^3 \sqrt{E_{sg}}$$

Dónde:

L0: Longitud característica en cm.

Esg: Modulo de elasticidad de la sub rasante (Mpa)

SN – Requerido (SNreq)

Según Balerezo Zapana (2017), es el numero estructural que se quiere alcanzar con el refuerzo estructural. Su valor se determina haciendo el uso de la información obtenida empíricamente por la AASTHO, según la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \log W_{18} = & Z_R * S_0 + 9.36 * \log(SN_{req} + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN_{req} + 1)^{5.19}}} \\ & + 2.3 \log(M_R) - 8.07 \end{aligned}$$

Dónde:

W18: Numero de ejes equivalentes de 8.2 ton.

Zr: Desviación estándar.

So: Error estándar combinado de la proyección de tránsito y la predicción de tránsito.

PSI: Diferencia entre el índice de servicio inicial (Po) y el final (Pf).

Mr: Modulo de resiliencia.

SNreq: Numero estructural requerido.

Diseño de sobrecarpetas – Método no destructivo de deflexión.

Según Hoffman & Del Aguila (1985) menciona que el diseño de sobrecarpetas asfálticas sobre pavimentos flexibles se resume a obtener la capacidad estructural efectiva y la capacidad requerida, con la finalidad de obtener un espesor asfáltico, el cual aportara estructuralmente al pavimento flexible existente. De esta manera se aumenta la vida útil de los pavimentos flexibles, los cuales llevan buen tiempo sin evaluación, rehabilitación y mantenimiento, además que aumentaría la funcionalidad de los pavimentos.

El diseño de la sobre carpeta asfáltica para deficiencias estructurales de pavimentos flexible, según ASSHTO 93 está dada por la siguiente ecuación:

$$H_{AC} = \left(\frac{SN_{req} - SN_{eff}}{\alpha} \right)$$

Dónde:

Hac: Espesor requerido de sobre capa asfáltica.

SNreq: Numero estructural requerido.

SNeff: Numero estructural efectivo.

∞: Parámetro AASHTO.

Tabla 6. **Tipos de mantenimiento.**

¿Existe carencial estructural?	Hac (mm)	Rehabilitación	Mantenimiento
Si	25 < Hac	Sobrecarpeta Asfáltica	
Si	10 < Hac ≤ 25	-	Micropavimento
Si	0 < Hac ≤ 10	-	Lechada Asfáltica
No	0	-	Micropavimento o Lechada Asfáltica. Antes evaluar superficialmente.

Fuente: (Balerezo Zapana, 2017)

Tráfico

Según el Manual de Carreteras, 2018 menciona que el tráfico vehicular es uno de los parámetros primordiales en la incidencia de la rodadura de la superficie del pavimento, lo cual produce un desgaste en sus comportamientos estructurales y superficiales. Mediante el exceso de transito causa generalmente un desgaste, lo cual produce daños estructurales en la carpeta de rodadura.

Por otro lado, menciona PAVIMENTOS (2009), menciona que el tráfico es uno de los factores esenciales en el diseño de los pavimentos debido a que el trafico nos proporciona los datos de repeticiones de los números de ejes durante un periodo de diseño.

Índice de medio diario anual (IMDA)

Según lo señala las normas de MTC, el estudio del tráfico vial nos proporciona un promedio de los vehículos aforados durante un año, para su cálculo se puede estimar con la siguiente expresión.

$$IMDa = IMDs * fe$$

Dónde:

IMDs: Índice de medio diario semanal.

Fe: Factor correlacional de los vehículos livianos y pesados.

Índice de medio diario semanal (IMDs)

Es la cantidad de los vehículos que circular durante una semana en horarios de las 24 horas completas. Para su cálculo tiene lo siguiente:

$$IMDs = \frac{Vd + Vl + Vm + Vm + Vj + Vv + Vs}{7}$$

Dónde:

V(d,l,m,m,j,v,s): Volumen de los días aforados de vehículos durante una semana.

Transito proyectado

Debido al crecimiento vehicular en los últimos años se calcula el transito futuro en su condición crítica.

$$Tn = To (1+r)^{n-1}$$

Dónde:

Tn: Transito proyectado al año "n" en veh/día.

To: Transito actual veh/día.

n : Año futuro de la investigación.

r : Tasa anual de crecimiento del tránsito.

Ejes equivalentes

Es el periodo de diseño por cada vehículo pesado, lo cual considera la siguiente expresión:

$$\#EE = 365 * (\sum f. IMDa) x Fd x Fc x Fca$$

Dónde:

$\sum f$. IMDa: Sumatoria del índice medio diario según el tipo de vehículo.

Fd : Factor direccional.

Fc : Factor de carril.

Fca: Factor de crecimiento según los tipos de vehículos pesados.

Tabla 7. **Ejes equivalentes en condiciones su carga de ejes**

Tipo de Eje	Eje Equivalente ($EE_{8,2tn}$)
Eje Simple de ruedas simples (EE_{S1})	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles (EE_{S2})	$EE_{S2} = [P / 8.2]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TA1})	$EE_{TA1} = [P / 14.8]^{4.0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EE_{TA2})	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE_{TR1})	$EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE_{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO'9

Fuente: (MTC, Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para
Construcción EG-2013)

Tabla 8. **Factores direccional y factor carril**

Cuadro 6.1
Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc 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: (AASHTO, 1993)

Alternativas de la vida remanente del pavimento

Alternativas de mantenimiento y rehabilitación

Gary et al, (2013) menciona que en todo proyecto siempre hay alternativas preliminares de rehabilitación con carácter preliminar de mejorar una estructura ya deteriorada, por ello se distingue algunos aspectos principales como son:

- a. Una vez evaluado la condición de la capacidad estructural del pavimento se toma medidas adecuadas en cuales entra el diseño como alternativa de rehabilitación, en lo que implica la elección de un método empírico para el cálculo de los espesores de mejora.
- b. Las alternativas de evaluación técnico – económico mediante unos modelos de comportamientos vincula parámetros de costos y mantenimientos.
- c. La vida útil remanente del pavimento flexible contiene un criterio en relación a cada alternativa de necesidad de una situación.

En los trabajos del diseño de alternativas de rehabilitación se considera varios factores de la evaluación, así como el tránsito, espectros de carga, vida remanente, las deflexiones admisibles y nivel de serviciabilidad. En las cuales se obtendrá parámetros para el cálculo de rehabilitación según INVIAS 2008:

1. Cálculo de tránsito promedio diario semanal
2. Inspección visual y evaluación de los deterioros del pavimento.
3. Cálculo de las deflexiones y los efectos de temperatura.
4. Determinación de los módulos mediante cálculos directos.
5. Cálculo de refuerzo en la estructura del pavimento.

Gary et al, (2013) de acuerdo a las evaluaciones de deflectometría en campo, demostrara un crecimiento de deflexiones influye aplicar mejorar la condición del pavimento estructuralmente, pero si en caso las fisuras superficiales son microscópicas se puede controlar para que no siga deteriorándose; por ende, se tomara medidas de mantenimientos rutinarios para disipar el crecimiento de dichas grietas y fisuras.

En condiciones extremas se toma decisiones de tratamientos más adecuados que dependerá de factores externos e internos del pavimento, entre ellos son:

- La condición del estado del pavimento.
- Errores durante la construcción.
- La intensidad vehicular.
- La condición de los materiales.

Las técnicas más frecuentes y más usados en el mejoramiento de las superficiales del pavimento flexible son las siguientes:

Sello de grietas

Es un método para mejorar las condiciones superficiales de los pavimentos en donde consiste en sellar las grietas con aberturas de mayor a 3 mm donde se denota en la carpeta de rodadura del pavimento, mediante este método de sellado se

minimiza el deterioro del pavimento, los materiales de sello son de asfaltos en caliente o asfaltos en frío.

Las grietas son producidas producto de la contracción interna del pavimento en la cual influye diferentes factores como el clima, suelo y las condiciones ambientales, estas fallas se reflejan en la superficie de la rodadura del pavimento (Rodríguez, 2004)

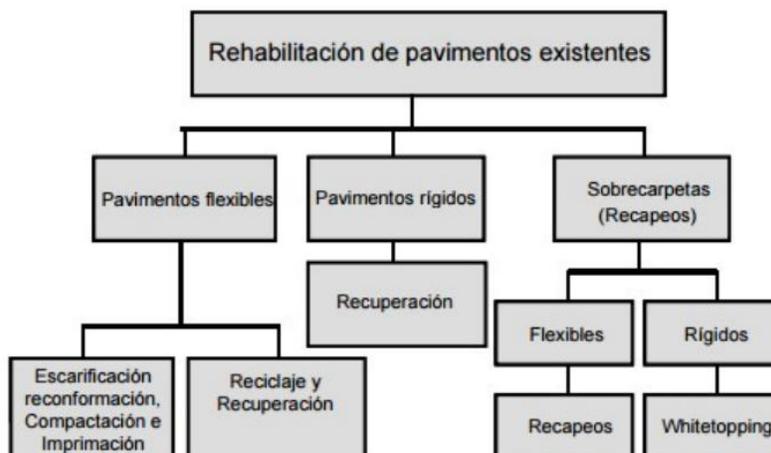
Bacheo

Mediante este método del bacheo nos proporciona exponer la condición de la superficie de rodadura con múltiples baches que ha sido destruido producto de la transpirabilidad de los vehículos, las dimensiones a considerarse en el bacheo son de 15 centímetros inferior o superior, en cual el material a colocar será una mezcla asfáltica.

Sello asfáltico

Según la MTC, 2016 define que los sellos asfálticos son utilizados para minimizar la cantidad de porosidad o fisuras que exista en la superficie de rodadura, también es como un riego asfáltico que combinado con un tipo de agregado se penetran rápidamente, en las cuales existen varios tipos de como son: riego con emulsión, sello de arena asfalto y tratamientos superficiales.

Figura 12. Tipos de rehabilitación.



Fuente: (Bejarano , 2013)

Métodos de rehabilitación

Recapeo (Chero Canales, 2019)

Es un estrato de mezcla asfáltica sobre una superficie de rodadura ya existente en la vía, la metodología del recapeo nos proporciona recuperar la condición estructural y superficial de los pavimentos.

Los recapeos asfálticos tiene una finalidad que es la conservación periódica del pavimento, en lo cual según su condición estructural debe tener un valor entre 2.8 m/km y 4.0 m/km.

El recapeo es un método que se coloca sobre una capa existente para corregir las fallas superficiales o estructurales de todos los pavimentos existentes, cuyo objetivo del recapeo tienen dos funciones la primera es recuperar la capacidad estructural y por otro lado es la serviciabilidad.

La **capacidad estructural** es aplicada cuando la condición del pavimento está llegando a tiempo de vida útil cumplido, en este caso si necesita un refuerzo en la estructura para soportar el flujo vehicular creciente.

La **serviciabilidad** es cuando disminuye las condiciones superficiales de la carpeta asfáltica o ya llegado a su periodo de diseño de vida útil; así mismo se puede decir que el pavimento ha sufrido un deterioro avanzado en donde los vehículos ya no pueden transitar.

Las condiciones que debe cumplir la metodología del recapeo en los pavimentos flexibles de acuerdo a sus niveles de servicio son:

- Esta metodología no admite las fisuras que no están selladas.
- En el proceso no admite baches.
- El máximo porcentaje de agrietamientos será un 10 %.
- El IRI no deberá superar ni ser menor de 2.5 – 3.5 m/km.

Para que llegue a las condiciones requeridas de recapeos se propusieron implementar condiciones de mantenimiento:

- Hacer sellos rutinarios de todas sus fisuras existentes.
- Los sellados asfálticos se deberá hacer cada 3 años, para mantener por debajo del 10% de agrietamiento y así controlar a los baches.

- Se debe hacer los fresados y recapeos de 1 pulgada para mantener el IRI por debajo de lo establecido de 3.5 m/km.

Reciclaje

Según el Asphalt Institute (1983), dice que el reciclaje es un método de destrucción total del pavimento donde es demolida con un equipo pesado. Dichos material escarificados y luego acarreados son trasladados a lugar de almacenamiento para luego ser usado en la construcción de la vía nueva de pavimento. Mediante el proceso de fresado y reutilización de la carpeta de rodadura se presenta una gran ventaja de reducción de costos, por ello conlleva a la disminución del porcentaje de asfalto y a la disminución económica del traslado de material de agregados.

Según Montejo (2005), menciona que el reciclaje de pavimentos es la reutilización de materiales de la carpeta de rodadura, cuyo objetivo es transformar el componente clave la carpeta asfáltica usada.

Aplicación de las condiciones para método de Reciclaje

Según Davila (2012), Las consideraciones a emplearse son de acuerdo a las fallas producidas por:

- Fatiga de la carpeta asfáltica y cambios de temperatura.
- Desvanecimiento del asfalto producidos por un mal diseño de mezclas.
- Desgaste superficial del agregado.
- Deformaciones, ondulaciones longitudinales en la vía.
- Desprendimiento del asfalto y rigidez del asfalto.
- La condición de la superficie del IRI debe de ser mayor 5m/km

Tipos de reciclajes

Los reciclajes son de tres tipos de acuerdo a la necesidad de la zona de su aplicación:

- a. **Reciclaje superficial:** Es una metodología de tratamiento superficial del espesor no mayores a 2.5 cm cuya utilización es para los pavimentos que no presentan problemas estructurales. Por ello su procedimiento se empieza

con el fresado, escarificación, trituración y si es posible el aumento de un agente de reciclaje, para su proceso se puede aplicar en frío o en caliente.

- b. **Reciclaje en frío:** Esta metodología de reutilización son para pavimentos mayores a 2.5 cm, donde al momento de reciclaje se afecta al estrato de base granular. Su procedimiento es primero la escarificación, trituración y luego se mezcla con un agente conocido emulsión asfáltica considerando el porcentaje del agregado nuevo a involucrar.
- c. **Reciclaje en caliente:** Este método esta dado primeramente en escarificar el espesor deseado para posteriormente traslado a una planta asfáltica. Luego se grada el material y reconstruye la mezcla para un diseño nuevo adoptado, por ende, se puede adicionar emulsión, agregado nuevo y por último el asfalto nuevo.

CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Según la MTC – 2013, define que los mantenimientos son un conjunto de actividades que se realizan con el fin de prever los deterioros prematuros y avanzados de la vía. Con el transcurso de los años se busca preservar la condición física y estructural del pavimento con mantenimientos permanentes y adecuados. Los mantenimientos viales nos proporcionan una ventaja inmensa en conservar y alargar su vida útil del pavimento.

Nivel de intervención en el mantenimiento de las vías

Los niveles de intervención con acciones permanentes de la intervención en el cuidado del pavimento, lo cual se puede diferenciar en dos aspectos fundamentales como nivel permanente es la predomina el mantenimiento rutinario y el nivel complica esta los que son costosos como la reconstrucción y rehabilitaciones.

A continuación, se menciona mantenimientos y rehabilitaciones más usadas, MTC, 2013.

- a. **Mantenimiento Rutinario:** Este tipo de mantenimientos son conocidas también como conservaciones continuas en periodos de tiempo menores a un año calendario, en donde influye directamente en hacer limpiezas en zonas laterales de la carretas y limpiezas de las obras de drenaje con el objetivo de un deterioro de la vía, mediante este acto se busca hacer reparaciones para prevenir la estructura y la superficie del pavimento flexible. Los cuales contemplan varias actividades en este tipo de mantenimiento, como:
- Actividades de mantenimiento rutinario y sellos de grietas, fisuras.
 - Actividades de parchado superficial y profundo.
 - Actividades de tratamiento de lugares que presentan exudación.
 - Actividad de parchado superficial con tratamiento asfáltico.
- b. **Mantenimiento Periódico:** Este tipo de mantenimiento son empleadas para mayores a un año con el fin de evitar las apariciones de fallas mayores. Dicho mantenimiento está destinado específicamente en recuperar la carpeta asfáltica. La finalidad de este mantenimiento es proteger y conservar las superficies de los pavimentos.
- Sellos asfálticos, recapados asfálticos.
 - Fresado de la carpeta asfáltica
 - Microfresado de la carpeta asfáltica
 - Reconformación, imprimación de la base granular en bermas
- c. **Mantenimiento preventivo:** Este tipo de mantenimiento tiene la finalidad de mantener su condición física mediante la detección y prevención en el momento dado. Su principal propósito es anticipar las fallas prematuras producidas de las deficiencias estructurales o agentes externos.

El mantenimiento preventivo tiene la finalidad de inspeccionar y detectar las fallas en una falla inicial.

Selección del tipo de mantenimiento adecuado para el pavimento flexible:

Una vez analizado la condición del pavimento e identificado el índice de serviciabilidad se determina el tipo de mantenimiento adecuado, las cuales son:

- Mantenimiento rutinario.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento periódico.

Para el pavimento flexible de la Av. Circunvalación – Puno a nivel estructural y funcional depende su conservación durante su vida útil con los mantenimientos de prolongar el periodo de vida.

Tabla 9. **Esquema de conservación para caminos con sellos asfálticos**

Tipo de superficie asfáltica	Actividad de conservación	Aplicación
Lechada asfáltica	Refuerzo con 4 cm de Mezcla Asfáltica	Entre año 4 y 6
TSB simple sobre base granular	Nuevo tratamiento superficial simple	Entre año 4 y 6
TSB doble sobre base asfáltica	Nuevo tratamiento superficial doble	Entre año 7 y 10
Sello asfáltico con emulsión de rompimiento lento (5cm) y riego superficial con gravilla	Riego superficial de emulsión con gravilla	Entre año 1 y 2
Sello asfáltico con emulsión de rompimiento lento (5cm) y TSB simple o doble.	Tratamiento superficial simple	Entre año 4 y 5

Fuente: Pitra (2016)

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Enfoque de investigación

Hernandez Sampieri (2017), el enfoque cuantitativo representa a los procesos de recolección de datos para luego contrastar con las hipótesis planteadas durante la investigación, en lo que se establece la veracidad o falsedad de la problemática y sus objetivos.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo por que los resultados de los métodos de Deflectometría e IRI nos da parámetros numéricos en donde se verifica si está en los estándares establecidos en la norma MTC.

Tipo de investigación

Según Baena Paz (2017), menciona como tipo aplicada, se origina en base a un problema porque se toma medidas o acciones para solucionar dicho problema y luego hacer aportes de soluciones

De acuerdo a lo que menciona Baena 2017, la investigación de este proyecto es de tipo aplicada porque se tiene un problema denominado el desgaste de los pavimentos flexibles, en cual se busca solucionar mediante alternativas de mejora.

Nivel de investigación

Según Hernandez Sampieri (2017), da a conocer que el nivel explicativo es investigar hasta lo más profundo no basta con solo describir sino explicar detalladamente las características o fenómenos producidos producto de un evento o suceso.

La investigación tiene un nivel explicativo porque se dedica a explicar las causas del deterioro del pavimento flexible, producto de eso se hace las evaluaciones estructurales y superficiales.

Diseño de investigación

Según Gómez y Roquet (2008), explica que el diseño experimental, se basa en la manipulación de las variables experimentalmente con la finalidad de conocer lo más profundo del objeto de investigación.

La investigación se tiene un diseño experimental, porque se usa dos métodos de evaluación la Viga Benkelman e IRI. De acuerdo a lo mencionado anteriormente se tiene también el tipo de diseño cuasi experimental porque en esta investigación se manipulará la variable independiente en el cual causará efecto en la variable dependiente del proyecto de investigación.

3.2 Variables y operacionalización

Variable Independiente: Evaluación estructural.

Menciona Muñoz Rocha (2015), que las variables independientes son manipulables durante el proceso de la investigación, ya que se tiene como meta descubrir los problemas existentes.

La evaluación estructural del pavimento flexible tiene como finalidad probar en que condición se encuentra actualmente; lo cual este resultado nos proporcionara los ensayos de Viga Benkelman e Rugosímetro de Merlín.

Variable Dependiente: Vida Remanente.

Menciona Muñoz Rocha (2015), que la variable dependiente refleja el efecto que tuvo las variables independientes.

De acuerdo al cálculo de la vida remanente del pavimento se acondiciona en base a los resultados obtenidos en campo con los métodos de la Viga Benkelman y el Rugosímetro de Merlín.

Según Gary et al 2013, referente a la vida remanente del pavimento proporciona un beneficio mediante un análisis del comportamiento estructural basado en evidencias estructurales y superficiales en la cuales se toma decisiones de acuerdo a su condición, si en la evaluación se tiene fallas superficiales se hace un mantenimiento, pero si está en una condición deteriorada se emplea el método de rehabilitación.

Operacionalización

La matriz de operacionalización de variables se encuentra en el (anexo 02).

Indicadores

Los indicadores de la investigación están basados en la deflexión que es en milímetros, las rugosidades en metros por kilómetros y la vida remanente del pavimento en años. Cabe resaltar que se interpreta mejor estos análisis en el anexo 02.

Escala de medición.

Según Espinoza Montes, 2010 el nivel de medición de la razón conlleva a tener intervalos del cero lo cual es real y absoluto.

Según las variables de la investigación, las dimensiones son de escala de Razón, porque en se trabaja en base medidas de m/km, mm y años.

3.3 Población, muestra y muestreo

Población

Según Hernandez Sampieri (2017), menciona a la población como un conjunto total de casos presentados en una situación de investigación. Por lo tanto, en nuestra investigación la población es la avenida Circunvalación de 5.0 km, en la Ciudad de Puno.

Muestra

Según Hernandez Sampieri (2017), dice que la muestra es una porción representativa de toda la población de estudio.

De acuerdo a lo especificado en la definición de la muestra, se tomará los puntos más críticos de la avenida Circunvalación; como muestra de la investigación se tendrá desde la Avenida Leoncio Prado km 0+740 hasta la avenida Sayhuani km 2+740 que cuenta con 2 kilómetros de longitud, en la Ciudad de Puno.

Muestreo

Según Muñoz Rocha (2015), el muestro lo divide en dos tipos como es muestro probabilístico y no probabilístico, donde define el muestro probabilístico son elementos trabajados en base a muestras conocidas, se caracteriza por utilizar el cálculo estadístico para determinar la población. Por otro lado, tenemos el muestreo no probabilístico se caracteriza por tener ventajas en elegir una muestra por un criterio practico, también son rápidas y fáciles de realizar donde se determinan sus resultados de forma arbitraria.

En la investigación se utilizó el muestreo no probabilístico, porque se elige de forma intencionada la muestra y el lugar de trabajo.

Unidad de análisis: De acuerdo a las variables de la investigación las unidades de análisis son en mm, m/km y años de vida útil.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

De acuerdo Espinoza Montes (2010), menciona que las técnicas de recolección de datos son necesarias para construir y coleccionar datos para ordenar, elaborar y efectuar los controles de la investigación.

Mediante la presente investigación se utilizó las técnicas empíricas denominadas Observación directa, en donde se observa el comportamiento estructural y la superficie de rodadura del pavimento.

Instrumentos de Recolección de Datos

Según Hernandez Sampieri (2017), explica que las pruebas o instrumento de medición nos permite generar y registrar todos los datos obtenidos en el campo.

Para esta investigación se usó Fichas Técnicas como un instrumento de recolectar resultados verídicos de los ensayos de campo, como son los siguientes:

- Ficha Técnica 01: Rugosidades (Según Anexo 04)
- Ficha Técnica 02: Deflexiones Admisibles (Según Anexo 04)
- Ficha Técnica 03: Formato de aforo vehicular (Según Anexo 04)

Validez y confiabilidad de datos

Validez de los instrumentos

La validación de los instrumentos es para reducir los errores de los sujetos a investigar en los contextos de la calibración de los equipos con la confiabilidad y la validez. (Espinoza Montes, 2010).

Para la presente investigación, se utilizaron normas establecidas en los reglamentos como la norma MTC y la AASTHO, para los ensayos de deflectometría e Índice de regularidad superficial, donde estos datos fueron trabajados por los encargados y profesionales del laboratorio: GEOTECNIA PUNO EIRL (Mecánica de suelos – pavimentos – cimentaciones – supervisión – proyectos de ingeniería) de la ciudad de Juliaca – Puno. Las validaciones de los instrumentos se optaron por los juicios de expertos.

