

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y
PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA
AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO
- AV. GUSTAVO PINTO, TACNA – 2021”**

**PARA OPTAR:
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:
Bach. JOEL JESÚS MONTOYA SUPO
Bach. RONNY RICARDO SERRANO PAYE**

**TACNA – PERÚ
2021**

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**“DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y
PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA
AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO
- AV. GUSTAVO PINTO, TACNA – 2021”**

Tesis sustentada y aprobada el 30 de octubre del 2021 estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtro. ROLANDO GONZALO SALAZAR-CALDERÓN JUÁREZ

SECRETARIO : Mtro. JIMMI YURY SILVA CHARAJA

VOCAL : Mtro. ULIANOV FARFÁN KEHUARUCHO

ASESOR : Mtro. MARTÍN PAUCARA ROJAS

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Joel Jesús Montoya Supo, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 75507351.

Yo Ronny Ricardo Serrano Paye, en calidad de Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 70556521.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos autores de la tesis titulada *“Determinación Del Índice De Rugosidad Internacional Y Propuesta De Diseño De Pavimento Flexible En La Avenida Tarapacá, Tramo: Óvalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto, Tacna – 2021”*, la misma que hacemos presente para optar el: *Título Profesional De Ingeniero Civil*.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a *La Universidad* cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada.

En consecuencia, nos hacemos responsables frente a *La Universidad* y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo

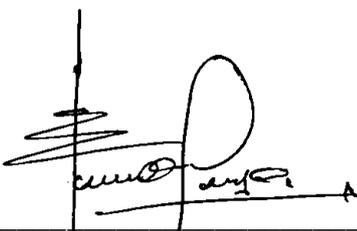
todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 30 de octubre del 2021



Bach. JOEL JESÚS MONTOYA SUPE
DNI: 75507351



Bach. RONNY RICARDO SERRANO PAYE
DNI: 70556521

DEDICATORIA

Esta presente tesis de investigación está dedicada a mi madre María Paye Huanca, quien, con su infinita paciencia, apoyo incondicional y un amor inmenso hizo todo en la vida para que pueda alcanzar mis metas y sueños, a mi padre Abdón Serrano Choque, que siempre confió en mí, brindándome todo su cariño y apoyo incondicional para salir adelante y mis queridos abuelos, Felicitas, Francisca y Pablo también para ellos va dedicado este logro.

RONNY RICARDO SERRANO PAYE

El siguiente trabajo está dedicado con mucho cariño a mi madre Elizabeth Supo, a mi padre Vicente Montoya y hermanos Johan e Yvette, quienes me apoyaron en todo sentido a lo largo de los años que me tomó culminar la carrera, con mucho aprecio y amor les ofrezco mi más grande gratitud y les prometo que mi vida profesional será justa, constante y con mucha vocación.

JOEL JESÚS MONTOYA SUPO

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por darnos la vida y así mismo guiarnos por el camino del bien.
Gracias a nuestros padres, por apoyarnos incondicionalmente, por ser un ejemplo de fortaleza, buenos principios; así mismo por la paciencia constante que nos tuvieron en todo este proceso y guiarnos siempre a cumplir nuestras metas.
Gracias a todas las personas que hicieron posible que concluyéramos con esta tesis y su apoyo constante.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.Descripción del problema	2
1.2.Formulación del problema	4
1.2.1. Problema General	4
1.2.2. Problemas Específicos	4
1.3.Justificación e importancia	4
1.4.Objetivos	5
1.4.1.Objetivo General	5
1.4.2.Objetivos Específicos	5
1.5.Hipótesis	5
1.5.1.Hipótesis General	5
1.5.2.Hipótesis Específicos	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1.Antecedentes del estudio.....	7
2.1.1. A nivel internacional	7
2.1.2. A nivel nacional	8
2.1.3. A nivel local	10
2.2.Bases teóricas.....	11
2.2.1. Pavimentos	11
2.2.2. Clasificación de los Pavimentos	12
2.2.2.1. Pavimento flexible	12
2.2.2.2. Pavimento rígido	12
2.2.2.3. Pavimento híbrido	13
2.2.3. Constitución de los Pavimentos Flexibles	14
2.2.3.1. Carpeta Asfáltica	14
2.2.3.2. Base	14
2.2.3.3. Sub Base	14
2.2.3.4. Subrasante	15
2.2.4. Transitabilidad	15