Tabla 10. **Validación de instrumento.**

N°	VALIDACIÓN POR ESPECIALISTAS	CIP	PUNTAJE
1	Ing. Alfredo Alarcón Atahuachi	81732	1
2	Ing. Willian H. Ruelas Gomez	190525	1
3	Ing. Marco A. Chura Apaza	177157	1

Fuente: Elaboración propia

Confiabilidad

Según Baptista (2014), menciona que las confiabilidades de los datos deben ser reales y coherentes para así interpretar el elemento reiterativo con una exactitud y veracidad.

Para esta investigación, los ensayos de deflexión (mm), rugosidad (m/km) y otros se realizaron con equipos calibrados. Los documentos de los certificados de calibración se adjuntan en el (Anexo 05)

3.5 Procedimientos

Etapa 1: Etapa preliminar

En esta etapa preliminar se hace un reconocimiento del lugar trabajo, así mismo se identifica las fallas superficiales como fisuras, grietas, piel cocodrilo, bacheos, escalonamientos y pandeos en el lugar de estudio.

Por otro lado, se verifica la zona más crítica en donde se trabaja los ensayos propuestos en esta investigación.

Etapa 2: Etapa del campo

En esta etapa se ejecutan los ensayos de evaluación en campo con los métodos siguientes:

Método de Regularidad Superficial (IRI) (ASTM: D6433-07)

Mediante el Rugosímetro de Merlín se evaluará la condición superficial del pavimento en el cual se medirá el desgaste de la superficie del pavimento flexible.

Para la ejecución de este ensayo se necesita dos personas para trabajar (un operador del equipo de Merlín y el otro que realiza las lecturas de campo, los puntos

de ensayos se deben de realizar cada 400 metros longitudinales aproximadamente en la vía de cada carril.

La velocidad con la que se debe de efectuar el ensayo es de 2 km/h, así mismo la prueba empieza desde el primer punto donde el equipo se estacione.

No obstante, durante la evaluación se debe de cumplir con los estándares de seguridad debido a que en la circula demasiado tránsito vehicular. El cual se adjunta el panel fotográfico en el anexo 6.

Método Viga Benkelman (MTC E 1002)

Primeramente, para la evaluación por Deflectometria se debe de verificar las condiciones ambientales existentes para su ejecución en temperaturas adecuadas. Para empezar el ensayo en mención se deberá verificar el camión volquete tándem cumpla con las características especificadas en su reglamento, verificar la presión de las llantas, verificar el peso de las llantas traseras 8.2 toneladas.

Luego en campo se arma la Viga Benkelman de un solo brazo y se empotra hacia la parte trasera del Volquete. Para luego hacer la primera lectura de las deflexiones. No obstante que a la par se debe de tomar muestras de temperaturas en grados centígrados para hacer la corrección por temperatura.

Las lecturas a ejecutarse son un total de cuatro veces, en las que indicaran su situación de deflexión máxima en campo. El cual se adjunta el panel fotográfico en el anexo 6.

Etapa 3: Aforo Vehicular

Para la propuesta de la mejora de la vida remanente del pavimento flexible se hace el aforo vehicular para cuantificar el método de reciclaje, en donde se afora en un punto crítico en la avenida de estudio durante siete días. El cual se adjunta el panel fotográfico en el anexo 6.

Etapa 4: Etapa de gabinete

Calculo de la Vida Remanente. (Instituto del asfalto)

En este aspecto tan importante de la verificación de la vida remanente del pavimento se toma como principio los datos obtenidos en campo con los métodos de

evaluación, de acuerdo a las evaluaciones se toma la decisión de hacer un mantenimiento o una rehabilitación.

De acuerdo a las normas de INVIAS, se decide a hacer una propuesta de reciclaje de acuerdo al tránsito proyectado a futuro en donde se tomará aspectos importantes como es a continuación:

- Aforo del tránsito vehicular semanal.
- Las deflexiones admisibles.
- Tránsito de diseño proyectado.

3.6 Método de análisis de datos

De acuerdo a esta investigación se usa el método inductivo porque al evaluar las condiciones del pavimento se tiene un desgaste en la que los resultados de la evaluación se hace una contrapartida frente a las normas MTC y ASTM.

Para el análisis de datos en esta investigación se utiliza el Programa Excel 2016, lo cual analiza los resultados obtenidos de la evaluación y determina los resultados de las propuestas de reciclaje.

3.7 Aspectos éticos

Respecto a la autenticidad, mediante esta investigación fue elaborado en base a los libros de metodología de la investigación debidamente referenciados, en las que esta tesis es única y desarrollada con equipos y datos que reflejan la veracidad de los hechos.

Respecto a la verdad, los resultados obtenidos en campo han sido aprobados por el laboratorista encargado.

Se adjunta el Turnitin de la presente investigación, aprobada mediante Universidad Cesar Vallejo para dar veracidad y autenticación (Anexo 03).

IV. RESULTADOS

Desarrollo de la investigación

El procedimiento y los resultados de la investigación está de acuerdo a lo planteado en los objetivos específicos y general.

Nombre de la presente investigación:

“Evaluación Estructural por Deflectometría e IRI Para Determinar la Vida Remanente del Pavimento Flexible en la Av. Circunvalación - Puno, 2021”

Ubicación:

Departamento: Puno.

Provincia : Puno.

Distrito : Puno.

Lugar de estudio: Av. Circunvalación.

Figura 13. Localización de la investigación.



Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA VIDA REMANENTE

Calculo de la Vida Remanente. (Instituto del asfalto)

La vida remanente de un pavimento es el tiempo que le queda en vida tanto superficial y estructural de la carpeta de rodadura.

Para calcular la vida remanente de un pavimento se condiciona en función de la deflexión representativa, para ello se determinará el cálculo del ESAL.

ESTUDIO DEL TRÁFICO.

a. RECOLECCIÓN DE DATOS EN CAMPO.

Para la recolección de datos en campo se tuvo que hacer el aforo vehicular durante una semana en los puntos específicos de la vía de estudio.

Tabla 11. Resumen de los tipos de vehículos

VEHICULO	DOMINGO 18/07/21	LUNES 19/07/21	MARTES 20/07/21	MIERCOLES S 21/07/21	JUEVES 22/07/21	VIERNES 23/07/21	SABADO 24/07/21	SUB TOTAL	%	
AUTO	1864	1611	1977	2157	2240	2480	2866	15195	34.623	
STATION WAGO	595	407	239	341	335	366	179	2462	5.610	
PICK UP	657	606	696	564	759	614	441	4337	9.882	
PANEL	269	541	293	325	195	233	265	2121	4.833	
RURAL	165	550	254	403	324	365	227	2288	5.213	
MICRO	235	292	309	279	421	339	279	2154	4.908	
OMNIBUS	B2	62	106	162	109	99	147	760	1.732	
	3E	62	67	40	87	59	57	432	0.984	
	4E	43	38	36	177	70	88	534	1.217	
CAMION	2E	97	63	88	132	138	71	126	1.629	
	3E	52	188	274	93	234	79	93	1013	2.308
	4E	65	132	136	57	67	159	55	671	1.529
SEMI TRAYLER	2S1	77	66	461	66	81	89	96	936	2.133
	2S2	117	193	63	193	115	119	64	864	1.969
	2S3	90	139	97	140	77	646	372	1561	3.557
	3S1	55	127	108	105	67	216	121	799	1.821
	3S2	921	116	273	128	160	70	173	1841	4.195
	>=3S2	136	112	58	137	116	98	70	727	1.657
TRAYLER	2T2	618	79	109	70	124	82	177	1259	2.869
	2T3	99	111	68	63	111	164	52	668	1.522
	3T2	343	387	29	651	72	31	19	1532	3.491
	>=3T3	118	26	21	32	128	570	123	1018	2.320
TOTAL	6740	5957	5791	6309	5992	7077	6021	43887	100.00	

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, los días Domingo, miércoles y viernes son con mayor flujo vehicular debido a las actividades desarrolladas en otras provincias o distritos.

a. CÁLCULO DEL IMDS.

Para el cálculo del índice medio diario semanal se tomó un promedio durante los 7 días. Por ello se aplica la siguiente fórmula:

$$IMDs = \frac{Vd + Vl + Vm + Vm + Vj + Vv + Vs}{7}$$

Tabla 12. Resultados de IMDs de vehículos livianos

DIAS		AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi	
							
Domingo 18/07/2021	Sur – Norte	887	286	320	94	69	149
	Norte – Sur	977	309	337	175	96	86
	Total	1864	595	657	269	165	235
Lunes 19/07/2021	Sur – Norte	737	260	284	229	259	154
	Norte – Sur	874	147	322	312	291	138
	Total	1611	407	606	541	550	292
Martes 20/07/2021	Sur – Norte	950	133	341	137	109	181
	Norte – Sur	1027	106	355	156	145	128
	Total	1977	239	696	293	254	309
Miércoles 21/07/2021	Sur – Norte	1171	132	311	174	282	162
	Norte – Sur	986	209	253	151	121	117
	Total	2157	341	564	325	403	279
Jueves 22/07/2021	Sur – Norte	1093	160	351	77	153	203
	Norte – Sur	1147	175	408	118	171	218
	Total	2240	335	759	195	324	421
Viernes 23/07/2021	Sur – Norte	1168	179	246	119	181	211
	Norte – Sur	1312	187	368	114	184	128
	Total	2480	366	614	233	365	339
Sábado 24/07/2021	Sur – Norte	1416	77	217	122	103	153
	Norte – Sur	1450	102	224	143	124	126
	Total	2866	179	441	265	227	279
IMDs	Sur – Norte	1060.3	175.3	295.7	136.0	165.1	173.3
	Norte – Sur	1110.4	176.4	323.9	167.0	161.7	134.4
	Total	2170.7	351.7	619.6	303.0	326.9	307.7

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al cuadro 7, se observa que en los vehículos livianos que más transitan son los autos, debido a que la zona de estudio es una zona urbana.

Tabla 13. Resultados de IMDs de vehículos pesados.

DÍAS		OMNIBUS			CAMION			SEMI TRAYLER					TRAYLER				
		2 E	3 E	4 E	2 E	3 E	4 E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
Domingo 18/07/2021	Sur - Norte	33	55	30	43	39	25	30	52	51	17	66	71	56	48	36	24
	Norte - Sur	29	7	13	54	13	40	47	65	39	38	855	65	562	51	307	94
	Total	62	62	43	97	52	65	77	117	90	55	921	136	618	99	343	118
Lunes 19/07/2021	Sur - Norte	46	42	26	29	96	73	38	145	88	49	64	51	42	55	34	7
	Norte - Sur	60	25	12	34	92	59	28	48	51	78	52	61	37	56	353	19
	Total	106	67	38	63	188	132	66	193	139	127	116	112	79	111	387	26
Martes 20/07/2021	Sur - Norte	125	22	14	39	230	75	440	37	52	54	46	22	56	22	15	9
	Norte - Sur	37	18	22	49	44	61	21	26	45	54	227	36	53	46	14	12
	Total	162	40	36	88	274	136	461	63	97	108	273	58	109	68	29	21
Miércoles 21/07/2021	Sur - Norte	57	32	127	58	47	24	40	47	60	69	73	51	27	32	625	23
	Norte - Sur	52	55	50	74	46	33	26	146	80	36	55	86	43	31	26	9
	Total	109	87	177	132	93	57	66	193	140	105	128	137	70	63	651	32
Jueves 22/07/2021	Sur - Norte	53	33	32	73	42	48	38	56	32	24	76	57	68	56	55	10
	Norte - Sur	46	26	38	65	192	19	43	59	45	43	84	59	56	55	17	118
	Total	99	59	70	138	234	67	81	115	77	67	160	116	124	111	72	128
Viernes 23/07/2021	Sur - Norte	79	26	46	39	36	121	49	39	82	56	49	43	51	128	14	8
	Norte - Sur	68	31	36	32	43	38	40	80	564	160	21	55	31	36	17	562
	Total	147	57	82	71	79	159	89	119	646	216	70	98	82	164	31	570
Sabado 24/07/2021	Sur - Norte	37	34	39	59	40	30	50	32	63	69	139	35	127	25	5	3
	Norte - Sur	38	26	49	67	53	25	46	32	309	52	34	35	50	27	14	120
	Total	75	60	88	126	93	55	96	64	372	121	173	70	177	52	19	123
IMDs	Sur - Norte	61.4	34.9	44.9	48.6	75.7	56.6	97.9	58.3	61.1	48.3	73.3	47.1	61.0	52.3	112.0	12.0
	Norte - Sur	47.1	26.9	31.4	53.6	69.0	39.3	35.9	65.1	161.9	65.9	189.7	56.7	118.9	43.1	106.9	133.4
	Total	108.6	61.7	76.3	102.1	144.7	95.9	133.7	123.4	223.0	114.1	263.0	103.9	179.9	95.4	218.9	145.4

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al cuadro 8, se observa que los vehículos pesados que más transitan son los de tipo 3S2, debido a que la zona de estudio es una avenida principal para conectar la comercialización internacional.

b. CÁLCULO DEL IMDA.

Para el cálculo del índice medio diario anual (IMDa) se proyectó por año entero y se multiplica por el factor corrección de los peajes de la zona. Para tal efecto se utilizará la siguiente expresión:

$$IMDa = IMDs * fe$$

Para el cálculo del índice medio diario anual se deberá de trabajar con los factores de corrección estacional que se puede obtener en las estaciones de los peajes. Por razón se tomó los índices de acuerdo a la zona de estudio el cual es:

- Para vehículos livianos es fe de 1.058.
- Para vehículos pesados es fe de 1.049.

Tabla 14. Resultados del IMDa de vehículos livianos

DIAS		AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi	
							
IMDs	Sur - Norte	1060.3	175.3	295.7	136.0	165.1	173.3
	Norte - Sur	1110.4	176.4	323.9	167.0	161.7	134.4
	Total	2170.7	351.7	619.6	303.0	326.9	307.7
IMDa	Sur - Norte	1121.36	185.38	312.75	143.83	174.66	183.27
	Norte - Sur	1174.39	186.59	342.51	176.62	171.03	142.17
	Total	2295.75	371.97	655.26	320.45	345.68	325.44
2021	Total de veh.	2295.00	371.00	655.00	320.00	345.00	325.00

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 9 los vehículos livianos tienen el índice medio diario anual es 4079.6 veh/día.

Tabla 15. Resultados del IMDa de vehículos pesados

DIAS		OMNIBUS			CAMION			SEMI TRAYLER					TRAYLER				
		2 E	3 E	4 E	2 E	3 E	4 E	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
																	
IMDs	Sur - Norte	61.4	34.9	44.9	48.6	75.7	56.6	97.9	58.3	61.1	48.3	73.3	47.1	61.0	52.3	112.0	12.0
	Norte - Sur	47.1	26.9	31.4	53.6	69.0	39.3	35.9	65.1	161.9	65.9	189.7	56.7	118.9	43.1	106.9	133.4
	Total	108.6	61.7	76.3	102.1	144.7	95.9	133.7	123.4	223.0	114.1	263.0	103.9	179.9	95.4	218.9	145.4
IMDa	Sur - Norte	64.43	36.56	47.05	50.95	79.42	59.34	102.64	61.14	64.13	50.65	76.87	49.45	63.98	54.84	117.48	12.59
	Norte - Sur	49.45	28.17	32.97	56.19	72.37	41.21	37.61	68.33	169.77	69.08	198.99	59.49	124.67	45.25	112.08	139.95
	Total	113.88	64.73	80.02	107.14	151.79	100.54	140.25	129.46	233.90	119.72	275.86	108.94	188.65	100.10	229.56	152.54
2021	Total de veh.	113.00	64.00	80.00	107.00	151.00	100.00	140.00	129.00	233.00	119.00	275.00	108.00	188.00	100.00	229.00	152.00

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 10, los vehículos pesados tienen un índice medio diario anual es 2190.0 veh/día.

En resumen, se tiene un índice medio diario anual total de 6269.6 veh/día.

Tabla 16. Cuadro de factores del IMDa

TIPO DE VEHICULO		MDA	TIPO	NUMERO	CARGA	f ^o P.	FLEXIBLE	f.IMDA. FLEXIBLE
		2025	EJE	LLANTAS	EJE Tn			
VEHICULO S LIGEROS	Autos	2295.00	SIMPLE	2	1	0.000527		1.209503
		2295.00	SIMPLE	2	1	0.000527		1.209503
	S. Wagon	371.00	SIMPLE	2	1	0.000527		0.195523
		371.00	SIMPLE	2	1	0.000527		0.195523
	Pick Up	655.00	SIMPLE	2	1	0.000527		0.345196
		655.00	SIMPLE	2	1	0.000527		0.345196
	panel	320.00	SIMPLE	2	1	0.000527		0.168645
		320.00	SIMPLE	2	1	0.000527		0.168645
	rural	345.00	SIMPLE	2	1	0.000527		0.181821
		345.00	SIMPLE	2	1	0.000527		0.181821
	micros	325.00	SIMPLE	2	1	0.000527		0.171280
		325.00	SIMPLE	2	1	0.000527		0.171280
OMNIBUS	2E	113.00	SIMPLE	2	7	1.265367		142.986443
		113.00	SIMPLE	4	11	3.238287		365.926427
	3E	64.00	SIMPLE	2	7	1.265367		80.983472
		64.00	TANDEM	6	16	1.365945		87.420451
	4E	80.00	TANDEM	4	14	0.800692		64.055329
	80.00	TANDEM	6	16	1.365945		109.275564	
CAMION	2E	107.00	SIMPLE	2	7	1.265367		135.394242
		107.00	SIMPLE	4	11	3.238287		346.496705
	3E	151.00	SIMPLE	2	7	1.265367		191.070379
		151.00	TANDEM	8	18	2.019213		304.901232
	4E	100.00	SIMPLE	2	7	1.265367		126.536675
	100.00	TRIDEM	10	23	1.508184		150.818360	
SEMI TRAYLES	2S1	140.00	SIMPLE	2	7	1.265367		177.151345
		140.00	SIMPLE	4	11	3.238287		453.360174
		140.00	SIMPLE	4	11	3.238287		453.360174
	2S2	129.00	SIMPLE	2	7	1.265367		163.232311
		129.00	SIMPLE	4	11	3.238287		417.739018
		129.00	TANDEM	8	18	2.019213		260.478536
	2S3	233.00	SIMPLE	2	7	1.265367		294.830452
		233.00	SIMPLE	4	11	3.238287		754.520862
		233.00	TRIDEM	12	25	1.706026		397.504116
	3S1	119.00	SIMPLE	2	7	1.265367		150.578643
		119.00	TANDEM	8	18	2.019213		240.286401
		119.00	SIMPLE	4	11	3.238287		385.356148
	3S2	275.00	SIMPLE	2	7	1.265367		347.975856
		275.00	TANDEM	8	18	2.019213		555.283700
		275.00	TANDEM	8	18	2.019213		555.283700
	>=S3	108.00	SIMPLE	2	7	1.265367		136.659609
		108.00	TANDEM	8	18	2.019213		218.075053
		108.00	TRIDEM	12	25	1.706026		184.250835
TRAYLER S	2T2	188.00	SIMPLE	2	7	1.265367		237.888949
		188.00	SIMPLE	4	11	3.238287		608.797949
		188.00	SIMPLE	4	11	3.238287		608.797949
		188.00	SIMPLE	4	11	3.238287		608.797949
	2T3	100.00	SIMPLE	2	7	1.265367		126.536675
		100.00	SIMPLE	4	11	3.238287		323.828696
		100.00	SIMPLE	4	11	3.238287		323.828696
		100.00	TANDEM	8	18	2.019213		201.921345
	3T2	229.00	SIMPLE	2	7	1.265367		289.768985
		229.00	TANDEM	8	18	2.019213		462.399881
		229.00	SIMPLE	4	11	3.238287		741.567714
		229.00	SIMPLE	4	11	3.238287		741.567714
	>=3T3	152.00	SIMPLE	2	7	1.265367		192.335746
		152.00	TANDEM	8	18	2.019213		306.920445
		152.00	SIMPLE	4	11	3.238287		492.219618
	152.00	TANDEM	8	18	2.019213		306.920445	

Fuente: Elaboración propia

d. CÁLCULO DEL ESAL

Tabla 17. **Calculo del ESAL actual del pavimento**

Pavimento Flexible		
Tasa anual de crecimiento vehiculos pesados	r:	3.21
Tiempo actual (años)	n:	1
factor Fca vehiculos pesados $Factor_{ca} = \frac{1}{1+r} -$	Fca	1.00
N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido		1 calzada, 2 sentidos carril por sentido
Factor direccional * factor carril (Fd*Fc)	Fc*Fd	0.5
Numero de ejes equivalentes (ESAL) #EE = 365 * (Σf. IMDa) * Fd * Fc * Fca	ESAL	2706554.4

Fuente: Elaboración propia

Para el pavimento flexible desarrollado se obtuvo un ESAL 2706554.4 de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, de acuerdo a los aforos realizados para la presente investigación.

CÁLCULO DE LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO.

Para el cálculo de la vida remanente del pavimento se condicionada en el tiempo de vida que le falta para su deterioro total. Según Sánchez (2009), demuestra mediante una tabla el comportamiento de la carpeta asfáltica después de su colocado, así mismo menciona el proceso de deterioro de dicha capa. La vida remanente del pavimento flexible contempla la verificación de su periodo con la siguiente ecuación, Según el instituto del asfalto:

$$RL = 100 \cdot \left[1 - \frac{N_p}{N_{1.5}} \right]$$

Np = Número de ESALs hasta la fecha.

N1.5 = Numero de ESALs a la fecha futura (en pavimentos rehabilitados o mejorados se tiene un periodo de diseño de 4 a 10 años de vida útil, según la norma del instituto del asfalto)

Reemplazando:

Np = 2706554.4

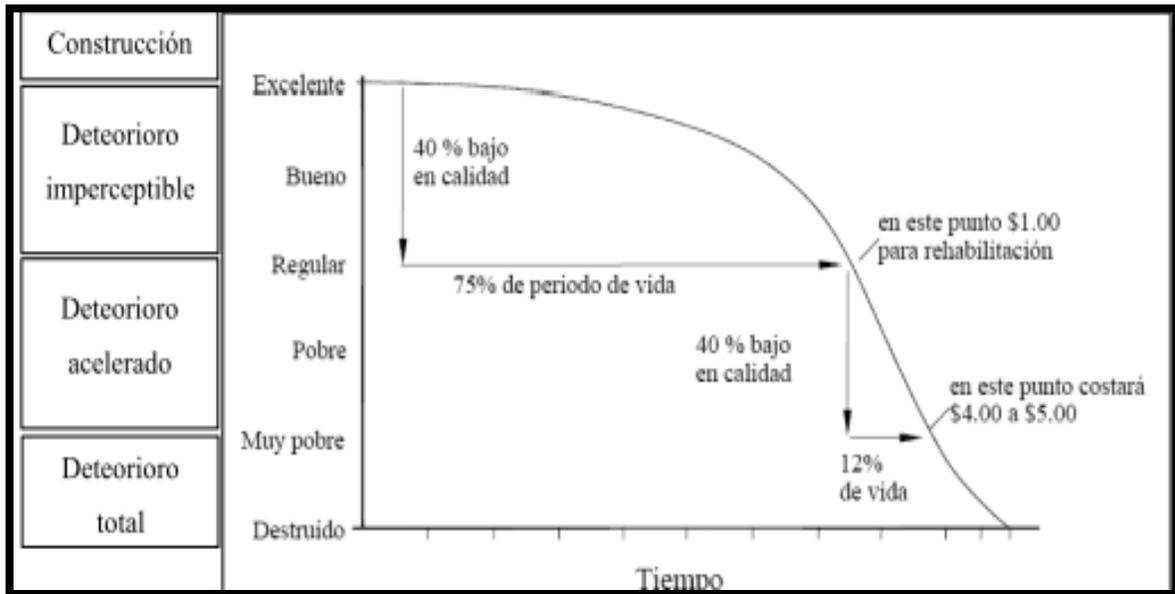
N1.5 = 2975592.3

$$RL = 100 \times \left(1 - \frac{2706554.4}{2975592.3} \right)$$

RL = 9.0 años

Por consiguiente, la vida remanente del pavimento flexible tiene una durabilidad de 9 años, debido a los periodos de diseño y el cálculo de ESAL proyectado. Por lo tanto, se interpreta de la siguiente manera:

Tabla 18. **Análisis de vida remanente del pavimento.**



Fuente: Sánchez 2009, ciclo de vida del pavimento

No obstante, desde la etapa de construcción el pavimento se encuentra en una calidad excelente, una vez colocado la carpeta asfáltica empieza los deterioros mínimos, según Sánchez (2009), indica que al 75% de su periodo de vida necesitara una rehabilitación o mejoramiento de la carpeta asfáltica, para tal efecto en nuestra investigación el periodo de vida restante seria 9 años.

De acuerdo a esta investigación otro de los factores importantes es las características físicas de los materiales del pavimento porque va directamente ligado a la vida remanente de pavimento, lo cual se menciona a continuación:

- Respecto a las características de la carpeta asfáltica, uno de los factores críticos es el envejecimiento del asfalto que se da mediante proceso físico – químico en las que están involucradas las relaciones de oxidación y evaporación, por lo cual a simple vista se puede observar el fisuramiento,

desprendimiento de los materiales, por tal manera para verificar la condición del pavimento se emplea el ensayo de lavado asfáltico.

Tabla 19. **Análisis granulométrico de lavado asfáltico**

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						Peso mezcla : 305.2 Grs
2 1/2"	63.000						Peso agregado : 287.0 Grs
2"	50.000						Cem. asfáltico : 5.96 %
1 1/2"	37.500						Grava : 39.30 %
1"	25.000						Arena : 65.70 %
3/4"	19.000				100.00	100 - 100	Fino : 5.00 %
1/2"	12.500	42.00	14.60	14.60	85.40	80 - 100	W natural : %
3/8"	9.500	34.00	11.80	26.40	73.60	70 - 88	
No.04	4.750	37.00	12.90	39.30	60.70	51 - 68	LIMITES DE CONSISTENCIA
No.10	2.000	51.00	17.80	57.10	42.90	38 - 52	L.L. : %
No.20	0.840	36.50	12.70	69.80	30.20		L.P. : %
No.40	0.425	33.00	11.50	81.30	18.70	17 - 28	I.P. : %
No.80	0.180	23.50	8.20	89.50	10.50	8 - 17	
No.100	0.150	5.00	1.70	91.20	8.80		CLASIFICACION
No.200	0.075	11.00	3.80	95.00	5.00	4 - 8	SUCS :
<No.200		14.00	4.90	100.00			AASHTO :

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla de granulometría del lavado asfáltico se observa que se tiene un 5.96 % de cemento asfáltico con porcentajes de grava de 39.30 %, arena de 65.70 % y material fino de 5%.

Analizando la carpeta asfáltica con el ensayo Marshall se tiene el porcentaje en peso de la mezcla asfáltica que es de 5.96% con una estabilidad de 929 kg y con un flujo de 3.217 mm.

- Respecto a las características físicas de los materiales de la capa base granular, donde se tiene una granulometría de clasificación SUCS de GM y AASTHO A-1-a (0); límite líquido de 22.84 % y un límite plástico de NP lo cual el índice de plasticidad es NP y. Por otro lado, se hace el análisis de CBR para verificar la condición de soporte de la estructura del pavimento de acuerdo a al manual de carreteras "Suelos, geología, geotecnia y

pavimentos”, nos da parámetros para verificar la vida remanente en base a su condición de CBR.

Para carreteras con tráfico de mayores de 10×10^6 el CBR mínimo debe ser de 100%, lo cual en nuestra investigación nuestro CBR es de 71.0 % a nivel de capa base; por lo tanto, esto indica que el pavimento de la avenida circunvalación se encuentra por debajo de lo admisible y estructuralmente fatigado.

- Respecto a las características físicas de los materiales de la capa Sub base granular, donde se tiene una granulometría de clasificación SUCS de GP - GM y AASTHO A-1-a (0); límite líquido de 24.52 % y un límite plástico de NP los cual el índice de plasticidad es NP y. Por otro lado, se hace el análisis de CBR para verificar la condición de soporte de la estructura del pavimento de acuerdo a al manual de carreteras “Suelos, geología, geotecnia y pavimentos”, nos da parámetros para verificar la vida remanente en base a su condición de CBR.

De acuerdo al manual de carreteras el valor relativo de soporte en Sub Base granular como mínimo es 40%, de acuerdo a los ensayos realizados se obtuvo un CBR de 44%, esto nos indica a nivel de capa sub base se encuentra en condiciones aceptables.

INTERPRETACIÓN

Según la tabla 12 y el grafico 13, se observa la escala del comportamiento estructural de la carpeta asfáltica en relación de los ejes equivalentes de 8.2 toneladas, el actual ESAL es 2706554.4 de ejes equivalentes de 8.2 ton, por otro lado, para el cálculo de la vida remanente se necesitó el ESAL proyectado a un periodo de 4 años con el fin de analizar su remanencia critica, el ESAL proyectado es 2975592.3 de ejes equivalentes de 8.2 ton, por lo que el ESAL proyectado esta relaciona al tráfico, analizando en el punto crítico la vida remanente del pavimento es 9 años más para que llegue a un deterioro total. El punto crítico analizado es el ESAL actual porque se planteó mejorar su vida útil aplicando la sobre capa asfáltica del pavimento flexible. Cabe recalcar que las características físicas de los materiales

del pavimento se encuentran en condiciones de capa carpeta asfáltica baja de debido a su estabilidad y flujo; por otro lado, a nivel de capa base se encuentra por debajo de permisible esto indica que estructuralmente a nivel capa base encuentra fatigada y por ultimo a nivel de capa sub base, de acuerdo al resultado se encuentra en condiciones buenas.

H0: Se acepta la hipótesis, según los resultados de la Deflectometría e IRI nos permiten determinar la vida remanente del pavimento en función de su condición estructural de carpeta asfáltica, base y sub base; asimismo su condición superficial que es de carácter regular.

RESULTADOS DE LAS RUGOSIDADES

La rugosidad superficial es un parámetro de evaluación de los pavimentos, en la presente investigación en la avenida circunvalación de la ciudad de puno, el presente.

Ensayo del Método Rugosímetro de Merlín (IRI) (ASTM: D6433-07)

Procedimiento de ensayo

De acuerdo en el anterior ítem se identificó la longitud del tramo de la avenida, para la realización del ensayo de Rugosímetro de Merlín; para este ensayo son necesarios de cuatro personas en donde una persona manipula el equipo de Merlín, el segundo anota los datos y las dos últimas personas son encargados de orientar a las señalizaciones con sus conos y banderines, debido a que en dicha avenida tiene un exceso flujo vehicular.

De acuerdo a manual del IRI los datos que nos proporciona el patín móvil indicando en el tablero y las lecturas son de cada 2 metros de longitud. Dicho ensayo es necesario hacer las 200 lecturas con una velocidad de 2 km/h.

Procedimiento del cálculo del IRI con el equipo de Merlín.

a. RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 20. **Recolección del carril derecho**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
34	31	35	31	32	39	30	40	36	37	1
37	34	32	34	34	37	35	26	37	38	2
33	31	25	34	32	40	38	35	32	35	3
27	32	34	30	39	34	36	32	32	30	4
25	22	31	29	29	32	30	29	35	35	5
27	31	41	25	31	38	33	34	34	39	6
35	32	35	32	37	24	23	35	30	28	7
35	35	37	42	35	37	25	30	33	29	8
32	32	36	27	37	39	28	37	35	29	9
39	30	41	36	28	35	26	33	30	27	10
33	35	29	37	37	35	28	28	30	35	11
33	28	24	38	33	38	39	28	34	20	12
34	21	19	27	37	36	39	37	36	34	13
34	36	36	39	38	35	37	36	24	38	14
33	38	42	40	38	35	36	26	36	29	15
33	39	31	26	39	35	42	42	43	38	16
35	29	37	42	39	35	36	23	40	35	17
38	40	30	40	39	34	40	40	36	38	18
39	38	38	28	36	38	36	34	38	27	19
30	37	33	31	40	34	28	31	33	29	20

Fuente: elaboración propia

b. CÁLCULO DEL IRI

- Cálculo del factor de corrección.

Para el cálculo del factor de corrección es necesario conocer sus dimensiones del instrumento de Merlín, así como el espesor del patín de 6 mm, el punto inicial de 25 y el punto final 13, según la escala de las desviaciones superficiales.

$$F.C. = (EP \times 10) / [(LI - LF) \times 5]$$

$$F.C = (6 \times 10) / ((25 - 13) \times 5)$$

$$F.C = 1.00$$

- Cálculo de rango D

De acuerdo al histograma, se elimina el 5 % de los 200 datos recolectados por los márgenes.

Por ello, los márgenes se descuentan y se contabilizan las barras restantes del diagrama para calcular en su totalidad el rango D.

$$D = 0.513 + 0.910 + 14$$

$$D = 15.357$$

- **Corrección del rango D**

Para la corrección del rango D, se multiplicará por 5 debido a que en cuadro del instrumento de Merlín tiene 50 divisiones; y por último se corrige por el factor de corrección.

$$D_{cor} = D \times F.C \times 5$$

$$D_{cor} = 15.357 \times 1.0 \times 5$$

$$D_{cor} = 760$$

- **Cálculo del IRI**

$$IRI = 0.593 + 0.0471 \times 73.21$$

$$IRI = 4.04 \text{ m/km}$$

Cálculo de la media

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

$$D = 4.14 \text{ m/km}$$

Cálculo de desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{(n - 1)}}$$

$$\sigma = 0.1237$$

Cálculo del coeficiente de variación

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{D}} * 10$$

$$CV = 2.99$$

INTERPRETACIÓN

Según lo propuesto en la primera hipótesis específica de la investigación se contrasta mediante el Banco Mundial, que las condiciones del índice de rugosidad promedio del pavimento es 4.14 m/km, lo que indica que el pavimento es de tipo envejecido con inicios desgastes avanzados.

Tabla 21. **Resumen del cálculo de IRI de los carriles.**

KM	Carril	Correccion rango D	IRI m/km
0+740 - 1+240	Derecho	72.22	3.99
1+240 - 1+740	Derecho	78.46	4.28
1+740 - 2+240	Derecho	71.14	3.94
2+240 - 2+740	Derecho	77.37	4.23
0+740 - 1+240	Izquierdo	73.33	4.04
1+240 - 1+740	Izquierdo	74.29	4.08
1+740 - 2+240	Izquierdo	77.33	4.23
2+240 - 2+740	Izquierdo	78.95	4.30
Promedio			4.14

Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Parámetros de condición del IRI

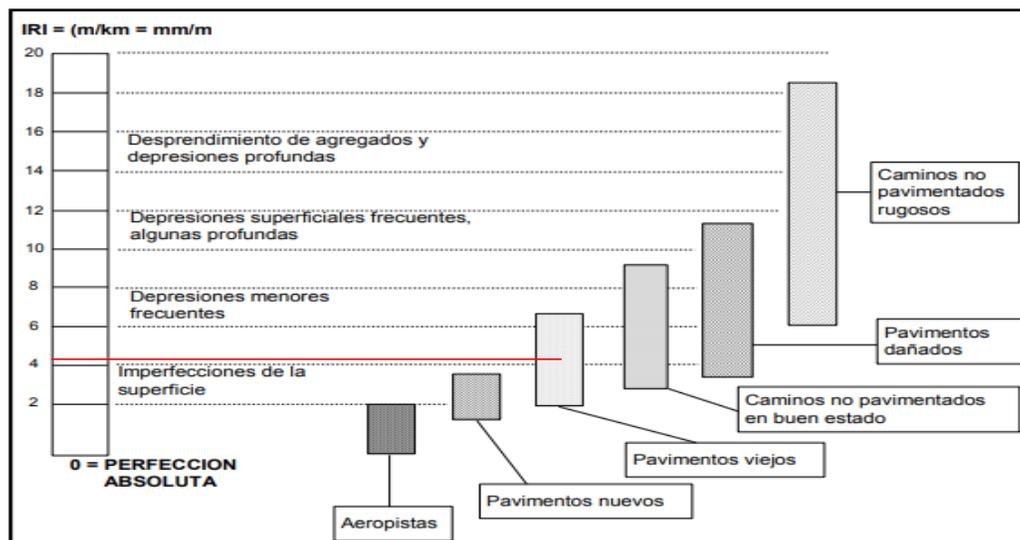


Gráfico 6: ESCALA ESTÁNDAR EMPLEADA POR EL BANCO MUNDIAL PARA CUANTIFICAR EL IRI.

Fuente: Documento técnico N° 46 del Banco Mundial.

H1: Se acepta la hipótesis, según los resultados de la tabla 15 y figura 16, donde la condición superficial del pavimento flexible se encuentra parcialmente deteriorada, con un resultado de 4.14 m/km perteneciente a los pavimentos envejecidos por consiguiente ya alcanzo su periodo de vida útil.

RESULTADOS DE LAS DEFLEXIONES

Los resultados evaluados en el presente objetivo de estudio se desarrollaron en el campo empleando el instrumento de Viga Benkelman para calcular sus radios de curvatura y las deflexiones de los puntos ensayados en el tramo de la vía.

Método Viga Benkelman (MTC E 1002)

a. RECOLECCIÓN DE DATOS EN CAMPO.

Con la recolección de datos campo se tomaron lecturas en los márgenes derecho e izquierdo con lecturas de D₀, D₂₅, D₇₅ y D(Max), así mismo se tomaron muestras de temperatura para hacer la corrección de los datos de campo.

Tabla 22. **Recolección de resultados en campo**

PROGRESIVA (Km)	LADO	LECTURA EN DIAL EN CAMPO				TEMPERATUR PAVIMENTO
		L 0 (cm)	L 25 (cm)	L75 (cm)	L max (cm)	(°C)
0+800	DER	0	6	21	35	30.5
0+900	DER	0	12	21	40	31.2
1+000	DER	0	14	24	43	32.4
1+100	DER	0	18	29	40	30.5
1+200	DER	0	17	25	42	30.2
1+300	DER	0	16	27	45	31.6
1+400	DER	0	12	28	39	30.8
1+500	DER	0	10	19	38	28.8
1+600	DER	0	11	22	36	29.3
1+700	DER	0	11	23	39	30.0
1+800	DER	0	14	27	34	30.4
1+900	DER	0	17	36	41	28.5
2+000	DER	0	15	27	37	29.6
2+100	DER	0	11	26	36	30.1
2+200	DER	0	14	28	38	30.5
2+300	DER	0	13	27	39	28.9
2+400	DER	0	18	27	39	28.4
2+500	DER	0	21	29	38	30.1
2+600	DER	0	15	31	41	30.6
2+700	DER	0	13	27	39	29.6
2+800	DER	0	14	28	40	28.7

Fuente: elaboración propia

b. CÁLCULO DE LA DEFLEXIONES CORREGIDAS (D₀)

$$D_0 = (L_0 - L_7) \times K \times C$$

D0 = Deflexion simple (corregida)
 Lo= Lectura inicial de la estacion
 Lt= Lectura final de la estacion
 K= Constante de la viga (relacion de brazos 4:1)
 C= Correccion de unidades para milímetros)

Tabla 23. Cálculo de la deflexión característica.

PROGRESIVA (Km)	LADO	LECTURA EN DIAL EN CAMPO				TEMPERATUR PAVIMENTO (°C)	DEFLEXIONES REALES SIN CORRIGIR			DEFLEXIONES CORREGIDAS			RADIO DE CURVATURA (m)
		L 0 (cm)	L 25 (cm)	L75 (cm)	L max (cm)		Do	D25	D75	Do	D25	D75	
0+800	DER	0	6	21	35	30.5	140	116	56	116	96	46	157.6
0+900	DER	0	12	21	40	31.2	160	112	76	131	92	62	79.7
1+000	DER	0	14	24	43	32.4	172	116	76	138	93	61	69.6
1+100	DER	0	18	29	40	30.5	160	88	44	132	73	36	52.5
1+200	DER	0	17	25	42	30.2	168	100	68	140	83	56	55.3
1+300	DER	0	16	27	45	31.6	180	116	72	146	94	58	60.2
1+400	DER	0	12	28	39	30.8	156	108	44	128	89	36	79.2
1+500	DER	0	10	19	38	28.8	152	112	76	129	95	65	91.9
1+600	DER	0	11	22	36	29.3	144	100	56	121	84	47	84.2
1+700	DER	0	11	23	39	30.0	156	112	64	130	93	53	85.2
1+800	DER	0	14	27	34	30.4	136	80	28	113	66	23	67.4
1+900	DER	0	17	36	41	28.5	164	96	20	140	82	17	53.8
2+000	DER	0	15	27	37	29.6	148	88	40	124	74	34	62.1
2+100	DER	0	11	26	36	30.1	144	100	40	120	83	33	85.4
2+200	DER	0	14	28	38	30.5	152	96	40	126	79	33	67.5
2+300	DER	0	13	27	39	28.9	156	104	48	132	88	41	70.8
2+400	DER	0	18	27	39	28.4	156	84	48	134	72	41	50.7
2+500	DER	0	21	29	38	30.1	152	68	36	126	57	30	44.7
2+600	DER	0	15	31	41	30.6	164	104	40	135	86	33	63.1
2+700	DER	0	13	27	39	29.6	156	104	48	131	87	40	71.6
2+800	DER	0	14	28	40	28.7	160	104	48	136	89	41	65.5

Fuente: Elaboración propia

d. CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN MEDIA

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

n= Numero total de medidas

Di= Deflexion desde i=1 a i=n

\bar{D} = Deflexion media de n deflexiones

$$D = 130 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Cálculo de la media

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

$$D = 130 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Cálculo de desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{(n - 1)}}$$

$$\sigma = 8.3$$

Cálculo del coeficiente de variación

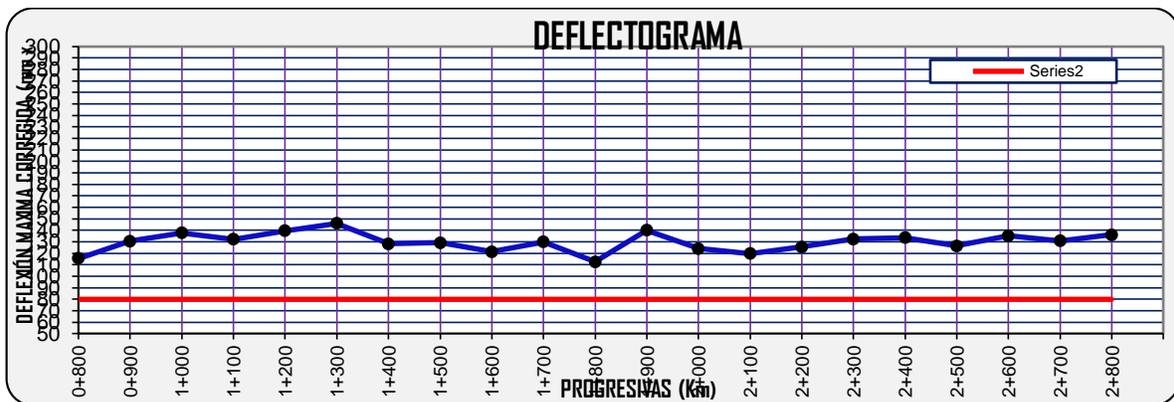
$$CV = \frac{\sigma}{\bar{D}} * 10$$

$$CV = 6.4$$

e. GRÁFICO DE DEFLEXIONES.

Para el cálculo de las deflexiones y radios de curvatura se debe tener en cuenta las deflexiones reales sin corregir y las corregidas. A continuación se muestra los resultados:

Tabla 24. Deflexiones del carril derecho.



Fuente elaboración propia.

En síntesis, en la tabla 18, se observa que el carril derecho se encuentra en una condición mala debido a las deflexiones observadas que están por encima de la deflexión admisible.

INTERPRETACIÓN

Según lo propuesto en la segunda hipótesis específica de la investigación se contrasta mediante la deflexión admisible con las deflexiones de la Viga Benkelman donde nos muestra que las deflexiones de la Viga Benkelman de 130×10^{-2} mm, mientras la deflexión admisible es de 80×10^{-2} mm. Por consiguiente, se puede interpretar que la deflexión de la viga Benkelman es mayor a la deflexión admisible por ello nos indica que la condición estructural del pavimento es mala.

H2: De acuerdo a las tablas 17 y 18 se acepta la hipótesis específica, porque los resultados del ensayo de la Deflectometría nos muestran la condición estructural del pavimento flexible indicándonos que la vida remanente se encuentra en condición crítica.

RESULTADOS DEL TIPO DE MANTENIMIENTO ADECUADO PARA MEJORAR LA VIDA REMANENTE

La alternativa propuesta planteada de un diseño de espesor de refuerzo para el pavimento flexible en la avenida circunvalación de la ciudad de Puno, según el ASSTHO se necesita dos datos fundamentales para correlacionar el espesor adecuado en mejora del comportamiento estructural de la carpeta asfáltica, por ello se detalla a continuación:

Calculo de ejes equivalentes proyectado.

Tabla 25. Ejes equivalentes Proyectado

Pavimento Flexible		
Tasa anual de crecimiento vehiculos pesados	r:	3.21
Tiempo actual (años)	n:	9
factor Fca vehiculos pesados $Factor Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$	Fca	10.25
N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido		1 calzada, 2 sentidos carril por sentido
Factor direccional * factor carril (Fd*Fc)	Fc*Fd	0.5
Numero de ejes equivalentes (ESAL) #EE = $365 * (\sum f. IMDa) * Fd * Fc * Fca$	ESAL	27732597.6

Fuente: Elaboración propia.

Parámetros del modelo de Hogg.

Calculo del (R5)

$$R_5 = R \frac{A^C - B}{\left[A \left(\frac{D_0}{D_R} - 1 \right) \right]^C - B}$$

Coefficiente de corrección R5

H/Lo	μ	A	B	C
∞	Cualquier valor	3.115	0	0.584
10 DR/Do>0.7	0.5	2.46	0	0.592
10 DR/Do<0.7	0.5	371.1	2	0.219
10 DR/Do>0.426	0.4	2.629	0	0.548
10 DR/Do<0.426	0.4	2283.4	3	0.2004

Fuente: Hoffman (1985)

R5 = 48.28 cm

Longitud característica (L0)

$$L_0 = \frac{YR_5 + \sqrt{(YR_5)^2 - 4AXR_5}}{2}$$

Coefficiente de L0

H/Lo	μ	X	Y
10	0.5	0.183	0.62
10	0.4	0.192	0.602
∞	Cualquier valor	0.18	0.525

Fuente: Hoffman (1985)

Lo = 25.10 cm

Indica que el pavimento se encuentra débil sobre una sub rasante fuerte.

Cálculo del Módulo de elasticidad de la sub rasante (E0, Esg)

:

$$E_0 = \left(\frac{K * I * P}{L_0 * D_0} \right) \frac{S_0}{S}$$

Lo = 25.10 cm

Eo = 317.31 kg/cm

Determinación de S_{Neff} y S_{Nreq}

Según AASHTO 93 calcula el número estructural efectivo y el número estructural requerido.

SN – Efectivo (S_{Neff})

De acuerdo a la guía AASHTO 93, en relación entre el S_{Neff} , el espesor h_p y la rigidez del pavimento E_p , tiene la siguiente expresión:

$$S_{N_{eff}} = 0.0182L_0 \sqrt[3]{E_{sg}}$$

$L_0 = 25.10 \text{ cm}$

$E_{sg} = 317.31 \text{ kg/cm}^2$

$S_{nff} = 2.17$

SN – Requerido (S_{Nreq})

Es el número estructural según AASHTO, según la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \log W_{18} = & Z_R * S_0 + 9.36 * \log(S_{N_{req}} + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(S_{N_{req}} + 1)^{5.19}}} \\ & + 2.3 \log(M_R) - 8.07 \end{aligned}$$

The screenshot shows a software interface for calculating the AASHTO 93 equation. The window title is "Ecuación AASHTO 93". It has several sections for input:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for "Pavimento flexible" (selected) and "Pavimento rígido".
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu showing "95 % Zr=-1.645" and a text field for "So" with the value "0.45".
- Serviciabilidad inicial y final:** Text fields for "PSI inicial" (4.2) and "PSI final" (3).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text field for "Mr" with the value "17380 psi".
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Text fields for "Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)", "Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)", "Coeficiente de transmisión de carga - (J)", and "Coeficiente de drenaje - (Cd)".
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for "Calcular SN" (selected) and "Calcular W18".
- Número Estructural:** A text field for "SN" with the value "5.07".
- W18:** A text field for "W18" with the value "27732597.6".

At the bottom, there are "Calcular" and "Salir" buttons.

W18: 27732597.6 ejes equivalentes de 8.2 ton.