2.2.5. Serviciabilidad	15
2.2.6. Cálculo de la transitabilidad mediante el método VIZIR	16
2.2.7. Rugosidad	17
2.2.8. Causas posibles de la Rugosidad	17
2.2.9. Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos	18
2.2.10. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	18
2.2.11. Escalas y características del IRI	18
2.2.12. Cálculo de la Rugosidad (IRI)	19
2.2.13. Rugosímetro MERLIN	20
2.2.14. Utilización del rugosímetro de MERLIN	21
2.2.15. Modo de Utilización	23
2.2.16. Determinación de la Rugosidad	24
2.2.17. Método AASHTO	24
2.2.17.1. Factores de Diseño	25
2.2.17.2. Variables de Diseño	26
2.2.17.2.1. Tiempo	26
2.2.17.2.2. Confiabilidad	26
2.2.17.2.3. Tránsito	26
2.2.18. Propiedades de los Materiales	27
2.2.18.1. Módulo de Reacción de Subrasante (K)	27
2.2.18.2. Módulo de rotura del pavimento	28
2.2.18.3. Módulo de elasticidad del pavimento	29
2.2.19. Funciones del Pavimento	29
2.2.19.1. Desaguamiento	29
2.2.19.2. Transmisión de carga	30
2.2.19.3. Pérdida de soporte	30
2.3. Definición de términos	31
2.3.1. Bache	31
2.3.2. Fallas en Pavimentos	31
2.3.3. Índice de Rugosidad Internacional	32
2.3.4. Rugosímetro de Merlín	32
2.3.5. Estudio de Tráfico Vehicular	32
2.3.6. Metodología AASHTO 93	32
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	33
3.1. Tipo y Diseño de la investigación	33
3.1.1. Tipo de investigación	33
3.1.2. Diseño de la investigación	33

3.2. Población y/o muestra de estudio.....	33
3.2.1. Población	33
3.2.2. Muestra	33
3.3. Operacionalización de variables.....	34
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	35
3.4.1. Técnicas	35
3.4.2. Instrumentos	36
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	36
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	37
4.1. Determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	37
4.2. Diseño de espesores del pavimento flexible utilizando AASHTO 93	37
4.2.1. Cálculo de ESAL de diseño	37
4.2.1.1. Aforo vehicular	37
4.2.1.2. Cálculo del índice medio diario (IMD)	37
4.2.2. Cálculo de diseño de pavimento flexible	38
4.2.2.1. ESAL de diseño	39
4.2.2.2. CBR de diseño	39
4.2.2.3. Módulo de resiliencia de la sub-base (Mr)	41
4.2.2.4. Nivel de confiabilidad	41
4.2.2.5. Desviación estándar	41
4.2.2.6. Pérdida de serviciabilidad	42
4.2.2.7. Ecuación básica de diseño	42
4.2.2.8. Cálculo del número estructural (SN)	43
4.2.2.9. Cálculo de coeficientes de capa	44
4.2.2.10. Tipos de drenaje para capas granulares	45
4.2.2.11. Espesores mínimos utilizando metodología AASHTO 93	45
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	47
5.1. Análisis de los resultados de la rugosidad	47
5.2. Análisis del diseño del pavimento flexible	49
5.2.1. Índice de Rugosidad Internacional	49
5.2.2. Aforo Vehicular	49
5.2.3. ESAL de diseño	49
5.2.4. CBR del terreno	50
5.2.5. Módulo de Resiliencia (Mr)	50
5.2.6. Espesores de la propuesta de pavimento flexible	50
CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES.....	52