Psi inicial: 4.2

Psi final: 3

So: 0.45

Confiabilidad al 95%: Z = -1.645

De acuerdo a los cálculos para el número estructural requerido se reemplaza y se tiene el siguiente resultado:

SNreq = 5.07

Diseño de sobrecarpetas – método no destructivo de deflexión.

El diseño de la sobre carpeta asfáltica para deficiencias estructurales de pavimentos flexible, según ASSHTO 93 está dada por la siguiente ecuación:

$$H_{Ac} = \left(\frac{SN_{req} - SN_{eff}}{\alpha} \right)$$

SNreq: 5.07

SNeff: 2.71

Reemplazando:

Hac = 2.9 cm

Tabla 26. Resumen del refuerzo estructural asfáltico

PROGRESIVA (Km)	LADO	DEFLEXIONES Do	R5 (cm)	L0 (cm)	E0 (kg/cm2)	CBR (%)	Sneff	Mr	Sneff diseño	¿Require refuerzo estructural? Sneff/SNrq<1	Refuerzo estructural asfáltico Hac(cm)
0+800	DER	116	48.28	25.10	317.31	20.00	2.71	17380.01	5.07	SI	2.9
0+900	DER	131	60.64	32.68	226.73	20.00	2.98	17380.01	5.07	SI	2.6
1+000	DER	138	56.28	30.01	230.79	20.00	2.77	17380.01	5.07	SI	2.9
1+100	DER	132	35.41	17.02	366.54	20.00	1.98	17380.01	5.07	SI	3.9
1+200	DER	140	48.63	25.31	261.36	20.00	2.48	17380.01	5.07	SI	3.2
1+300	DER	146	49.22	25.67	246.86	20.00	2.45	17380.01	5.07	SI	3.3
1+400	DER	128	36.15	17.50	371.18	20.00	2.05	17380.01	5.07	SI	3.8
1+500	DER	129	61.69	33.31	225.60	20.00	3.04	17380.01	5.07	SI	2.5
1+600	DER	121	45.99	23.68	316.24	20.00	2.55	17380.01	5.07	SI	3.1
1+700	DER	130	49.16	25.64	277.72	20.00	2.59	17380.01	5.07	SI	3.1
1+800	DER	113	29.71	13.26	495.80	20.00	1.79	17380.01	5.07	SI	4.1
1+900	DER	140	22.82	7.16	411.47	20.00	0.88	17380.01	5.07	SI	5.2
2+000	DER	124	34.66	16.54	397.54	20.00	2.00	17380.01	5.07	SI	3.8
2+100	DER	120	35.49	17.08	403.78	20.00	2.08	17380.01	5.07	SI	3.7
2+200	DER	126	34.39	16.37	395.45	20.00	1.97	17380.01	5.07	SI	3.9
2+300	DER	132	37.59	18.42	347.55	20.00	2.08	17380.01	5.07	SI	3.7
2+400	DER	134	37.36	18.27	346.47	20.00	2.06	17380.01	5.07	SI	3.8
2+500	DER	126	32.08	14.86	415.95	20.00	1.84	17380.01	5.07	SI	4.0
2+600	DER	135	32.82	15.34	381.63	20.00	1.82	17380.01	5.07	SI	4.1
2+700	DER	131	37.92	18.63	349.03	20.00	2.11	17380.01	5.07	SI	3.7
2+800	DER	136	36.83	17.93	343.84	20.00	2.02	17380.01	5.07	SI	3.8

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de la media

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

$$D = 3.58 \text{ cm}$$

Cálculo de desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{(n - 1)}}$$

$$\sigma = 0.61$$

Cálculo del coeficiente de variación

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{D}} * 10$$

$$CV = 17.0$$

INTERPRETACIÓN

Según lo propuesto en tercer específico de la investigación, la alternativa de mantenimiento periódico es el adecuado porque tiene ventajas de mejoramiento de refuerzo estructural. Por ello, según la AASTHO el espesor calculado en base al número estructural requerido es de 3.5 cm, a nivel de la capa de carpeta asfáltica de acuerdo a los ejes equivalentes de 8.2 ton.

H3: De acuerdo a la tabla 24 y figura 17, se acepta la tercera hipótesis específica, porque la metodología de mantenimiento es la más adecuada en mejorar la vida remanente, debido a que estructuralmente nuestro pavimento flexible se encuentra de carácter regular. Por lo cual se corregirá y reforzará las deficiencias superficiales y estructurales aplicando la técnica de sellos asfálticos.

De acuerdo a los resultados obtenidos con los métodos de Deflectometría y el Rugosímetro de merlín se obtuvieron resultados de los coeficientes variación en relación a dos distintas unidades de medida, los de Viga Benkelman está en unidad de milímetros, mientras tanto el IRI está en unidades de metros por kilómetros. Para

ver la variación en relación a sus resultados cual es el que predomina en el análisis de la vida remanente, lo cual se compara a continuación:

Tabla 27. **Coefficientes de variaciones en relación de los resultados.**

Coefficiente de variación		
Resultados	Viga Benkelman	IRI
Media	130	4.14
Desviación estándar	8.3	0.124
Coefficiente de Variación	6.4	2.99

Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de variación para el ensayo de Viga Benkelman es 6.4, mientras tanto el coeficiente de variación del IRI es 2.99.

El que tiene mayor dispersión relativa son los resultados de Viga Benkelman, por ello la vida remanente está ligado directamente con la Deflectometría porque hace el análisis de la evaluación estructural del pavimento.

V. DISCUSIÓN

La vida remanente del pavimento

Referente al objetivo general, de acuerdo a las tablas 12 y 13, la evaluación de la vida remanente del pavimento flexible de la Av. Circunvalación -Puno, fue necesario determinar el cálculo del ESAL actual que es de 2706554.4 y la determinación del $ESAL_{1.5}$ es de 2975592.3, Lo cual nos da como resultado de 9 años de su periodo de vida antes de que se deteriore por completo y necesite una nueva carpeta asfáltica. La fortaleza de aplicar este método es muy importante debido a que es necesario conocer las condiciones de los pavimentos a una escala más amplia para prevenir desgastes estructurales y posteriormente prevenir accidentes vehiculares; de acuerdo a esta investigación una de las debilidades son los datos de aforos vehiculares, debido a que en una semana no basta para aproximar los resultados de los vehículos exactos y eso hace que sea una debilidad para esta investigación. Según los resultados obtenidos por (Carrasco Cantos & Vizhñay Reyes, 2019), analiza la evaluación estructural de la vida remanente del pavimento flexible por carriles, en sus cálculos obtuvo como resultado 29 años en el carril derecho, mientras que en el carril izquierdo fue de 12 años, para tal efecto utilizaron sus cálculos en función del ESAL, por lo cual el ESAL fue de 3242339,6 en el carril derecho y en el carril izquierdo el ESAL fue de 2810591.2 lo cual trabajaron con un periodo de diseño de 20 años, lo que implica la mayor cantidad del ESAL tiene el carril izquierdo. Por otro lado, una de sus fortalezas de esta investigación es que los resultados de la vida útil remanente de las calzadas según el Instituto del asfalto indica que la calzada derecha tiene suficiente capacidad para soportar las cargas vehiculares durante el periodo de 12 años. Los resultados obtenidos de las diferentes investigaciones son similares a lo propuesto en esta investigación, para la presente investigación se trabajó para un solo carril en dos sentidos con una vida remanente de 9 años, mientras en otras investigaciones optaron sus estudios por dos carriles y tuvieron resultados de 29 y 12 años de su vida útil, antes de que el pavimento requiera una reconstrucción total.

Las Rugosidades superficiales del pavimento

De acuerdo a las tablas 14, 15 y la figura 16, la rugosidad del pavimento se condiciona en términos de calidad bueno, regular y malo de acuerdo a los rangos, por ello las rugosidades superficiales obtenidas son 4.11 y 4.16 m/km; teniendo estos resultados se interpreta que la condición del pavimento es de carácter malo ya que cumplió su vida útil. Por consiguiente, una de las fortalezas de este método aplicado es la verificación superficial del estado del pavimento a una escala más minuciosa. Por otro lado, la debilidad que cuenta es el desgaste del patín del instrumento de Merlín, esto hace que las lecturas de los resultados no se puedan dar verídicamente. Según los resultados (Ramos Vilca, 2015), obtuvo una rugosidad de 4.96 m/km respectivamente, con carácter de calidad malo lo que implica que el pavimento en mención tiene una valoración de carácter envejecido entre 2.0 hasta 6.50 m/km, según lo especificado en la norma de CORREVIAL. De manera similar según los resultados de (Arteaga Villanuava & Noriega Poma, 2019), la rugosidad superficial es 6.0 m/km respectivamente alcanzando así la calidad del pavimento en condición muy malo; viendo así los resultados de los trabajos realizados de otras investigaciones son similares debido a que la zona de la sierra del Perú demuestra una condición climática accidentada.

Las Deflexiones

De acuerdo a las tablas 17 y 18, la deflexión admisible en la investigación es de 80×10^{-2} mm y esto actúa como un indicador de la condición del pavimento, mientras que la deflexión característica promedio en el carril derecho se tiene 130×10^{-2} mm y la deflexión característica promedio en el carril izquierdo es 129×10^{-2} mm, lo cual nos indican que las deflexiones están por encima de la deflexión admisible indicándonos que el pavimento se encuentra fatigado. Por consiguiente, una de las fortalezas de esta metodología es conocer a mayor profundidad el comportamiento estructural de las capas existentes. Mientras tanto, una de las debilidades es la mala calibración del dial y esto hace que las lecturas no sean verídicas. Según los resultados de (Ramos Vilca, 2015), la deflexión admisible en su investigación se tiene 127×10^{-2} mm, mientras tanto su deflexión característica es de 69.22×10^{-2} mm en el carril derecho y en el izquierdo

65.53×10^{-2} mm, y esto indica que se encuentra en buenas condiciones por lo que no supera a su deflexión admisible. Mientras tanto según (Fernandez Ruiz, 2020), nos indica que su deflexión admisible es de 71.0×10^{-2} mm y su deflexión característica es de 67.0×10^{-2} mm, por lo tanto, se interpreta que el pavimento es de calidad aceptable.

Alternativa de propuesta de mantenimiento para conservar la vida remanente.

De acuerdo a las evaluaciones realizadas con la viga Benkelman y el Rugosímetro de Merlín nos indicaron que la estructura del pavimento se encuentra en regular estado; por ello se planteó hacer el método de sellado asfáltico con un ESAL de diseño 27732597.6 de ejes equivalentes de 8.2 ton para un periodo de diseño de 9 años; de acuerdo a la propuesta se planteó hacer un mantenimiento en el lugar del estudio luego hacer un mejoramiento de carpeta asfáltica con un espesor de 3.58 cm según AASTHO. Estos espesores calculados mejoraran el tiempo de vida útil del pavimento flexible. Una de las fortalezas de la aplicación de este método de mantenimiento es la conservación de la carpeta asfáltica y permite reforzar la capa del pavimento flexible. Una de las debilidades de este método de mantenimiento es deterioro acelerado de acuerdo a la estructura de las inferiores del pavimento y esto se hace costoso. Según (Balerezo Zapana, 2017), los valores obtenidos en su investigación referentes al diseño del refuerzo del pavimento flexible tuvieron como resultado el periodo de diseño para 20 años con un refuerzo de 2.88 cm de sobre capa asfáltica, en conclusión, para optimizar el entero perfecto trabajo con 3 centímetros de recapeo. Por otro lado, según (Carrasco Cantos & Vizhñay Reyes, 2019) hizo las evaluaciones en el cual identifico las deficiencias estructurales de las dos calzadas mediante el método de AASHTO e Instituto de Asfalto, en el cual en la calzada derecha necesita un refuerzo estructural de 1 pulgada mientras en la izquierda necesita una sobre capa de 3 pulgadas.

VI. CONCLUSIONES

1. La vida remanente del pavimento flexible

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el estudio de tráfico, Deflectometría e IRI, indican que el pavimento flexible de la avenida Circunvalación se encuentra deteriora y ya cumpliendo su vida útil estructuralmente por ello le queda un tiempo de vida útil de 9 años con carácter estructural de la carpeta asfáltica desgastada, capa base en condición mala y capa sub base buena, por lo tanto, se concluye que para un IMDA de 6269.6 veh/día su vida remanente de es 9 años.

2. Rugosidad del pavimento flexible

Se determinó las rugosidades promedio del pavimento, donde el carril derecho es de 4.11 m/km, mientras tanto el carril izquierdo es de 4.16 m/km, por lo tanto, se concluye que el pavimento de la avenida Circunvalación se encuentra en calidad regular perteneciente a los pavimentos envejecidos.

3. Deflexión del pavimento flexible

Se determinó la deflexión admisible que es de 80×10^{-2} mm, mientras tanto las deflexiones características promedio es de 130×10^{-2} mm por el carril derecho y 129×10^{-2} mm por el carril izquierdo, mientras tanto el radio de curvatura es 72.0 m. Por ende, se concluye que las deflexiones características promedio están por encima de la deflexión admisible y esto indica que la condición estructural del pavimento se encuentra totalmente desgastado, por lo cual nos indica que el pavimento requiere un mejoramiento a nivel estructural.

4. Alternativa propuesta del tipo de mantenimiento.

Según lo evaluado con los ensayos de Viga Benkelman e IRI se encontraron deficiencias estructurales, por lo cual se necesita mantenimientos periódicos. Por ello se concluye que el método de mantenimiento periódico es el más adecuado por que mejora la estructura del pavimento flexible a nivel de la carpeta asfáltica para luego realizar sus sellos asfálticos con un espesor de 3.5 cm para su refuerzo.

VII. RECOMENDACIONES

- En la evaluación estructural de los pavimentos se recomienda hacer de forma minuciosa los ensayos requeridos a nivel de carpeta asfáltica, capa base, sub base, para así dar la mejor interpretación el comportamiento estructural de la vida remanente del pavimento y detectar las deficiencias superficiales y estructurales y así proponer la mejor alternativa de solución frente a estas deficiencias presentadas.
- En la evaluación de los pavimentos flexibles se recomienda realizar dos veces los estudios con IRI, de acuerdo a sus carriles, para así interpretar mejor las deficiencias de las posibles fallas del pavimento.
- Se recomienda realizar con frecuencia las evaluaciones de los pavimentos con el equipo de Viga Benkelman, con el objeto de poder mitigar los deterioros producidos por los agentes externos con el fin de garantizar la vida útil del pavimento.
- Se recomienda hacer los mantenimientos rutinarios con la finalidad de conservar su vida útil del pavimento y no estar esperando a que el pavimento se deteriore totalmente.

REFERENCIAS

- AASHTO. (1993). Guide for Design of Pavement Structures. USA: American Association of State Highway and Transportation.
- American Association of State Highway and Transportation Officials.* (1993). D.C, USA.
- Armijo Salinas, C. R. (2010). *Evaluacion superficial de algunas calles de la ciudad de Loja*. Retrieved from <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1484/3/Tesis.pdf>
- Arteaga Villanuava, G. D., & Noriega Poma, V. H. (2019). Analisis de la variacion del indice de regularidad internacional en funcion de variables constructivas y geometricas en via .
- Asphalt Institute. (1983). Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements. Lexington: Manual Series No. 22.
- ASTM. (2008). Standard practice for road and parking lots pavement conditions survey. American Society for Testing and Materials. USA: Designation D 6433-07.
- Badilla Vargas, G. (2009). Determinacion de la Regularidad Superficial del Pavimento, mediante el Calculo Indice de Regularidad Internacional (IRI).
- Baena Paz, G. (2017). *Metodologia de la Investigacion* (Vol. 3 ra Edicion). Mexico: Grupo Editorial Patricia.
- Balerezo Zapana, J. (2017, Agosto). Evaluacion estructural usando Viga Benkelman aplicada a un pavimento.
- Bejarano , L. E. (2013). Analisis estructural de un pavimento flexible con presencia de deterioro, por medio de deflexiones obtenidas con equipo de carga dinamica y estatica.
- Cabrera Martinez , J. (2013). *Evaluación, Análisis y Determinación de la Vida Remanente mediante la Auscultación con el Ground Penetrating Radar (GPR) en la carretera Nuevo Laredo – CD Acuña*. Universidad Autonoma de Mexico.
- Carrasco Cantos, S. F., & Vizhñay Reyes, C. J. (2019). Evaluacion estructural vial para Azogues mediante el analisis de deflexiones aplicando la viga Benkelman.
- Carreteras, M. d. (2018). Mantenimientos o Conservacion vial.
- Chero Canales, J. L. (2019). *Analisis y evaluacion del proyecto de reciclado y recapeo de la carretera Sullana - Dv. Talara del km 0+000 al km 65+100 - Sullana - Piura*. Universidad Nacional de Piura, Piura.
- Davila Ruiz, M. V. (2012). *Diseño de la Rehabilitacion del pavimento flexible en el tramo "Guayllabamba - El Pisque"*. Quito.
- De Aguila Rodriguez, P. (2006). Metodologia para la Determinacion de la Rugosidad de los Pavimentos. *Merliner*.
- Espinoza Montes, C. (2010). *Metodologia de Investigacion Tecnologica*. Peru.

- Fernandez Ruiz, M. A. (2020). Determinacion del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Cajamarca - Celendin - Balsas, tramo Chaquilpampa - Santa Rosa de Chaquil, mediante el analisis deflectometro.
- Gamarra Rivera, M. D., & Vega Lopez, O. H. (2018). *Evaluación Del Diseño Estructural Para Optimizar La Vida Útil Del Pavimento Flexible Lado Aire Del Aeropuerto De Ilo, Moquegua 2018*. Universidad Cesar Vallejo, Moquegua. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12692/37305>
- Garcés Velecela, D. (2017). *Evaluación vial y plan de rehabilitación y mantenimiento de la vía Azogues- Cojitambo- Déleg- La Raya*. Institucional Universidad de Cuenca , Cuenca.
- Gary E., E., Travis M., T., Jonathan L. , G., Beth, V., & Gonzalo R., R. (n.d.). Marco de vida util restante del pavimento reformulado.
- Hernandez Sampieri, R. (2017). *Metodologia de la Investigacion* (Vol. 6 ta Edicion). Mexico: MC Graw Hill.
- Hoffman , M., & Del Aguila, P. (1985). *Estudios de Evaluacion Estructural de Pavimentos Basados en la Interpretacion de Curvas de Deflexiones* . Lima.
- Infrastructure, M. E. (2013). *Pavimento restante intervalo de servicio*. Estados Unidos. Retrieved from <http://www.fhwa.dot.gov/research>.
- Mallma Jimenez, J. L. (2018). *En su tesis "Evaluación De La Carpeta Asfáltica Del Pavimento Flexible Aplicando El Método Índice De Condición Del Pavimento*. Universidad Peruana los Andes, Huancayo. Retrieved from <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/1041>
- Medina Palacios, A., & De la Cruz Puma, M. (2015). *Evaluacion Superficial del Pavimento Flexible del jr. Jose Galves del Distrito de Lince aplicando el Metodo del PCI*. Lima.
- Melgar Salmon, J. R., & Irigoyen Ray, J. L. (1982). *Estudio de Reabilitacion de Carreteras en el Pais*. Lima.
- Mendieta Quito, D. E. (2016). Aplicacion de una metodologia para rehabilitacion de pavimentos mediante sobre capas de esfuerzo, utilizando AASHTO 93.
- MTC. (2013). Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. Peru: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- MTC. (2013). Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos. Peru: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- MTC. (2016). Manual de Ensayo de Materiales. Peru: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- MTC. (2016). Manual de Ensayos de Materiales. Lima.
- Muñoz Rocha, C. I. (2015). *Metodologia de la Investigacion*. Mexico.
- Ramos Vilca, W. (2015). Evaluacion del estado del pavimento por deflectometria e indice de rugosidad internacional de la carretera Puno - Vilque - Mañazo - 4 km criticos - 2015.

- Ríos Cotazo, N. X., Bacca Cortés, B., Caicedo Bravo, E., & Orobio Quiñónez, A. (2020). Revisión de Métodos para la Clasificación de Fallas Superficiales en Pavimentos Flexibles. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*, 30. Retrieved from <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/4385>
- Sanchez, F. (2009). *Compilacion de diapositivas del curso basico de diseño de pavimentos*. Colombiana de Ingenieria Julio Garavito, Bogota.
- Sullca Esplana , E. R. (2017). *Evaluación De La Capacidad Estructural Y Funcional Del Pavimento Según La Norma Peruana De Pavimentos, Durante El Proceso De Construcción Carretera Huancavelica – Lircay, Periodo 2016*. Huancavelica, Peru. Retrieved from <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1068>
- The Asphalt Institute. (1983). Asphalt Cold - mix Recycling.
- The Asphalt Institute. (1983). Asphalt Overlay for Highway and Street Rehabilitation. Manual Series.
- Vivar Romero, G. (1995). *Diseño y construccion de pavimentos* (Vol. 2° Edicion). Lima, Peru.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA						
TITULO	"EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN – PUNO, 2021"					
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES E INDICADORES			
			VAR. DEPENDIENTE: VIDA REMANENTE			
			DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO	METODOLOGÍA
¿Cuál será la vida remanente del pavimento flexible en la av. Circunvalación utilizando la evaluación estructural por Deflectometria e IRI, en la Ciudad de Puno, 2021?	Determinar la vida remanente del pavimento flexible utilizando la evaluación estructural mediante Deflectometria e IRI en la av. Circunvalación, 2021.	La evaluación estructural mediante la Deflectometria e IRI permitirá determinar la vida remanente del pavimento en la av. Circunvalación de la Ciudad de Puno, 2021.	D1. Vida útil D2. Características físicas de los materiales	I1. ESAL (EE de 8.2 ton) I1. Carpeta asfáltica I2. Base I3. Sub base	Fichas técnicas Microsoft Excel 2016 MTC -2014	Enfoque de investigación: CUANTITATIVA
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	VAR. INDEPENDIENTE: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL			Tipo de investigación: APLICADA Nivel de investigación: EXPLICATIVO Diseño de investigación: EXPERIMENTAL – cuasi experimenta.
¿Cuál es el estado superficial del pavimento flexible aplicando el IRI en la determinación de la vida remanente de la avenida Circunvalación?	Evaluar el estado superficial del pavimento flexible aplicando el IRI en la determinación de la vida remanente de la avenida circunvalación	La evaluación del estado superficial mediante el IRI determinara la vida remanente del pavimento flexible en la av. Circunvalación	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO	
¿Cuál es la condición estructural del pavimento flexible empleando la Deflectometria en la avenida Circunvalación, Puno?	Evaluar la condición estructural del pavimento flexible mediante Deflectometria en la avenida Circunvalación, Puno.	La evaluación estructural mediante la Deflectometria permitirá dimensionar la vida remanente del pavimento flexible en la av. Circunvalación	D1. IMD D2. Condiciones físicas	I1. ESAL (EE 8.2 ton) I2. Características del IRI I1. Muy bueno I2. Bueno I3. Regular I4. Malo	MTC -2014 Rugosimetro de MERLIN ASTM D 6433 - 07	
¿Qué tipo de mantenimiento es el adecuado para el pavimento flexible en la optimización de la vida remanente de la avenida Circunvalación?	Seleccionar el tipo de mantenimiento adecuado para optimizar la vida remanente del pavimento flexible en la avenida Circunvalación	El tipo de mantenimiento adecuado es el periódico para optimizar la vida remanente del pavimento flexible	D1. Tipos de mantenimientos	I1. Mantenimiento rutinario. I2. Mantenimiento preventivo. I3. Mantenimiento periódico.	Manual de mantenimiento y rehabilitación de carreteras	

ANEXO 2

MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES					
TITULO: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN – PUNO, 2021					
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable dependiente: VIDA REMANENTE	La vida remanente del pavimento es un método para verificar cuanto de vida le queda al pavimento (Gary et al, 2013)	Consiste en proponer la alternativa de solución para mejorar su vida útil.	D1. Vida útil D2. Características físicas de los materiales	I1. ESAL (EE de 8.2 ton) I1. Carpeta asfáltica. I2. Base I3. Sub base	Razón
Variable independiente: EVALUACIÓN ESTRUCTURAL	La evaluación estructural del pavimento nos proporciona el desgaste del estado estructural y superficial producto de los agentes externos. (Gamarra et al,2018)	Consisten en determinar las deflexiones, radios de curvatura y las irregularidades superficiales del pavimento flexible.	D1. IMD D2. Condiciones físicas D1. Deflexión D2. Deformación D1. Tipos de mantenimientos	I1. ESAL (EE) I2. Características del IRI I1. Muy bueno I2. Bueno I3. Regular I4. Malo I1. Deflexión característica I2. Deflexión adm. I3. Deflexión prom. I1. Radio de curvatura I1. Mantenimiento rutinario. I2. Mantenimiento preventivo. I3. Mantenimiento periódico	Razón



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

"Evaluación Estructural por Deflectometría e IRI Para Determinar la Vida Remanente del Pavimento Flexible en la Av. Circunvalación - Puno, 2021"

OBRA :
CANTERA :
MATERIAL :
UBICACIÓN :

TEC. RESPONSABLE:
ING. RESPONSABLE:
FECHA :

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)
(MTC E 132 - 2016)

Molde N°						
Capa N°						
Golpes por capa N°						
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr.					
Peso del molde	gr.					
Peso del suelo húmedo	gr.					
Volúmen del molde	cc.					
Densidad Humeda	gr./cc					
Humedad	%					
Densidad seca	gr./cc					
Tarro N°						
Tarro suelo húmedo	gr.					
Tarro suelo seco	gr.					
Agua	gr.					
Peso del Tarro	gr.					
Peso del suelo seco	gr.					
Humedad	%					
Promedio de la humedad	%					

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

PENETRACION

PENETRACION			Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones
Tiempo (min.)	mm	plg	Dial	Lb	Lb/plg ²	Dial	Lb	Lb/plg ²	Dial	Lb	Lb/plg ²

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Bases y Contrapisos y Construcción
ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 81732

William Ricardo Gomez
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 190525

Ing. Marco Antonio Chura A.
Ing. CIVIL
CIP 177157

NOMBRES DE ESPECIALISTAS	CIP	CALIFICACION	FIRMA
Alfredo Alarcon Atakuchi	81732	1	
WILLIAN H. RUELAS GOMEZ	190525	1	
Marco A. Chura Apaza	177157	1	



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA



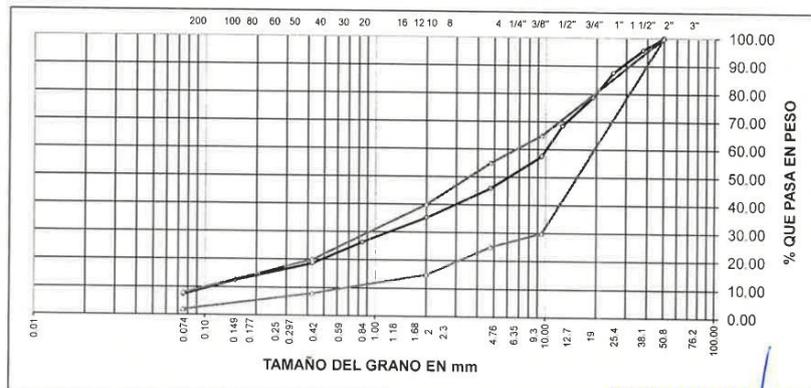
OBRA : EVALUACION ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA
 REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACION - PUNO, 2021
 CANTERA : CALICATA EN PLATAFORMA
 MUESTRA : BASE GRANULAR
 UBICACIÓN : PUNO

FECHA : 02/09/2021

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000					A	Peso inicial : 6695 Grs
2 1/2"	63.000						Peso fracción : 854 Grs
2"	50.000				100.00	100 - 100	Grava : 54.10 %
1 1/2"	37.500	295.00	4.40	4.40	95.60		Arena : 38.59 %
1"	25.000	545.00	8.10	12.50	87.50		Fino : 7.31 %
3/4"	19.000	586.00	8.80	21.30	78.70		W natural : 5.30 %
1/2"	12.500	692.00	10.30	31.60	68.40		
3/8"	9.500	726.00	10.80	42.40	57.60	30 - 65	LIMITES DE CONSISTENCIA
No.04	4.750	785.00	11.70	54.10	45.90	25 - 55	L.L. : 22.84 %
No.10	2.000	198.00	10.64	64.74	35.26	15 - 40	L.P. : N.P %
No.20	0.840	166.00	8.92	73.66	26.34		I.P. : N.P. %
No.40	0.425	143.00	7.69	81.35	18.65	8.00 - 20	
No.100	0.150	115.00	6.18	87.53	12.47		CLASIFICACION
No.200	0.075	96.00	5.16	92.69	7.31	2.00 - 8.00	SUCS : GM
<No.200		136.00	7.31	100.0			AASHTO : A-1-a (0)

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARIA.



OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021

CANTERA : CALICATA EN PLATAFORMA

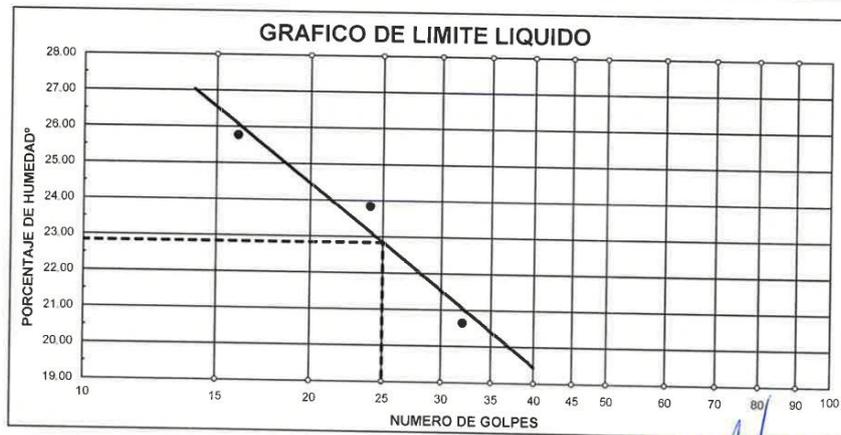
MUESTRA : BASE GRANULAR

UBICACION : PUNO

FECHA : 02/09/21

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO
	No. DE GOLFES	24	16	
01. No. DE GOLFES	32	24	16	
02. TARRO No.	47	48	49	
03. SUELO HUMEDO * TARRO g	36.47	39.41	33.94	
04. SUELO SECO * TARRO g	33.25	35.26	30.54	
05. PESO DEL AGUA g	3.22	4.15	3.40	
06. PESO DEL TARRO g	17.65	17.85	17.35	
07. PESO DEL SUELO SECO g	15.60	17.41	13.19	
08. HUMEDAD %	20.64	23.84	25.78	
L.L.= 22.84 % L.P.= N.P I.P.= N.P.				



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Suelos y Pavimentos - Mecánica de Suelos y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 61732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA
REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN – PUNO, 2021
CANTERA : CALICATA EN PLATAFORMA
MUESTRA : BASE GRANULAR
UBICACIÓN : PUNO

FECHA : 02/09/2021

EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)			
Muestra	N°1	N°2	N°3
Hora de entrada	13:45	13:47	13:49
Hora de salida	13:55	13:57	13:59
Hora de entrada	13:56	13:58	14:00
Hora de salida	14:16	14:18	14:20
Altura de nivel material fino	6.20	6.30	6.10
Altura de nivel arena	3.10	3.00	3.10
Equivalente de Arena	50.00	47.60	50.80

Equivalente de Arena Promedio: 49.5 %

OBSERVACION:

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Estudios de Geotecnia y Construcción

ALFREDO ALFONSO ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS · PAVIMENTOS · CIMENTACIONES · LABORATORIO · CALIDAD · TECNOLOGÍA DE MATERIALES · SUPERVISIÓN · PROYECTOS DE INGENIERÍA · CONSULTARÍA

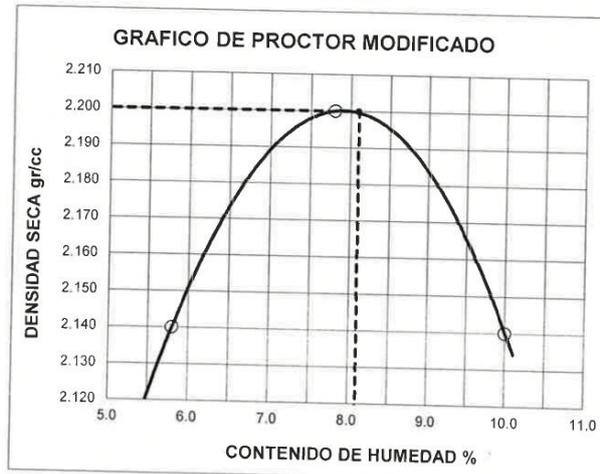


OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021
CANTERA : CALICATA EN PLATAFORMA
MUESTRA : BASE GRANULAR
UBICACIÓN : PUNO

FECHA : 02/09/2021

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	10,695	10,924	10,875		
PESO MOLDE	6,001	6,001	6,001		
PESO SUELO COMPACTADO	4,694	4,923	4,874		
VOLUMEN DEL MOLDE	2,077	2,077	2,077		
DENSIDAD HUMEDA	2,26	2,37	2,35		
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	5
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	712.00	581.00	563.00		
SUELO SECO + RECIPIENTE	673.00	539.00	512.00		
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00		
PESO DE AGUA	39.00	42.00	51.00		
PESO DE SUELO SECO	673.00	539.00	512.00		
CONTENIDO DE HUMEDAD	5.80	7.80	10.00		
DENSIDAD SECA	2.14	2.20	2.14		



Max. densidad seca
2.200 gr/cm³

Conten. humedad óptima
8.10 %

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Pavimentos, Estructuras, Consultoría y Construcción

ALFREDO ALFONSO CON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 81732



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS · PAVIMENTOS · CIMENTACIONES · LABORATORIO · CALIDAD · TECNOLOGÍA DE MATERIALES · SUPERVISIÓN · PROYECTOS DE INGENIERÍA · CONSULTARÍA.



OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA
 REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUVALACIÓN – PUNO, 2021
 CANTERA : CALICATA EN PLATAFORMA
 MUESTRA : BASE GRANULAR
 UBICACIÓN : PUNO

FECHA 02/09/2021

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

	D		E		F	
	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Molde N°	56		25		12	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo gr.	12974		12726		12539	
Peso del molde gr.	7714		7727		7816	
Peso del suelo húmedo gr.	5260		4999		4723	
Volumen del molde cc.	2213.8		2213.8		2213.8	
Densidad Humeda gr./cc.	2.38		2.26		2.13	
Humedad %	8.00		8.10		8.30	
Densidad seca gr./cc.	2.20		2.09		1.97	
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo gr.	672		523		598	
Tarro suelo seco gr.	622		484		552	
Agua gr.	50		39		46	
Peso del Tarro gr.	0		0		0	
Peso del suelo seco gr.	622		484		552	
Humedad %	8.0		8.1		8.3	
Promedio de la humedad %						

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%
NO REGISTRA EXPANSION											

PENETRACION

PENETRACION			Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg ²	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg ²	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg ²
0.30	0.600	0.25	102	224.4	75	81	178.2	59	56	123.2	41
1.00	1.300	0.50	495	1089	363	244	536.8	179	147	323.4	108
1.30	1.900	0.075	874	1922.8	641	562	1236.4	412	326	717.2	239
2.00	2.500	0.100	1203	2646.6	882	974	2142.8	714	694	1526.8	509
3.00	3.800	0.150	1954	4298.8	1433	1252	2754.4	918	812	1786.4	595
4.00	5.000	0.200	2845	6259	2086	1562	3436.4	1145	1025	2255	752
5.00	6.000	0.250	3162	6956.4	2319	2024	4452.8	1484	1251	2752.2	917
6.00	7.500	0.300	3524	7752.8	2584	2364	5200.8	1734	1784	3924.8	1308
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia, Cimentación y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIR. 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



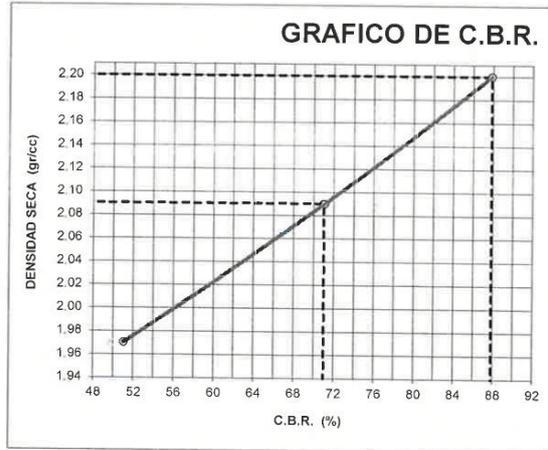
GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



PROYECTO : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021
 PROGRESIVA : CALICATA EN PLATAFORMA
 MUESTRA : BASE GRANULAR
 PROFUND. : PUNO

FECHA : 02/09/2021

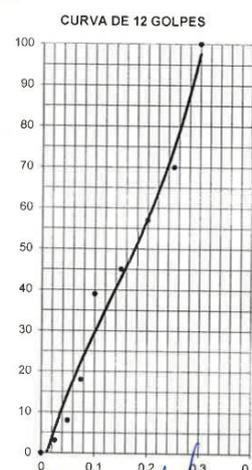
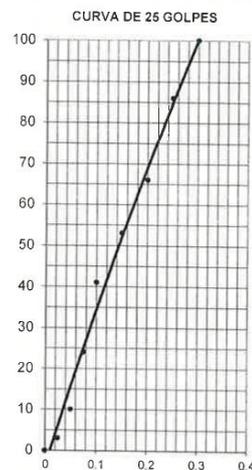
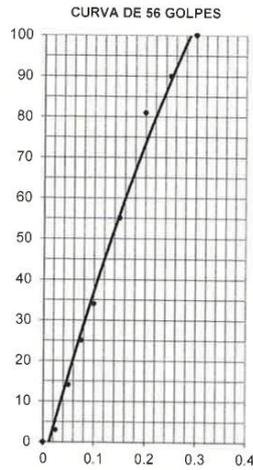


PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R.01" AL 100% = **87.9%**
 C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = **71.0%**

LEYENDA

— CURVA A 0.1"



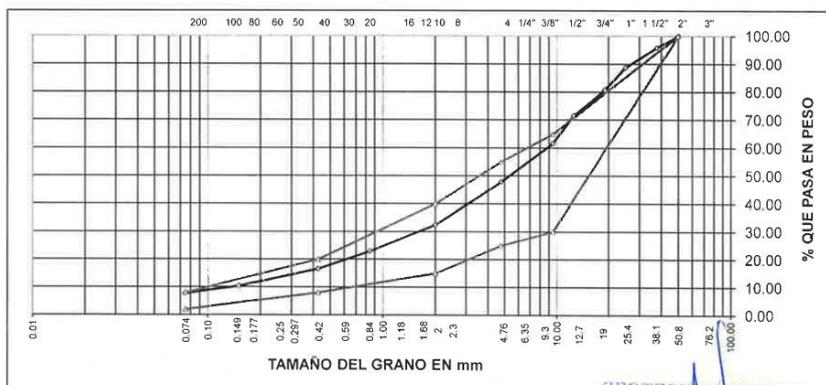
GEOTECNIA PUNO EIRL.
 Ingeniería de Puentes, Estructuras, Obras de Acabado y Construcción
 ALFREDO ALARCÓN ATAHUACMI
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIR 81732

OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN – PUNO, 2021
CANTERA : CALICATA EN PLATAFORMA
MUESTRA : SUB BASE GRANULAR
UBICACIÓN : PUNO **FECHA** : 01/09/2021

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000					A	Peso inicial : 9012 Grs
2 1/2"	63.000						Peso fracción : 1062 Grs
2"	50.000				100.00	100 100	Grava : 52.20 %
1 1/2"	37.500	382.00	4.20	4.20	95.80		Arena : 40.01 %
1"	25.000	644.00	7.10	11.30	88.70		Fino : 7.79 %
3/4"	19.000	725.00	8.00	19.30	80.70		W natural : 7.81 %
1/2"	12.500	826.00	9.20	28.50	71.50		
3/8"	9.500	896.00	9.90	38.40	61.60	30 65	LIMITES DE CONSISTENCIA
No.04	4.750	1,243.00	13.80	52.20	47.80	25 55	L.L. : 24.52 %
No.10	2.000	342.00	15.39	67.59	32.41	15 40	L.P. : NP %
No.20	0.840	211.00	9.50	77.09	22.91		I.P. : NP %
No.40	0.425	142.00	6.39	83.48	16.52	8 20	
No.100	0.150	138.00	6.21	89.69	10.31		CLASIFICACION
No.200	0.075	56.00	2.52	92.21	7.79	2 8	SUCS : GP-GM
<No.200		173.00	7.79	100.0			AASHTO : A-1-a (0)

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería en Geotecnia, Pavimentos y Construcción
ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIR 81732



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA

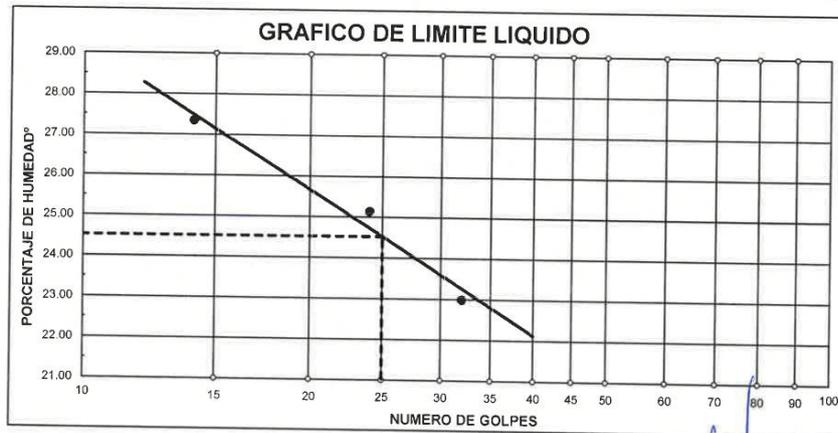


OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN – PUNO, 2021
 CANTERA : CALICATA EN PLATAFORMA
 MUESTRA : SUB BASE GRANULAR
 UBICACIÓN : PUNO

FECHA : 01/09/21

LIMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
	No.	1	2	3	4	5
01. No. DE GOLPES	32	24	14			
02. TARRO No.	1	2	3			
03. SUELO HUMEDO * TARRO g	30.08	29.32	25.65			
04. SUELO SECO * TARRO g	27.42	26.57	23.52			
05. PESO DEL AGUA g	2.66	2.75	2.13			
06. PESO DEL TARRO g	15.85	15.63	15.73			
07. PESO DEL SUELO SECO g	11.57	10.94	7.79			
08. HUMEDAD %	22.99	25.14	27.34			
L.L.= 24.52 % L.P.= NP I.P.= NP						



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
 Ingenieros de Pavimentación, Geotecnia, Construcción y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA
 alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021
CANTERA : CALICATA EN PLATAFORMA
MUESTRA : SUB BASE GRANULAR
UBICACIÓN : PUNO
FECHA : 01/09/2021

EQUIVALENTE DE ARENA (ASTM D 2419)

Muestra	N°1	N°2	N°3
Hora de entrada	13:20	13:22	13:24
Hora de salida	13:30	13:32	13:34
Hora de entrada	13:31	13:33	13:35
Hora de salida	13:51	13:53	13:55
Altura de nivel material fino	7.50	7.40	7.50
Altura de nivel arena	2.90	2.80	2.80
Equivalente de Arena	38.70	37.80	37.30

Equivalente de Arena Promedio: **37.9 %**

OBSERVACION:

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Fundaciones, Geotecnia, Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCON TIAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021

CANTERA : CALICATA EN PLATAFORMA

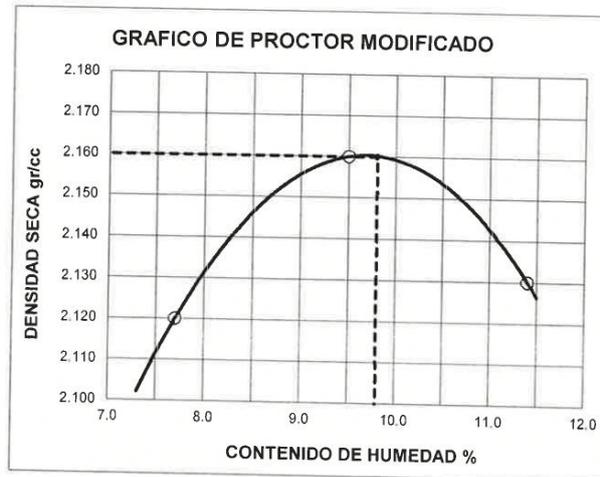
MUESTRA : SUB BASE GRANULAR

UBICACIÓN : PUNO

FECHA : 01/09/2021

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	10,772	10,955	10,944		
PESO MOLDE	6,028	6,028	6,028		
PESO SUELO COMPACTADO	4,744	4,927	4,916		
VOLUMEN DEL MOLDE	2,077.3	2,077.3	2,077.3		
DENSIDAD HUMEDA	2.28	2.37	2.37		
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	5
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	251.00	219.00	362.00		
SUELO SECO + RECIPIENTE	233.00	200.00	325.00		
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00		
PESO DE AGUA	18.00	19.00	37.00		
PESO DE SUELO SECO	233.00	200.00	325.00		
CONTENIDO DE HUMEDAD	7.70	9.50	11.40		
DENSIDAD SECA	2.12	2.16	2.13		



Max. densidad seca
2.160 gr/cm³

Conten. humedad óptima
9.80 %

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Laboratorio de Mecánica de Suelos, Geotecnia y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. C.I.F. 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRÍA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCONVALACIÓN - PUNO, 2021
 CANTERA : CALICATA EN PLATAFORMA
 MUESTRA : SUB BASE GRANULAR
 UBICACIÓN : PUNO

FECHA 01/09/2021

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

	1		2		3	
	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo gr.	13002		12862		12846	
Peso del molde gr.	7757		7845		8064	
Peso del suelo húmedo gr.	5245		5017		4782	
Volumen del molde cc	2213.8		2213.8		2213.8	
Densidad Humeda gr./cc	2.37		2.27		2.16	
Humedad %	9.70		9.70		9.80	
Densidad seca gr./cc	2.16		2.07		1.97	
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo gr.	744		816		707	
Tarro suelo seco gr.	678		744		644	
Agua gr.	66		72		63	
Peso del Tarro gr.	0		0		0	
Peso del suelo seco gr.	678		744		644	
Humedad %	9.7		9.7		8.4	
Promedio de la humedad %					9.8	

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

PENETRACION

PENETRACION			Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg ²	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg ²	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg ²
Tiempo	mm	plg									
0.30	0.600	0.25	31	68.2	23	22	48.4	16	16	35.2	12
1.00	1.300	0.50	244	536.8	179	135	297	99	78	171.6	57
1.30	1.900	0.075	618	1359.6	453	331	728.2	243	162	356.4	119
2.00	2.500	0.100	891	1960.2	653	642	1412.4	471	284	624.8	208
3.00	3.800	0.150	1054	2318.8	773	942	2072.4	691	412	908.4	302
4.00	5.000	0.200	1529	3363.8	1121	1245	2739	913	524	1152.8	384
5.00	6.000	0.250	2152	4734.4	1578	1714	3770.8	1257	984	2164.8	722
6.00	7.500	0.300	2634	5794.8	1932	2461	5414.2	1805	1174	2582.8	861
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Suelos, Pavimentos y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



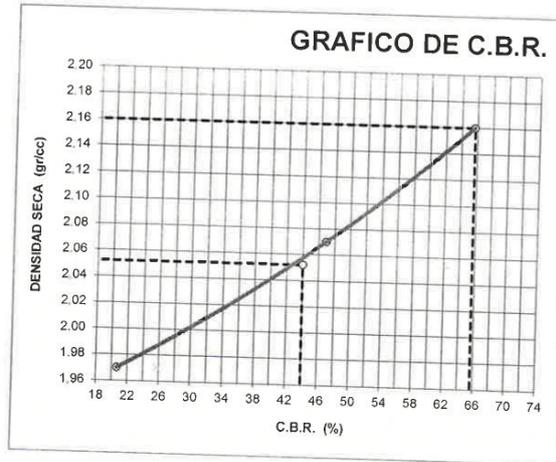
GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERIA - CONSULTARIA.