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....53
ANEXOS.....56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estado situacional de la Avenida Tarapacá.....	3
Figura 2. Sección convencional de un pavimento rígido	13
Figura 3. Escala del Banco Mundial para clasificar los caminos según su IRI.....	19
Figura 4. Detalles del equipo MERLIN	20
Figura 5. Cálculo de las desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a la curva promedio AB.....	22
Figura 6. Escala de dispersión de las desviaciones del pavimento.....	23
Figura 7. Predisposición de la conducta del pavimento.....	27
Figura 8. Zona de estudio en la Avenida Tarapacá, tramo: Óvalo Cuzco – Av. Pinto	34
Figura 9. Variación diaria vehicular.....	38
Figura 10. Calicata in Situ 01	40
Figura 11. Gráfico de penetración CBR (Índice de Soporte de California)	40
Figura 12. Ecuación Básica de Diseño	43
Figura 13. Software AASHTO 93.....	44
Figura 14. Espesores del diseño de pavimento flexible	45
Figura 15. Diseño final de la estructura del pavimento del proyecto.....	46
Figura 16. Recolección de datos – Carril derecho subidal.....	47
Figura 17. Recolección de datos– Carril izquierdo bajada.....	47
Figura 18. Clasificación del PSI en función del IRI.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala de índice de serviciabilidad..	16
Tabla 2. Transitabilidad mediante el IRI	17
Tabla 3. Rangos de factor LS.	31
Tabla 4. Operacionalización de variables.	35
Tabla 5. Determinación de ESALs o ejes equivalentes	39
Tabla 6. Determinación de CBR (Índice de Soporte de California)	41
Tabla 7. Nivel de confiabilidad (R)	41
Tabla 8. Desviación Estándar (So)	42
Tabla 9. Perdida de Serviciabilidad	42
Tabla 10. Aplicación de la ecuación básica de AASHTO 93	43
Tabla 11. Coeficientes de capa	44
Tabla 12. Calidad del drenaje	45
Tabla 13. Resumen de IRI – Av. Tarapacá	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ensayo para medición de la Rugosidad con MERLIN... ..	56
Anexo 2. Estudio de tráfico.....	68
Anexo 3. Estudio de suelos - CBR.....	69
Anexo 4. Panel fotográfico.....	76
Anexo 5. Matriz de consistencia.....	80

RESUMEN

En el presente trabajo investigativo se ha calculado el índice de rugosidad internacional en el pavimento flexible para determinar el estado de deterioro en la Avenida Tarapacá, tramo: Ovalo Cuzco – av. Gustavo Pinto, distrito de Tacna, provincia de Tacna, la cual consta de una longitud aproximada de 2400 metros y un ancho máximo de calzada de 6,00 metros. Como objetivo general se tiene el determinar el índice de rugosidad internacional y mediante una propuesta de diseño mejorar las condiciones de pavimento flexible en la Avenida Tarapacá, tramo Ovalo Cuzco hasta Avenida Gustavo Pinto, apoyándonos de la metodología IRI y AASHTO 93. Mediante el uso del rugosímetro de MERLIN se calculó la rugosidad tanto del carril izquierdo igual a 6,08 m/km, como del carril derecho igual a 6.26 m/km, obteniendo el IRI promedio de la vía estudiada igual a 6.17 m/km, considerándose como resultado del estudio un pavimento en estado “MALO”. Una vez obtenidos los resultados del estado del pavimento se dio como propuesta de mejoramiento realizar una nueva Infraestructura vial, realizando un diseño de pavimento flexible mediante la Metodología AASHTO 93 por lo que fue necesario realizar un aforo vehicular de la zona, así como la excavación de una calicata para poder determinar el CBR y poder continuar con los cálculos de diseño y finalmente obtener los espesores de la carpeta asfáltica, base y sub-base teniendo como resultado un pavimento más resistente a la demanda vehicular actual de la zona. Se espera que el presente trabajo de investigación sea de interés y pueda aportar como base de datos teórica para los proyectos venideros que requieran contemplar la conservación de las vías asfaltadas.