PROYECTO : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021
 PROGRESIVA : CALICATA EN PLATAFORMA
 MUESTRA : SUB BASE GRANULAR
 PROFUND. : PUNO

FECHA : 01/09/2021

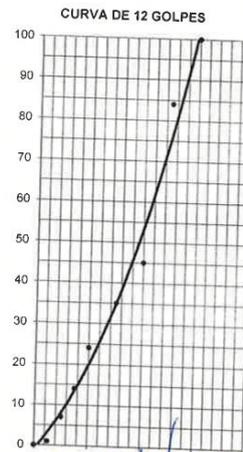
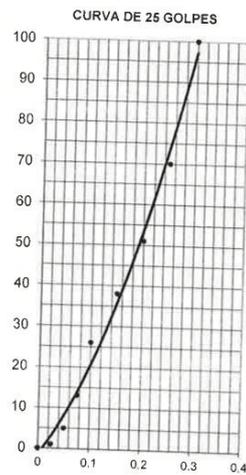
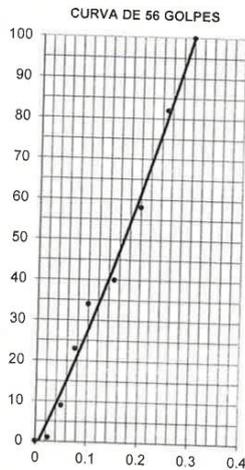


PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R.01" AL 100% = 65.7%
 C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = 44.0%

LEYENDA

— CURVA A 0.1"



GEOTECNIA PUNO EIRL.
 Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia, Construcción y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
 INGENIERO CIVIL
 Ruj. CIR/81732



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.

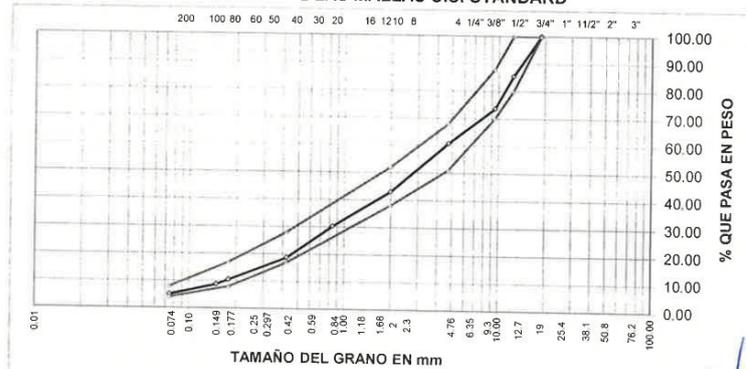


OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021
 CANTERA : CARPETA ASFALTICA
 MUESTRA : LAVADO ASFALTICO N° 01
 UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO FECHA : 01/09/2021

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (LAVADO ASFALTICO)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						Peso mezcla : 305.2 Grs
2 1/2"	63.000						Peso agregad : 287.0 Grs
2"	50.000						Cem. asfáltico : 5.96 %
1 1/2"	37.500						Grava : 39.30 %
1"	25.000						Arena : 55.70 %
3/4"	19.000				100.00	100 - 100	Fino : 5.00 %
1/2"	12.500	42.00	14.60	14.60	85.40	80 - 100	W natural : %
3/8"	9.500	34.00	11.80	26.40	73.60	70 - 88	
No.04	4.750	37.00	12.90	39.30	60.70	51 - 68	LIMITES DE CONSISTENCIA
No.10	2.000	51.00	17.80	57.10	42.90	38 - 52	L.L. : %
No.20	0.840	36.50	12.70	69.80	30.20		L.P. : %
No.40	0.425	33.00	11.50	81.30	18.70	17 - 28	I.P. : %
No.80	0.190	23.50	8.20	89.50	10.50	6 - 17	
No.100	0.150	5.00	1.70	91.20	8.80		CLASIFICACION
No.200	0.075	11.00	3.80	95.00	5.00	4 - 8	SUCS : %
<No.200		14.00	4.90	100.00			AASHTO : %

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Asesoría Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACAN
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 81722

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA
alfredatarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA



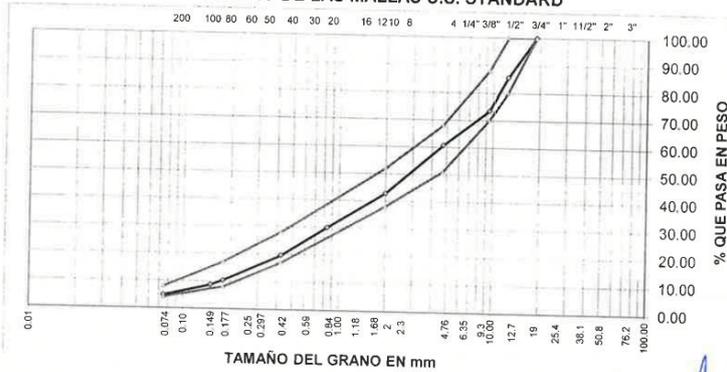
OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021
 CANTERA : CARPETA ASFALTICA
 MUESTRA : LAVADO ASFALTICO N° 02
 UBICACIÓN : PLANTA DE ASFALTO

FECHA : 01/09/2021

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (LAVADO ASFALTICO)

Tamices ASTM	Abertura mm	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Especificaciones	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	75.000						Peso mezcla : 307.50 Grs
2 1/2"	63.000						Peso agregado : 290 Grs
2"	50.000						Cem. asfáltico : 5.69 %
1 1/2"	37.500						Grava : 39.40 %
1"	25.000						Arena : 55.80 %
3/4"	19.000				100.00	100 - 100	Fino : 4.80 %
1/2"	12.500	42.00	14.50	14.50	85.50	80 - 100	W natural : %
3/8"	9.500	35.00	12.10	26.60	73.40	70 - 88	
No.04	4.750	37.00	12.80	39.40	60.60	51 - 68	LIMITES DE CONSISTENCIA
No.10	2.000	52.00	17.90	57.30	42.70	38 - 52	L.L. : %
No.20	0.840	37.00	12.80	70.10	29.90		L.P. : %
No.40	0.425	30.00	10.30	80.40	19.60	17 - 28	I.P. : %
No.80	0.180	27.00	9.30	89.70	10.30	8 - 17	
No.100	0.150	5.00	1.70	91.40	8.60		CLASIFICACION
No.200	0.075	11.00	3.80	95.20	4.80	4 - 8	SUCS : %
<No.200		14.00	4.80	100.00			AASHTO : %

REPRESENTACION GRAFICA TAMAÑO DE LAS MALLAS U.S. STANDARD



GEOTECNIA PUNO EIRL.
 Ingeniería de Pavimentos, Asfalto y Construcción y Consultoría

ALFREDO ALFONSO ATAHUACHI
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA
 alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN – PUNO, 2021

CANTERA : CARPETA ASFALTICA

MUESTRA : MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

UBICACIÓN : PLATAFORMA FECHA : 01/09/2021

NUMERO DE BRIQUETA		1	2	3	PROM.
1	% C.A. en peso de la Mezcla		5.96		
2	% Agregado Grueso en peso de la Mezcla		32.91		
3	% Gravilla Chancada en peso de la Mezcla		37.61		
4	% Arena zarandeada en peso de mezcla		21.63		
5	% filler		1.88		
6	Peso Especifico del C.A.		1.02		
7	Peso Especifico del Agregado Grueso		2.500		
8	Peso Especifico de Gravilla Chancada		2.483		
9	Peso Especifico de la Arena natural		2.488		
10	Peso Especifico de filler		2.220		
11	Altura promedio de la Briqueta	6.60	6.50	6.40	
12	Peso de la Briqueta al Aire	1248	1212	1194	
13	Peso de la Briqueta sumergido	1250	1214	1196	
14	Peso de la Briqueta al agua	690	670	660	
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento	558.00	542.00	534.00	
16	Peso Unitario	2.237	2.236	2.236	2.236
17	Peso especifico máximo ASTM 2041 (RICE)	2.310	2.310	2.310	
18	% Vacios	3.20	3.20	3.20	3.200
19	Estabilidad sin corregir (Kg)	924	935	928	
20	Factor de Estabilidad	1.00	1.00	1.00	
21	Estabilidad Corregida (Kg)	924	935	928	929
22	Flujo (mm)	3.21	3.26	3.18	3.217
23	Peso Efectivo de los agregados	2.511	2.511	2.511	
24	Peso Especifico Bulk de los agregados	2.484	2.484	2.484	
25	Porcentaje de Asfalto Absorbido	0.442	0.442	0.442	
26	Contenido Asfalto Efectivo	5.55	5.55	5.55	
27	Vacios de Agregado Mineral (VMA)	15.331	15.346	15.354	15.344
28	Porcentajes De Vacios Llenos de C.A.	79.127	79.148	79.159	79.145
29	Relación E / F (Kg/mm)	2879	2868	2918	2888.3

OBSERVACIONES:

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia y Construcción

ALFREDO ALARCÓN ATAHUACMA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 81732

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN – PUNO, 2021

CANTERA : CARPETA ASFALTICA

MUESTRA : MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

UBICACIÓN : PLATAFORMA FECHA : 01/09/2021

NUMERO DE BRIQUETA		4	5	6	PROM.
1	% C.A. en peso de la Mezcla		5.69		
2	% Agregado Grueso en peso de la Mezcla		33.01		
3	% Gravilla Chancada en peso de la Mezcla		37.72		
4	% Arena zarandeada en peso de mezcla		21.69		
5	% filler		1.89		
6	Peso Especifico del C.A.		1.02		
7	Peso Especifico del Agregado Grueso		2.500		
8	Peso Especifico de Gravilla Chancada		2.483		
9	Peso Especifico de la Arena natural		2.488		
10	Peso Especifico de filler		2.220		
11	Altura promedio de la Briqueta	8.50	6.40	6.50	
12	Peso de la Briqueta al Aire	1232	1198	1198	
13	Peso de la Briqueta sumergido	1234	1200	1200	
14	Peso de la Briqueta al agua	680	662	664	
15	Volumen de la briqueta por desplazamiento	552.00	536.00	534.00	
16	Peso Unitario	2.232	2.235	2.243	2.237
17	Peso especifico máximo ASTM 2041 (RICE)	2.310	2.310	2.310	
18	% Vacios	3.40	3.20	2.90	3.167
19	Estabilidad sin corregir (Kg)	924	891	867	
20	Factor de Estabilidad	1.00	1.00	1.00	
21	Estabilidad Corregida (Kg)	984	1024	984	997
22	Flujo (mm)	3.27	3.45	3.42	3.380
23	Peso Efectivo de los agregados	2.501	2.501	2.501	
24	Peso Especifico Bulk de los agregados	2.484	2.484	2.484	
25	Porcentaje de Asfalto Absorbido	0.279	0.279	0.279	
26	Contenido Asfalto Efectivo	5.43	5.43	5.43	
27	Vacios de Agregado Mineral (VMA)	15.263	15.142	14.824	15.076
28	Porcentajes De Vacios Llenos de C.A.	77.724	78.867	80.437	79.009
29	Relación E / F (Kg/mm)	3009	2968	2877	2951.5

OBSERVACIONES:

GEOTECNIA PUNO EIRL
Ingeniería de Fundamentos, Geotecnia, Calidad y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACOMA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 81782

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744

GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

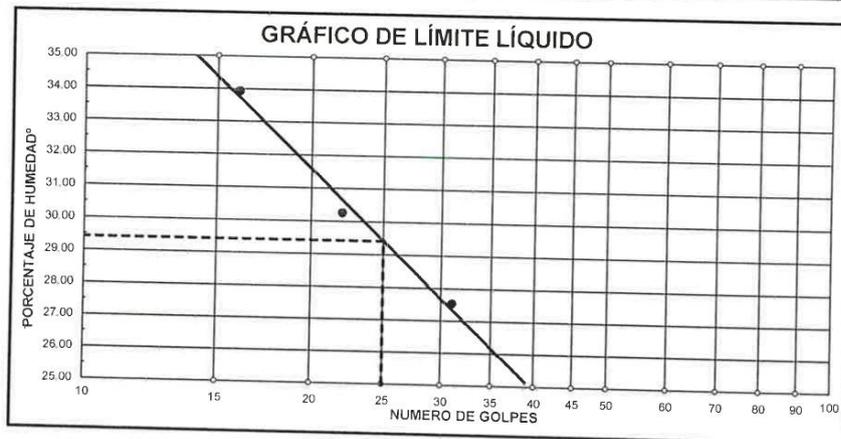
PROYECTO : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021
PROGRESIVA : CALICATA 01
MUESTRA : SUELO DE FUNDACION
PROFUND. : 0.00 - 1.50 m (M-1)

TECN. RESP.: PERSONAL LABORAT.
ING. RESP. : TESISITAS
FECHA : 15/07/21

LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	No.	g	%	g	%
01. No. DE GOLPES	31	22	16		
02. TARRO No.	111	110	12	108	112
03. SUELO HUMEDO * TARRO	g	27.91	31.82	26.87	19.14 16.02
04. SUELO SECO * TARRO	g	24.40	27.30	22.90	18.00 15.30
05. PESO DEL AGUA	g	3.51	4.52	3.97	1.14 0.72
06. PESO DEL TARRO	g	11.65	12.36	11.20	13.20 12.32
07. PESO DEL SUELO SECO	g	12.75	14.94	11.70	4.80 2.98
08. HUMEDAD	%	27.53	30.25	33.93	23.75 24.16

L.L.= 29.42 %	L.P.= 23.96 %	I.P.= 5.46 %
----------------------	----------------------	---------------------



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
Ingeniería de Pavimentos, Reectores Consultoría y Construcción
ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. B1732

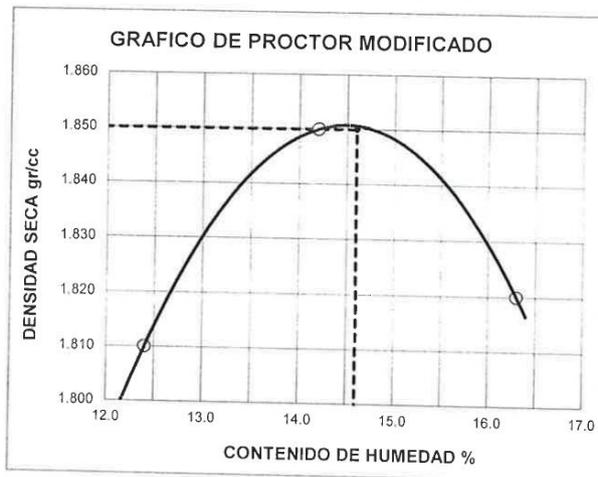
GEOTECNIA PUNO

MECÁNICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021
CANTERA : CALICATA 01
MUESTRA : TERRENO DE FUNDACION
UBICACIÓN : 0.00 - 1.50 m (M-1)
TECN.RESP. : PERSONAL LABORAT.
ING. RESP. : TESISTAS
FECHA : 15/7/21

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	10,226	10,380	10,387		
PESO MOLDE	5,990	5,990	5,990		
PESO SUELO COMPACTADO	4,236	4,390	4,397		
VOLUMEN DEL MOLDE	2,077	2,077	2,077		
DENSIDAD HUMEDA	2.04	2.11	2.12		
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	5
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	362.00	290.00	392.00		
SUELO SECO + RECIPIENTE	322.00	254.00	337.00		
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00		
PESO DE AGUA	40.00	36.00	55.00		
PESO DE SUELO SECO	322.00	254.00	337.00		
CONTENIDO DE HUMEDAD	12.40	14.20	16.30		
DENSIDAD SECA	1.81	1.85	1.82		



Max. densidad seca
1.850 gr/cm³
 Contén. humedad óptima
14.60 %

GEOTECNIA PUNO EIRL.
 Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia Consultoría y Construcción
ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP 31730

GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA
 REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021
 CANTERA : CALICATA 01 TECN.RESP. PERSONAL LABORAT
 MUESTRA : TERRENO DE FUNDACION ING. RESP. TESISTAS
 UBICACIÓN : 0.00 - 1.50 m (M-1) FECHA 15/07/2021

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

	7		8		9	
	5		5		5	
Molde N°	56		25		12	
Capa N°	56		25		12	
Condicón de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr.	11031		10823		10578
Peso del molde	gr.	6624		6654		6645
Peso del suelo húmedo	gr.	4407		4169		3933
Volúmen del molde	cc.	2077.3		2077.3		2077.3
Densidad Humeda	gr./cc	2.12		2.01		1.89
Humedad	%	14.60		14.50		14.40
Densidad seca	gr./cc	1.85		1.76		1.65
Tarro N°		1		2		3
Tarro suelo húmedo	gr.	525		443		659
Tarro suelo seco	gr.	458		387		576
Agua	gr.	67		56		83
Peso del Tarro	gr.	0		0		0
Peso del suelo seco	gr.	458		387		576
Humedad	%	14.6		14.5		14.4
Promedio de la humedad	%					

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

PENETRACION

PENETRACION			Lectura Dial	Lectura Lb	Presiones Lb/plg ²	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg ²	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg ²
Tiempo	mm	plg									
0.30	0.600	0.25	8	137	46	6	118	39	5	108	36
1.00	1.300	0.50	12	175	58	10	156	52	8	137	46
1.30	1.900	0.075	21	262	87	17	224	75	12	175	58
2.00	2.500	0.100	58	620	207	47	514	171	32	369	123
3.00	3.800	0.150	142	1432	477	134	1354	451	102	1045	348
4.00	5.000	0.200	215	2137	712	181	1809	603	136	1374	458
5.00	6.000	0.250	286	2823	941	224	2224	741	172	1722	574
6.00	7.500	0.300	326	3210	1070	231	2292	764	202	2012	671
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia Consultoría y Construcción

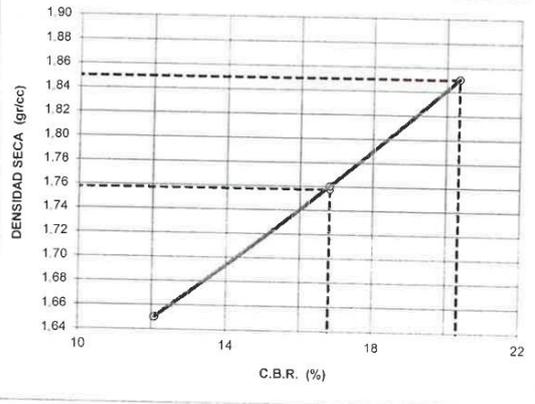
ALFREDO ALARCÓN ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CH 81732

GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021
 PROGRESIVA : CALCATA 01 TECN.RESP. : PERSONAL LABORAT.
 MUESTRA : TERRENO DE FUNDACION ING. RESP. : TESISTAS
 PROFUND. : 0.00 - 1.50 m (M-1) FECHA : 15/07/2021

GRAFICO DE C.B.R.



PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R.01" AL 100% = 20.3%
 C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = 16.8%

LEYENDA

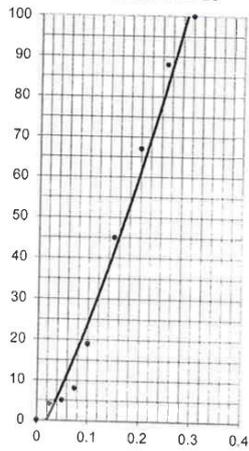
— CURVA A 0.1"

C.B.R 0.1"= 20.3%

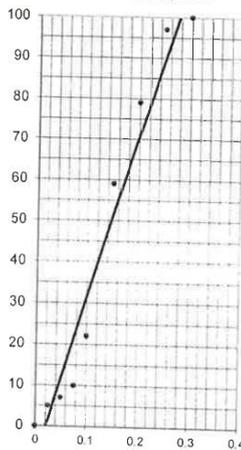
C.B.R 0.1"= 16.8%

C.B.R 0.1"= 12.1%

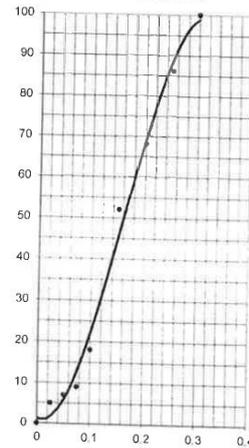
CURVA DE 56 GOLPES



CURVA DE 25 GOLPES



CURVA DE 12 GOLPES



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
 Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia, Construcción y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
 INGENIERO CIVIL
 REG. Nº 31752

GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

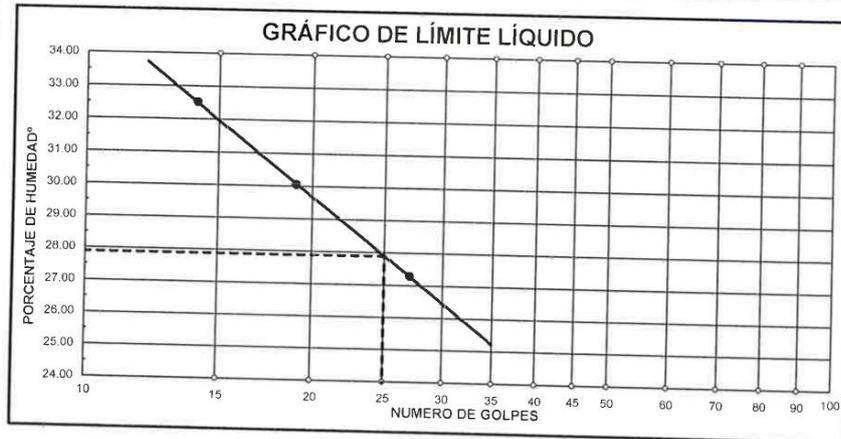
PROYECTO : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA
 REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021
PROGRESIVA : **CALICATA 02**
MUESTRA : SUELO DE FUNDACION
PROFUND. : 0.00 - 1.50 m (M-1)

TECN. RESP.: PERSONAL LABORAT.
ING. RESP. : TESISTAS
FECHA : 26/07/21

LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D-424)

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO				LÍMITE PLÁSTICO	
	No.	g	g	g	g	g
01. No.DE GOLPES	27	19	14			
02. TARRO No.	114	113	11		115	10
03. SUELO HUMEDO * TARRO	g 41.46	44.54	44.03		45.36	46.00
04. SUELO SECO * TARRO	g 39.70	41.10	40.60		42.30	43.00
05. PESO DEL AGUA	g 1.76	3.44	3.43		3.06	3.00
06. PESO DEL TARRO	g 33.25	29.65	30.05		29.56	31.00
07. PESO DEL SUELO SECO	g 6.45	11.45	10.55		12.74	12.00
08. HUMEDAD	% 27.29	30.04	32.51		24.02	25.00

L.L.= 27.89 %	L.P.= 24.51 %	I.P.= 3.38 %
---------------	---------------	--------------



GEOTECNIA PUNO EIRL.
 Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia Consultoría y Construcción
 ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 01132

GEOTECNIA PUNO

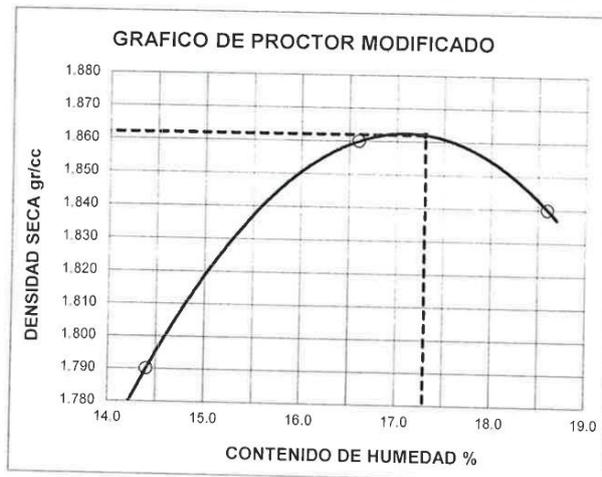
MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISIÓN-PROYECTOS DE INGENIERÍA

OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021
CANTERA : CALICATA 02
MUESTRA : TERRENO DE FUNDACION
UBICACIÓN : 0.00 - 1.50 m (M-1)

TECN.RESP. : PERSONAL LABORAT.
ING. RESP. : TESISTAS
FECHA : 26/7/21

PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)

ENSAYO N°	1	2	3	4	5
DETERMINACION DE DENSIDAD					
PESO MOLDE+SUELO	10,256	10,508	10,523		
PESO MOLDE	5,990	5,990	5,990		
PESO SUELO COMPACTADO	4,266	4,518	4,533		
VOLUMEN DEL MOLDE	2,077	2,077	2,077		
DENSIDAD HUMEDA	2.05	2.17	2.18		
DETERMINACION DE CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE N°	1	2	3	4	5
SUELO HUMEDO + RECIPIENTE	524.00	394.00	471.00		
SUELO SECO + RECIPIENTE	458.00	338.00	397.00		
PESO RECIPIENTE	0.00	0.00	0.00		
PESO DE AGUA	66.00	56.00	74.00		
PESO DE SUELO SECO	458.00	338.00	397.00		
CONTENIDO DE HUMEDAD	14.40	16.60	18.60		
DENSIDAD SECA	1.79	1.86	1.84		



Max. densidad seca
1.862 gr/cm³

Conten. humedad óptima
17.30 %

GEOTECNIA PUNO EIRL.
 Ingeniería de Pavimentos, Geotécnica y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP 81732

GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA
 REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACION - PUNO, 2021
 CANTERA : CALICATA 02
 MUESTRA : TERRENO DE FUNDACION
 UBICACIÓN : 0.00 - 1.50 m (M-1)

TECN. RESP. : PERSONAL LABORAT
 ING. RESP. : TESISISTAS
 FECHA : 26/07/2021

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

	7		8		9	
	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Molde N°	7		8		9	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra						
Peso molde + suelo húmedo	gr.	11152		10925		10754
Peso del molde	gr.	6624		6654		6645
Peso del suelo húmedo	gr.	4528		4271		4109
Volumen del molde	cc.	2077.3		2077.3		2077.3
Densidad Humeda	gr./cc	2.18		2.06		1.98
Humedad	%	17.00		17.10		17.20
Densidad seca	gr./cc	1.86		1.76		1.69
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo	gr.	625		458		681
Tarro suelo seco	gr.	534		391		581
Agua	gr.	91		67		100
Peso del Tarro	gr.	0		0		0
Peso del suelo seco	gr.	534		391		581
Humedad	%	17.0		17.1		17.2
Promedio de la humedad	%					

ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

PENETRACION

PENETRACION			Lectura Dial	Lectura Lb	Presiones Lb/plg ²	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg ²	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg ²
Tiempo	mm	plg									
0.30	0.600	0.25	12	175	58	8	137	46	4	98	33
1.00	1.300	0.50	22	272	91	18	233	78	7	127	42
1.30	1.900	0.075	37	417	139	29	340	113	14	195	65
2.00	2.500	0.100	76	794	265	53	572	191	32	369	123
3.00	3.800	0.150	126	1277	426	102	1045	348	62	659	220
4.00	5.000	0.200	178	1780	593	154	1548	516	104	1065	355
5.00	6.000	0.250	242	2398	799	195	1944	648	151	1519	506
6.00	7.500	0.300	342	3364	1121	242	2398	799	225	2234	745
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

GEOTECNIA PUNO EIRL.
Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia Civil y Construcción

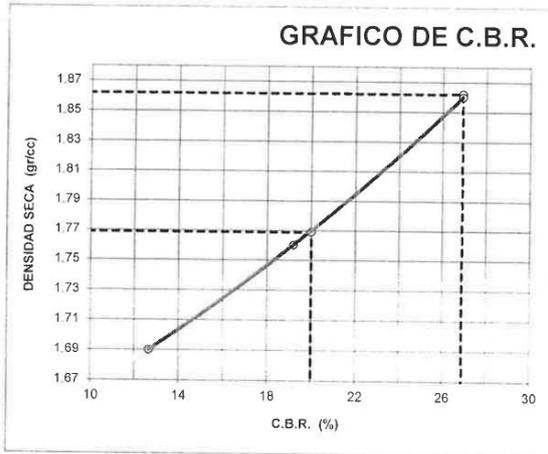
ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP 81792

GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

OBRA :	EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021		
PROGRESIVA :	CALICATA 02	TECN.RESP. :	PERSONAL LABORAT
MUESTRA :	TERRENO DE FUNDACION	ING. RESP. :	TESISTAS
PROFUND. :	0.00 - 1.50 m (M-1)	FECHA :	26/07/2021

GRAFICO DE C.B.R.



PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R.01" AL 100% = 26.9%
 C.B.R. 01" AL 95% M.D.S. = 20.0%

LEYENDA

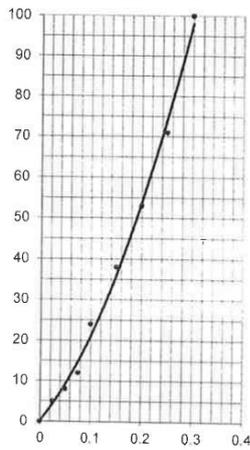
— CURVA A 0.1"

C.B.R. 0.1"= 26.9%

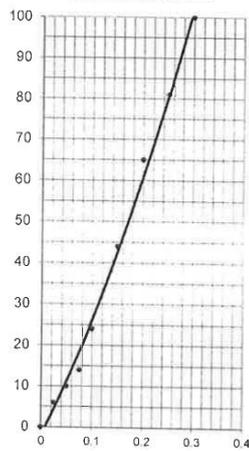
C.B.R. 0.1"= 19.2%

C.B.R. 0.1"= 12.7%

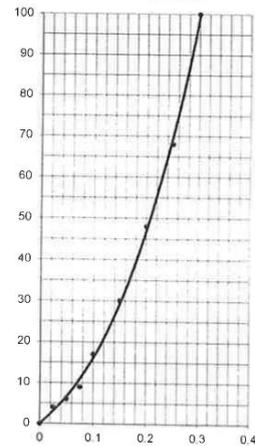
CURVA DE 56 GOLPES



CURVA DE 25 GOLPES



CURVA DE 12 GOLPES



GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.
 Ingeniería de Pavimentos, Geotecnia, Sismología y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP 81732



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRÍA E IRI PARA DETERMINAR LA VI
REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUÑO, 2021

PAVIMENTO : CARPETA ASFALTICA

FECHA : 23/07/2021

REGULARIDAD SUPERFICIAL / RUGOSIDAD - MERLIN TRRL

MERLIN

Nº ENSAYO : 200 ENSAYOS

PROGRESIVA : KM 0+740 AL 1+240

LADO : CARRIL IZQUIERDO / EXTERNO

CALCULOS

F = 2.00

D = 73.33 mm

RUGOSIDAD = $0.593 + 0.0471xD$

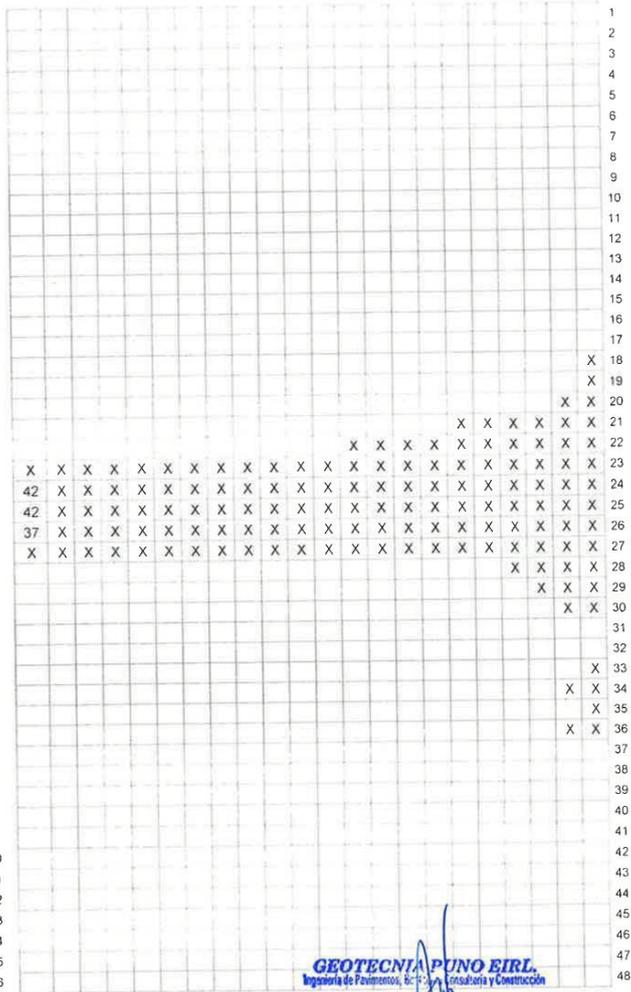
= **4.04 IRI**

PSI = $5 / [e^{(R/5.5)}]$

= 2.4

HOJA CAMPO

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
23	26	25	23	25	24	24	24	25	23
24	26	23	24	24	25	27	21	21	18
27	27	27	26	28	25	23	22	25	22
25	27	26	26	24	27	22	29	24	25
23	26	23	25	26	24	27	25	25	24
24	23	26	26	34	30	23	27	25	26
26	27	24	26	24	25	25	22	26	24
24	34	24	24	23	23	25	23	25	24
26	25	22	27	24	27	24	26	25	23
25	25	23	25	27	25	26	22	25	25
24	26	24	24	26	25	27	23	29	27
29	25	26	26	21	26	27	36	26	26
24	25	24	24	35	25	26	22	23	26
25	24	21	25	21	26	25	26	25	24
26	26	26	24	27	26	24	27	24	23
24	28	23	36	33	28	28	20	26	27
25	25	24	22	27	25	21	25	26	25
21	24	27	26	23	24	24	26	25	24
24	23	22	30	25	19	25	26	22	27
20	26	23	25	23	27	27	27	27	27



GEOTECNIA PUÑO EIRL.
Ingeniería de Pavimentos, R.C. Consultoría y Construcción

ALFREDO ALARCON ATAHUACHI
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP: 81732

TOTAL: 200 ENSAYOS

JR. TIAHUANACO H 17 URBANIZACION RESIDENCIAL KOLLASUYO I ETAPA - JULIACA
alfredalarcon2@hotmail.com / Cel. 979000744



GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRIA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN - PUNO, 2021

ESTRUCTURA : CARPETA ASFALTICA

RELACION DE BRAZOS : 4:1

ING. RESPONSABLE : A. A. A.

CARRIL : DER

UNIDAD DE LECTURA : 10⁻² mm

TÉC. RESPONSABLE : A. C. P.

PROGRESIVA : KM: 0+740 AL 2+740

ESPOSOR DE LA CAPA : 0.20 Metros

MÉTODO : CONREVAL

PRESIÓN DE INFLADO : 80 PSI

FECHA : 20/07/2021

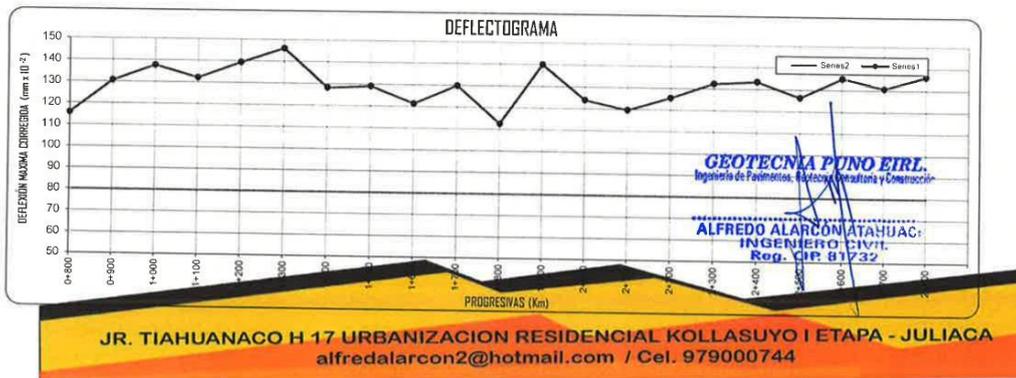
PESO TOTAL EN EJE POSTERIOR : 8200 Kg.

ANALISIS DEFLECTÓMETRICA - VIGA BENKELMAN

MTC E 1002

PROGRESIVA (Km)	LADO	LECTURA EN DIAL EN CAMPO				TEMPERATURA PAVIMENTO (°C)	DEFLEXIONES REALES SIN CORRIGIR			DEFLEXIONES CORREGIDAS			RADIO DE CURVATURA (m)	DEFLEXION ADMISIBLE (0.01 mm)	COMPORTAMIENTO DE LA CARPETA
		L 0 (cm)	L 25 (cm)	L75 (cm)	L max (cm)		D0	D25	D75	D0	D25	D75			
0+800	DER	0	6	21	35	30.5	140	116	56	116	96	46	157.6	80	NO CUMPLE
0+900	DER	0	12	21	40	31.2	160	112	76	131	92	62	79.7	80	NO CUMPLE
1+000	DER	0	14	24	43	32.4	172	116	76	138	93	61	69.6	80	NO CUMPLE
1+100	DER	0	18	29	40	30.5	160	88	44	132	73	36	52.5	80	NO CUMPLE
1+200	DER	0	17	25	42	30.2	168	100	68	140	83	56	55.3	80	NO CUMPLE
1+300	DER	0	16	27	45	31.6	180	116	72	146	94	58	60.2	80	NO CUMPLE
1+400	DER	0	12	28	39	30.8	156	108	44	128	89	36	79.2	80	NO CUMPLE
1+500	DER	0	10	19	38	28.8	152	112	76	129	95	65	91.9	80	NO CUMPLE
1+600	DER	0	11	22	36	29.3	144	100	56	121	84	47	84.2	80	NO CUMPLE
1+700	DER	0	11	23	39	30.0	156	112	64	130	93	53	85.2	80	NO CUMPLE
1+800	DER	0	14	27	34	30.4	136	80	28	140	82	17	53.8	80	NO CUMPLE
1+900	DER	0	17	36	41	28.5	164	96	20	140	82	17	53.8	80	NO CUMPLE
2+000	DER	0	15	27	37	29.6	148	88	40	124	74	34	62.1	80	NO CUMPLE
2+100	DER	0	11	26	36	30.1	144	100	40	120	83	33	85.4	80	NO CUMPLE
2+200	DER	0	14	28	38	30.5	152	96	40	126	79	33	67.5	80	NO CUMPLE
2+300	DER	0	13	27	39	28.9	156	104	48	132	88	41	70.8	80	NO CUMPLE
2+400	DER	0	18	27	39	28.4	156	84	48	134	72	41	50.7	80	NO CUMPLE
2+500	DER	0	21	29	38	30.1	152	68	36	126	57	30	44.7	80	NO CUMPLE
2+600	DER	0	15	31	41	30.6	164	104	40	135	86	33	63.1	80	NO CUMPLE
2+700	DER	0	13	27	39	29.6	156	104	48	131	87	40	71.6	80	NO CUMPLE
2+800	DER	0	14	28	40	28.7	160	104	48	136	89	41	65.5	80	NO CUMPLE

PROMEDIO 130





GEOTECNIA, PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIÓN

MECÁNICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - LABORATORIO - CALIDAD - TECNOLOGÍA DE MATERIALES - SUPERVISIÓN - PROYECTOS DE INGENIERÍA - CONSULTARÍA.



OBRA : EVALUACIÓN ESTRUCTURAL POR DEFLECTOMETRÍA E IRI PARA DETERMINAR LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AV. CIRCUNVALACIÓN – PUNO, 2021

ESTRUCTURA : **CARPETA ASFALTICA** RELACIÓN DE BRAZOS : 4:1 ING. RESPONSABLE : A A A

CARRIL : IZQ UNIDAD DE LECTURA : 10⁻² mm TÉC. RESPONSABLE: A C P

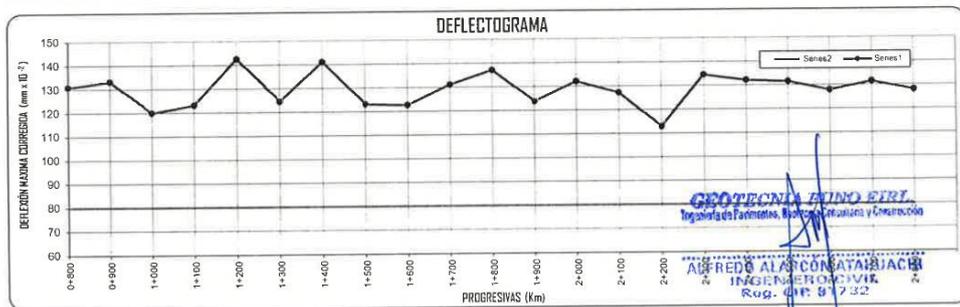
PROGRESIVA : **KM: 0+740 AL 2+740** ESPESOR DE LA CAPA : 0.20 Metros

MÉTODO : CONREVIAl PRESIÓN DE INFLADO : 80 PSI

FECHA : 20/07/2021 PESO TOTAL EN EJE POSTERIOR : 8200 Kg.

ANÁLISIS DEFLECTÓMETRICA - VIGA BENKELMAN MTC E 1002

PROGRESIVA (Km)	LADO	LECTURA EN DIAL EN CAMPO				TEMPERATURA PAVIMENTO (°C)	DEFLEXIONES REALES SIN CORRIGIR			DEFLEXIONES CORREGIDAS			RADIO DE CURVATURA (m)	DEFLEXION ADMISIBLE (0.01 mm)	COMPORTAMIENTO DE LA SUB BASE
		L 0 (cm)	L 25 (cm)	L75 (cm)	L max (cm)		D ₀	D ₂₅	D ₇₅	D ₀	D ₂₅	D ₇₅			
0+800	IZQ	0	10	23	38	27.8	152	112	60	131	97	52	92	80	NO CUMPLE
0+900	IZQ	0	9	24	39	28.5	156	120	60	133	103	51	102	80	NO CUMPLE
1+000	IZQ	0	21	32	35	28.3	140	56	12	120	48	10	43	80	NO CUMPLE
1+100	IZQ	0	9	24	36	28.4	144	108	48	123	92	41	101	80	NO CUMPLE
1+200	IZQ	0	14	25	41	27.5	164	108	64	143	94	56	64	80	NO CUMPLE
1+300	IZQ	0	11	26	37	29.4	148	104	44	125	88	37	84	80	NO CUMPLE
1+400	IZQ	0	13	28	42	29.5	168	116	56	141	97	47	72	80	NO CUMPLE
1+500	IZQ	0	15	26	35	26.8	140	80	36	123	70	32	59	80	NO CUMPLE
1+600	IZQ	0	16	24	34	25.4	136	72	40	123	65	36	54	80	NO CUMPLE
1+700	IZQ	0	19	27	37	26.4	148	72	40	131	64	35	46	80	NO CUMPLE
1+800	IZQ	0	15	26	38	25.4	152	92	48	137	83	43	58	80	NO CUMPLE
1+900	IZQ	0	16	23	35	26.5	140	76	48	124	67	42	55	80	NO CUMPLE
2+000	IZQ	0	12	24	38	27.5	152	104	56	132	90	49	75	80	NO CUMPLE
2+100	IZQ	0	19	27	36	26.5	144	68	36	127	60	32	46	80	NO CUMPLE
2+200	IZQ	0	15	22	35	32.0	140	80	52	113	65	42	65	80	NO CUMPLE
2+300	IZQ	0	21	38	43	33.9	172	88	20	135	69	16	48	80	NO CUMPLE
2+400	IZQ	0	19	38	42	33.5	168	92	16	132	72	13	52	80	NO CUMPLE
2+500	IZQ	0	12	26	41	32.3	164	116	60	132	93	48	81	80	NO CUMPLE
2+600	IZQ	0	17	29	38	29.4	152	84	36	128	71	30	55	80	NO CUMPLE
2+700	IZQ	0	12	26	41	32.3	164	116	60	132	93	48	81	80	NO CUMPLE
2+800	IZQ	0	17	29	38	29.4	152	84	36	128	71	30	55	80	NO CUMPLE
							PROMEDIO			129					



ANEXO 5



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 19030604

SOLICITANTE: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

ATENCION : GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.

TITULO : Calibración de Dial Comparador de Viga
Benkelman

VIGA BENKELMAN

Marca : ORION
Relación de Pivote 4:1
N° Serie : 19030604

BRAZO NEGRO N° 01

Dial : Mitutoyo
N° Serie : ZHZ438
Aprox. : 0.01 mm/div.
Modelo : 2050S

BRAZO ROJO N° 02

Dial : Mitutoyo
N° Serie : ZLU470
Aprox. : 0.01 mm/div.
Modelo : 2050S

FECHA : Huachipa, 23 de Febrero del 2021



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 19030604

CALIBRACIÓN

1.- GENERALIDADES

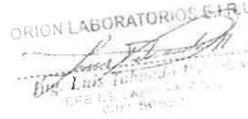
A solicitud de GEOTECNIA PUNO E.I.R.L. se procedió a calibrar el comportamiento de los Diales Comparadores de la Viga Benkelman. La calibración se efectuó el día 23 de Febrero del 2021.

2.- DEL SISTEMA A CALIBRAR

Dispositivo	: Dial de Viga Benkelman
Brazo Negro N° 01	Brazo Rojo N° 02
Marca	: Mitutoyo
Serie	: Z11Z438
Sensibilidad	: 0,01 mm div.

3.- DEL SISTEMA DE CALIBRACIÓN

Dispositivo	: Dial Digital
Fabricante	: MITUTOYO (Japón)
Tipo	: 1D - C112M
Serie N°	: 08150
Sensibilidad	: 0,001 mm.



Calibrado con Tambor Micrométrico: DIAL GAGE TESTER UDT 280 - MITUTOYO CORPORATION con aproximación de 0,0001 mm: traceable al Sistema de Servicio de Medición del Japón (Certificados de Acreditación N° 0030, 0031, 0067, 0078); Calibración por un Laboratorio Acreditado por INACAL. Última Calibración realizado en el Laboratorio de Longitud y Angulo de Certificado N° F-859-2021 INACAL.

4.- PROCEDIMIENTO

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.- RESULTADOS

En la Tabla N° 1 se muestran las tres series de carga y la serie promedio correspondiente.

En el Gráfico N°1 se muestra la curva de regresión y la ecuación de ajuste correspondientes a la presente calibración.

6.- NOTA IMPORTANTE.

Posicionamiento de la Viga

- Con el manubrio posterior posicionar suavemente las medias lunas de los brazos en su punto de medición sobre el pavimento y colocar la contra masa en la parte posterior del cuerpo de la viga.
- Girar manubrio posterior 10 vueltas completas, para evitar pandeo del brazo y tener error de lectura
- Continuar con el ensayo.



ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 19030604

TABLA N° 1

CALIBRACION DE DIAL COMPARADOR - BRAZO NEGRO 01

Dial Marca MITUTOYO, N/S ZHZ438, Mod. 2050S

Sensibilidad 0.01 mm/div

DIAL COMPARADOR PATRON mm	LECTURA DIAL DE LA VIGA BENKELMAN RELACION DE BRAZO 4:1			A	C
	SERIE (1) mm	SERIE (2) mm	SERIE (3) mm	SERIE PROMEDIO mm	Lectura Relac 4:1 (A*4) mm
0.10	0.025	0.025	0.025	0.025	0.100
0.20	0.050	0.050	0.050	0.050	0.200
0.40	0.100	0.100	0.100	0.100	0.400
0.60	0.150	0.150	0.150	0.150	0.600
0.80	0.200	0.200	0.200	0.200	0.800
1.00	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000
1.20	0.300	0.300	0.300	0.300	1.200
1.40	0.350	0.350	0.350	0.350	1.400
1.60	0.400	0.400	0.400	0.400	1.600
1.80	0.451	0.451	0.451	0.451	1.804
2.00	0.500	0.500	0.500	0.500	2.000
2.50	0.624	0.624	0.624	0.624	2.496
3.00	0.750	0.750	0.750	0.750	3.000

coeficiente de correlación: $R^2 = 1$

Recta de ajuste: $Y = (0.9997X + 0.0004) * 4$

Donde:

X : Lectura del dial (mm)

Y : Cálculo de la Dilatación

Lect Dial Viga mm	Lect Corregida (Y) mm	Lect Dial Viga mm	Lect Corregida (Y) mm
0.1	0.40	1.1	4.40
0.2	0.80	1.2	4.80
0.3	1.20	1.3	5.20
0.4	1.60	1.4	5.60
0.5	2.00	1.5	6.00
0.6	2.40	1.6	6.40
0.7	2.80	1.7	6.80
0.8	3.20	1.8	7.20
0.9	3.60	1.9	7.60
1	4.00	2	8.00

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

 Inge. Luis Taboada Palacios
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP. 58661



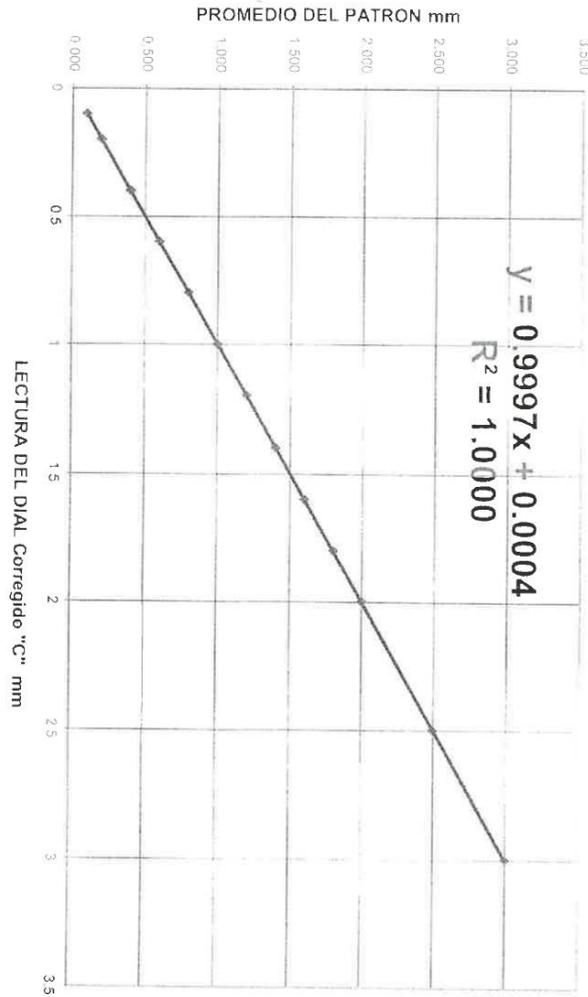
ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
Ing. Luis Rafael Palacios
C.F.E. DE LABORATORIO
CIP 58331

GRAFICO N° 1
CALIBRACION DE DIAL COMPARADOR - BRAZO N° 1
Dial Marca MITUTOYO, Mod. 2050S, N/S ZHZ438
Sensibilidad 0.01 mm

INFORME: 19030604





ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 19030601

TABLA N° 2

CALIBRACION DE DIAL COMPARADOR - BRAZO ROJO N° 2

Dial Marca MITUTOYO, N/S ZLU470, Mod. 2050S
Sensibilidad 0.01 mm/div

DIAL COMPARADOR PATRON mm	LECTURA DIAL DE LA VIGA BENKELMAN RELACION DE BRAZO 2:1			A	C
	SERIE (1) mm	SERIE (2) mm	SERIE (3) mm	SERIE PROMEDIO mm	lectura Relac 4:1 (A*4) mm
0.10	0.025	0.025	0.025	0.025	0.100
0.20	0.050	0.050	0.050	0.050	0.200
0.40	0.100	0.100	0.100	0.100	0.400
0.60	0.150	0.150	0.150	0.150	0.600
0.80	0.201	0.201	0.201	0.201	0.804
1.00	0.250	0.250	0.250	0.250	1.000
1.20	0.300	0.300	0.300	0.300	1.200
1.40	0.355	0.355	0.355	0.355	1.420
1.60	0.400	0.400	0.400	0.400	1.600
1.80	0.450	0.450	0.450	0.450	1.800
2.00	0.501	0.501	0.501	0.501	2.004
2.50	0.625	0.625	0.625	0.625	2.500
3.00	0.750	0.750	0.750	0.750	3.000

coeficiente de correlación: $R^2 = 1$

Recta de ajuste: $Y = (1.0004x + 0.0017) \cdot 4$

Donde:

X : Lectura del dial (mm)
Y : Calculo de la Deflexión

Lect Dial Viga mm	Lect Corregida (Y) mm	Lect Dial Viga mm	Lect Corregida (Y) mm
0.1	0.39	1.10	4.39
0.2	0.79	1.20	4.80
0.3	1.19	1.30	5.20
0.4	1.59	1.40	5.60
0.5	1.99	1.50	6.00
0.6	2.39	1.60	6.40
0.7	2.79	1.70	6.80
0.8	3.19	1.80	7.20
0.9	3.59	1.90	7.60
1	3.99	2.00	8.00

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Luis Taboada P.
Ing. Luis Taboada P.
INTE DE LABORACION
CIP-51001



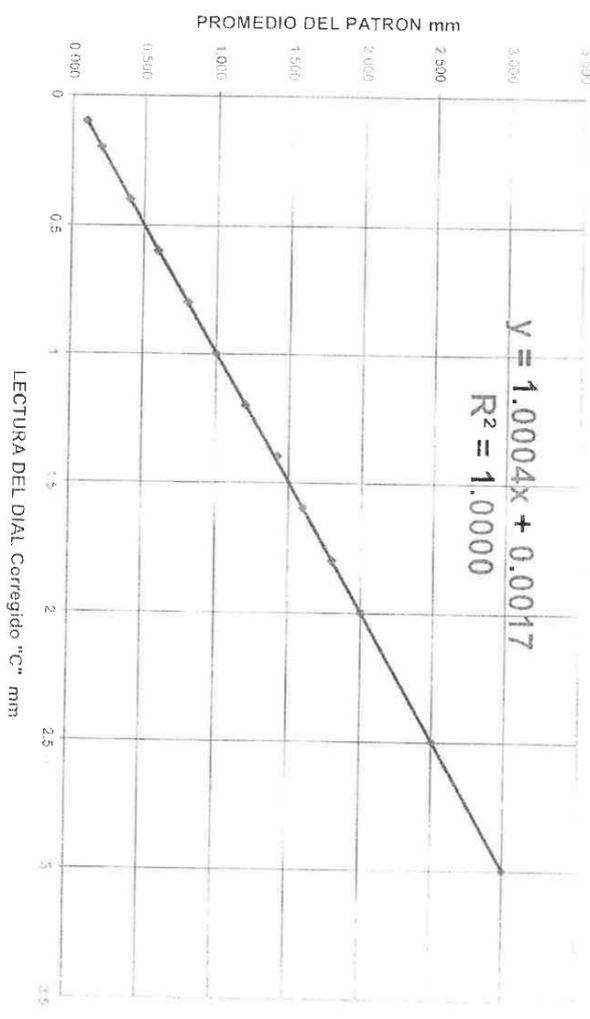
ORION LABORATORIOS E.I.R.L.

Calibración, Ensayos de Laboratorio Suelos, Concreto y Asfalto

ORION LABORATORIOS E.I.R.L.
Ing. Luis Huachipa Huachipa
Ingeniero de Laboratorio
C.P. 380001

GRAFICO N° 2
CALIBRACIÓN DE DIAL COMPARADOR - BRAZO ROJO N° 2
Dial Mitutoyo, Mod. 2050S, N/S ZLU470
Sensibilidad 0.01 mm/div

INFORME: 19030004



**CERTIFICADO DE CALIBRACION
CLM-765-2020**

Solicitante	: GEOTECNIA PUNO E.I.R.L.	
Dirección	: JR. TIAHUANACO MZA. H LOTE 17 RES. COLLASUYO I.E. - PUNO - SAN ROMAN - JULIACA	Misión Prestar servicios con política de mejoramiento continuo y cumplimiento con las normas y especificaciones técnicas requeridas en máquinas y equipos para medición y ensayos
Instrumento de Medición	: RUGOSIMETRO MERLIN	
Marca	: METROTEST	
Modelo	: MS-RM1	Vision Lograr la confianza de nuestros clientes en el desarrollo de sus empresas a través de nuestros servicios
Serie	: 636	
Identificación	: NO INDICA	
Procedencia	: PERÚ	Tenemos como objetivo alcanzar el liderazgo en el mercado y de esta manera obtener para nuestros empleados la consecución de ideales en el plano intelectual y personal. Por constante investigación e innovación en la búsqueda de la máxima exactitud en la medición de ensayos
Capacidad Máxima	: 50 mm	
División mínima	: 5 mm = 1 División	
Tipo de Indicación	: Analógica	
Lugar de Calibración	: Lab. Longitud de Metrotest E.I.R.L.	
Fecha de Calibración	: 2020-11-05	
Fecha de Emisión	: 2020-11-05	

Método de Calibración Empleado

Tomando como referencia el método de Comparación Directa entre Bloques Planoparalelos y Rugosímetro

Observaciones

- Se colocó una etiqueta con la indicación "CALIBRADO".

El resultado de cada uno de las mediciones en el presente documento es de un promedio de dos valores de un mismo punto

Los resultados indicados en el presente documento son válidos en el momento de la calibración y se refieren exclusivamente al instrumento calibrado, no debe usarse como certificado de conformidad de producto.

METROTEST E.I.R.L. no se hace responsable por los perjuicios que pueda ocasionar el uso incorrecto o inadecuado de este instrumento y tampoco de interpretaciones imprecisas o indebidas del presente documento.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso, conservación y mantenimiento del mismo y de acuerdo con las disposiciones legales vigentes.

El presente documento carece de valor sin firmas y sellos.




Luigi Añez G.
Jefe de Metrología

Trazabilidad

Los resultados de la calibración realizada son trazables a la Unidad Medida de los Patrones Nacionales de Presión del Servicio Nacional de Metrología SNM - INDECOPI en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema de Unidades del Perú (SLUMP).

PATRONES DE REFERENCIA:

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de METROTEST E.I.R.L	Pie de rey Patrón con incertidumbre de 15 μ m	CLM-001-2020
Patrones de referencia de METROTEST E.I.R.L	Cinta Métrica Patrón con incertidumbre de 0.3 mm	CLM-003-2020
Patrones de referencia del DM-INACAL	Bloques Planoparalelos Grado 0	LLA-142-2020

RESULTADOS DE MEDICIÓN

Valor Nominal mm	Lectura del Instrumento			Promedio L mm
	L ₁ mm	L ₂ mm	L ₃ mm	
5.0	5.0	5.0	5.0	5.00
10.0	10.0	10.0	9.9	9.97
15.0	15.0	15.0	14.9	14.97
20.0	20.0	20.0	20.0	20.00
25.0	25.0	25.0	25.0	25.00

Relación 1:5

Relación Promedio 5.10

Valor Nominal mm	Lectura del Instrumento			Promedio L mm
	L ₁ mm	L ₂ mm	L ₃ mm	
25.0	25.0	25.0	24.8	24.9
30.0	30.0	29.8	30.0	29.9
40.0	40.0	39.8	40.0	39.9
45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
50.0	49.8	50.0	50.0	49.9

Relación 1:20

Relación Promedio 20.05




Luigi Astorja G.
Jefe de Metrología

ANEXO 6

PANEL FOTOGRAFICO



Fallas longitudinales existentes del carril derecho en el km 2+100.



Fallas de piel de cocodrilo en el carril izquierdo, km 1+200.



Aforo vehicular en el km 1+900 en horas de la mañana.



Aforo vehicular en el km 1+000 en horas de la noche.



Ensayo de Rugosimetro de Merlín en el carril derecho en el km 0+800.



Ensayo de Rugosimetro de Merlín en el carril izquierdo, km 2+500.



Ensayo de Viga Benkelman en el carril derecho en el km 1+200.



Ensayo de Viga Benkelman el carril izquierdo, km 2+750.

ANEXO 7

FACTORES DE CORRECCION DE VEHICULOS POR UNIDAD DE PEAJE

Factores de corrección de vehículos ligeros por unidad de peaje - Promedio (2010-2016)

FORMATO N° 1.1 A

N°	Peaje	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
		Ligeros FC												
1	AGUAS CALIENTES	0.9394	0.8663	1.1161	1.0973	1.1684	1.1945	0.9458	0.8773	0.9386	1.0294	1.0292	0.9845	1.0000
2	AGUAS CLARAS	1.0204	1.0668	1.1013	1.0449	0.9979	0.9863	0.8917	0.9168	1.0069	1.0155	1.0712	0.8127	1.0000
3	AMBO	0.7822	0.8431	0.8697	0.7549	0.7756	0.7823	0.7479	0.9820	1.0329	0.9842	0.9966	0.8835	1.0000
4	ATICO	0.8849	0.7376	1.0576	1.0168	1.1538	1.1764	0.9711	0.9893	1.0821	1.0845	1.1559	0.9021	1.0000
5	AYAVIRI	0.9913	0.9287	1.0870	1.0730	1.1003	1.0878	0.9449	0.9108	0.9242	1.0455	1.0348	0.9733	1.0000
6	CAMANA	0.9935	0.4934	1.0509	1.2563	1.3886	1.3961	1.2549	1.2278	1.3076	1.2658	1.2303	0.8494	1.0000
7	CANCAS	0.8722	0.8703	1.0694	1.1121	1.1631	1.2130	0.9722	0.9150	1.0516	1.0161	1.0259	0.8914	1.0000
8	CARACOTO	1.0576	0.9896	1.0999	1.0550	1.0578	1.0471	0.9900	0.8677	0.9953	0.9896	1.0077	0.7648	1.0000
9	CASARACRA	1.1441	1.1924	1.2529	0.9991	0.9240	1.0245	0.8401	0.8801	1.0508	0.9739	1.1465	0.8656	1.0000
10	CATAC	1.0992	1.0589	1.3534	1.0405	1.0772	1.0762	0.8316	0.8717	0.9632	0.9514	1.1169	0.9747	1.0000
11	CCASACANCHA	1.0321	1.0692	1.1050	1.0611	1.0719	1.0565	0.9517	0.9133	0.8930	0.9959	0.9734	0.7789	1.0000
12	CHACAPAMPA	1.0342	0.9781	0.9986	1.0653	1.0693	1.2488	1.0419	0.9217	0.9818	0.9211	1.0968	0.9676	1.0000
13	CHALHUAPUQUIO	1.1804	1.2304	1.2157	1.0487	1.0103	1.0467	0.7867	0.8314	1.0145	0.9547	1.0196	0.9379	1.0000
14	CHICAMA	0.9891	0.9536	1.0369	1.0347	1.0520	1.0477	0.9368	0.9915	1.0553	1.0166	1.0421	0.7493	1.0000
15	CHILCA	0.6041	0.5736	0.7824	1.0524	1.5470	1.6110	1.3032	1.4238	1.5046	1.2451	1.1887	0.6261	1.0000
16	CHULLQUI	1.0428	1.0728	1.0509	1.0163	1.0500	0.9407	0.9832	0.9316	0.9915	0.9207	1.2832	0.8829	1.0000
17	CHULUCANAS	1.0210	1.0629	1.1565	1.1355	1.0650	1.0374	0.9771	0.9150	0.9843	0.9479	0.9145	0.7502	1.0000
18	CIUDAD DE DIOS	0.9338	0.9146	1.1930	1.0736	1.0204	1.0271	0.9071	0.9185	1.0902	0.8660	1.0564	0.6549	1.0000
19	CORCONA	1.1416	1.1681	1.2623	1.0206	0.9748	1.0336	0.7786	0.8796	1.0065	0.9892	1.1933	0.8888	1.0000
20	CRUCE BAYOVAR	0.9033	0.8846	1.0933	1.0974	1.1992	1.1950	0.8640	0.9864	1.1644	0.9986	1.0861	0.6673	1.0000
21	CUÇULI	0.9988	1.0350	1.1242	1.1174	1.1070	0.9545	0.9574	0.9186	0.9449	0.9671	0.9672	1.0218	1.0000
22	DESIVO OLMOS	0.9736	1.0105	1.1312	1.1600	1.1451	1.0896	0.9427	0.8716	0.9919	0.9562	1.0093	0.7176	1.0000
23	DESIVO TALARA	0.8889	0.8761	1.0496	1.0840	1.1438	1.1754	0.9465	0.9935	1.1153	1.0280	1.0362	0.8201	1.0000
24	EL FISCAL	0.8940	0.8401	1.0559	1.0613	1.0717	1.1269	1.0109	0.9638	1.0838	1.0772	1.0791	0.8290	1.0000
25	EL PARAISO	0.9205	0.9105	1.0517	0.9857	1.1149	1.1469	0.9012	0.9733	1.1060	1.0310	1.0929	0.7531	1.0000
26	FORTALEZA	0.9181	0.8373	1.0150	1.0162	1.1492	1.1835	0.8765	1.0108	1.1687	1.0754	1.1540	0.6526	1.0000
27	HUACRAPUQUIO	0.8954	0.9296	0.8519	0.7865	1.1904	0.9951	0.8705	0.9487	0.9945	0.9710	1.1529	0.8270	1.0000
28	HUARMEY	0.9036	0.9244	1.1291	1.1310	1.2668	1.1960	0.8634	0.9658	1.1330	1.0542	1.1438	0.6719	1.0000

Factores de corrección de vehículos pesados por unidad de peaje - Promedio (2010-2016)

FORMATO N° 1.

Código	Peaje	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
		Pesados FC												
1	AGUAS CALIENTES	1.0234	0.9771	1.0540	1.0631	1.0703	1.1254	0.9831	0.9574	0.9655	0.9434	0.9429	0.9922	
2	AGUAS CLARAS	1.0497	1.0164	0.9941	1.0038	0.9878	0.9823	0.9940	0.9697	0.9819	1.0086	1.0042	0.8920	
3	AMBO	0.7967	0.7869	0.8193	0.7762	0.7945	0.7905	0.7890	1.0495	1.0086	0.9572	0.9482	0.9447	
4	ATICO	1.0402	0.9961	1.0326	1.0478	1.0392	1.0365	1.0288	0.9862	0.9828	0.9573	0.9313	0.9458	
5	AYAVIRI	1.0377	1.0057	1.0835	1.0533	1.0511	1.0319	0.9884	0.9505	0.9335	0.9456	0.9485	0.9933	
6	CAMANA	0.9370	0.8802	1.0410	1.0753	1.0804	1.0953	1.0782	1.0099	1.0099	0.9947	0.9786	0.8325	
7	CANCAS	1.0490	0.9888	1.0151	1.0452	1.0584	1.0381	1.0041	0.9824	1.0019	0.9551	0.9433	0.9563	
8	CARACOTO	1.0489	1.0165	1.0879	1.0415	1.0743	1.0541	0.9982	0.9041	0.9575	0.9453	0.9785	0.8133	
9	CASARACRA	1.1123	1.0819	1.1121	0.9769	0.9865	0.9782	0.9872	0.9697	0.9731	0.9521	1.0674	0.9416	
10	CATAC	1.0538	1.0807	1.1606	1.0756	1.0119	0.9642	0.9591	0.9372	0.9719	0.9644	0.9958	0.9684	
11	CCASACANCHA	1.0985	1.0820	1.0974	1.0774	1.0216	0.9848	0.9688	0.9568	0.9552	0.9509	0.9198	0.7875	
12	CHACAPAMPA	1.1253	0.9872	0.9856	1.0061	1.0477	1.0441	1.0496	0.9939	0.9340	0.9289	0.9523	1.0257	
13	CHALHUAPUQUIO	1.0741	1.0868	1.0814	1.0640	1.0533	0.9822	0.9411	0.9321	0.9569	0.9455	0.9498	0.9948	
14	CHICAMA	0.9742	0.9585	1.0327	1.0799	1.0586	1.0428	1.0427	0.9889	0.9896	0.9814	0.9459	0.7964	
15	CHILCA	0.9471	0.9731	1.0202	1.0429	1.0652	1.0551	1.0341	0.9879	0.9991	0.9830	0.9674	0.8073	
16	CHULLQUI	0.9571	0.9658	1.0534	1.0776	1.0809	1.0402	1.0171	0.9865	0.9731	0.9169	1.2400	0.9257	
17	CHULUCANAS	1.0042	0.9705	1.1344	1.1580	1.0939	1.0464	1.0225	0.9536	0.9603	0.9195	0.8980	0.7996	
18	CIUDAD DE DIOS	0.9412	0.9568	1.1245	1.0109	0.9763	1.0522	1.0638	1.0509	1.0687	0.8375	0.8101	0.6639	
19	CORCONA	1.1221	1.0894	1.1031	0.9536	0.9648	0.9756	0.9759	0.9653	0.9769	0.9739	1.0900	0.9561	
20	CRUCE BAYOVAR	0.9925	0.9617	1.0163	1.0654	1.0473	1.0635	1.0368	0.9979	1.0155	0.9779	0.9314	0.7892	
21	CUÇULI	0.9544	1.0489	1.1882	1.1610	1.0781	0.9789	0.9835	0.9222	0.9034	0.9413	0.9400	1.0895	
22	DESIVO OLMOS	1.0670	1.0554	1.0607	1.0567	1.0520	1.0192	0.9857	0.9187	0.9394	0.9597	0.9510	0.8440	
23	DESIVO TALARA	1.0234	0.9763	1.0148	1.0405	1.0343	1.0196	1.0096	0.9862	1.0060	0.9840	0.9643	0.9586	

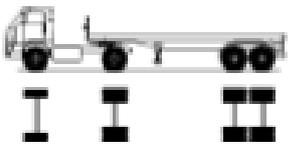
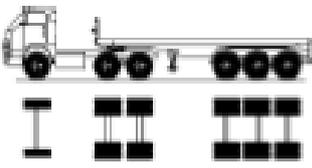
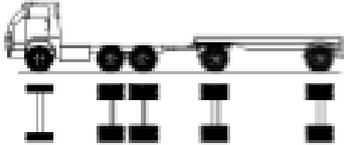
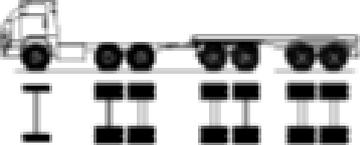
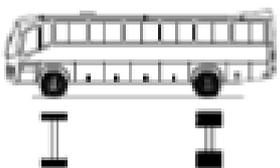
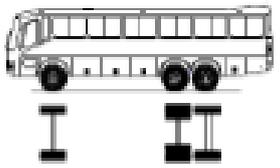
ANEXO 8

TASAS DE CRECIMIENTO VEHICULAR POR DEPARTAMENTOS

TASA DE CRECIMIENTO DE VEHÍCULOS LIGEROS		
TC		
AMAZONAS	0.62	%
ANCASH	0.59	%
APURIMAC	0.59	%
AREQUIPA	1.07	%
AYACUCHO	1.18	%
CAJAMARCA	0.57	%
CALLAO	1.56	%
CUSCO	0.75	%
HUANCAVELICA	0.83	%
HUANUCO	0.91	%
ICA	1.15	%
JUNIN	0.77	%
LA LIBERTAD	1.26	%
LAMBAYEQUE	0.97	%
LIMA PROVINCIA	1.45	%
LIMA	1.45	%
LORETO	1.3	%
MADRE DE DIOS	2.58	%
MOQUEGUA	1.08	%
PASCO	0.84	%
PIURA	0.87	%
PUNO	0.92	%
SAN MARTIN	1.49	%
TACNA	1.5	%
TUMBES	1.58	%
UCAYALI	1.51	%

TASA DE CRECIMIENTO DE VEHÍCULOS PESADOS		
PBI		
AMAZONAS	3.42	%
ANCASH	1.05	%
APURIMAC	6.65	%
AREQUIPA	3.37	%
AYACUCHO	3.6	%
CAJAMARCA	1.29	%
CUSCO	4.43	%
HUANCAVELICA	2.33	%
HUANUCO	3.85	%
ICA	3.54	%
JUNIN	3.9	%
LA LIBERTAD	2.83	%
LAMBAYEQUE	3.45	%
CALLAO	3.41	%
LIMA PROVINCIA	3.07	%
LIMA	3.69	%
LORETO	1.29	%
MADRE DE DIOS	1.98	%
MOQUEGUA	0.27	%
PASCO	0.36	%
PIURA	3.23	%
PUNO	3.21	%
SAN MARTIN	3.84	%
TACNA	2.88	%
TUMBES	2.6	%
UCAYALI	2.77	%

ANEXO 9
PESOS Y MEDIDAS

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos	Long. Máx (m)	Peso Máximo (t)					Peso Bruto Max. (t)
			Eje Delant	Conjunto de Ejes Posteriores				
				1º	2º	3º	4º	
C2		12,30	7	11	-	-	-	18
C3		13,20	7	18	-	-	-	25
T2S2		20,50	7	11	18	-	-	36
T3S3		20,50	7	18	25	-	-	48 ⁽¹⁾
C3R2		23,00	7	18	11	11	-	47
C3R4		23,00	7	18	18	18	-	48 ⁽¹⁾
B2		13,20	7	11	-	-	-	18
B3-1		14,00	7	16	-	-	-	23