PALABRAS CLAVES: Pavimento Flexible; Carpeta Asfáltica; Rugosímetro de Merlín; IRI; Fallas de Pavimento; Tránsito; Serviciabilidad; AASHTO

ABSTRACT

In the present research work, the international roughness index in the flexible pavement has been calculated to determine the state of deterioration in Tarapacá Avenue, from Cuzco oval to Pinto Avenue, district of Tacna, province of Tacna, which consists of an approximate length of 2400 meters and a maximum width of road of 6.00 meters. The general objective is to determine the international roughness index and through a design proposal to improve the flexible pavement conditions on Tarapacá Avenue, from Cuzco oval to Pinto Avenue, based on the IRI and AASHTO 93 methodology. Using the MERLIN roughness meter, the roughness of both the left lane was calculated equal to 6.08 m / km, and the right lane equal to 6.26 m / km, obtaining the average IRI of the studied road equal to 6.17 m / km, considering as a result of the study a pavement in a “BAD” state. Once the results of the state of the pavement had been obtained, a proposal for improvement was made to carry out a new road infrastructure, carrying out a flexible pavement design using the AASHTO 93 Methodology, for which it was necessary to carry out a vehicle capacity of the area, as well as the excavation of one pit to determine the CBR and to continue with the design calculations and finally obtain the thicknesses of the asphalt layer, base and sub-base, resulting in a more resistant pavement to the current vehicular demand in the area. It is expected that this research work will be of interest and can contribute as a theoretical database for future projects that require considering the conservation of asphalt roads.

KEYWORDS: Flexible Pavement; Asphalt Folder; Merlin's roughness meter; IRI; Pavement Failures; Transit; Serviceability; AASHTO.

INTRODUCCIÓN

Los pavimentos, tanto rígidos como flexibles, tienen un periodo de vida útil, a lo largo de éste se presentarán fallas las cuales se dan por causas atribuibles a un mal diseño, una alta demanda de tránsito vehicular, un mantenimiento vial no adecuado y exceso de cargas en vehículos que sobrepasan lo permitido por el diseño. Todo esto acumulado en un largo periodo de tiempo ocasiona que el pavimento falle y sean visibles al ojo humano distintas fallas las cuales nos indican del estado de la vía. Un diseño óptimo y la utilización de métodos de mantenimiento y rehabilitación vial en los pavimentos, aseguran un buen uso del pavimento durante la totalidad del tiempo de vida para el cual fue diseñado.

Uno de los métodos para determinar el estado de un pavimento es la determinación de la rugosidad utilizando el Rugosímetro de Merlín. El proyecto de investigación tiene como objetivo la aplicación del Índice de Rugosidad Internacional en la Avenida Tarapacá, tramo Óvalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto, distrito de Tacna, provincia de Tacna y determinar en qué condiciones se encuentra la vía evaluada. Asimismo, uno de las metodologías más utilizadas para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles es la metodología AASHTO 93, diseñados para una vida útil de 20 años como mínimo.

La presente tesis se encuentra estructurada en 5 capítulos, en el primer capítulo titulado planteamiento del problema, identificamos la descripción, formulación y justificación del problema, los objetivos y la hipótesis; como segundo capítulo, el marco teórico, donde se presentan los antecedentes del estudio, las bases teóricas y definición de términos; en el tercer capítulo, el marco metodológico, donde se detalla el tipo y diseño de la investigación, la población y muestra de estudio, operacionalización de variables, técnicas e instrumentos, procesamiento y análisis de datos; cuarto capítulo, presentación de los resultados y finalmente en el capítulo quinto la discusión de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

En la actualidad Tacna viene experimentando un crecimiento poblacional a ello se suma el incremento del flujo vehicular en las redes viales que son empleadas para el transporte urbano y de comercio mercante, el gran fluido de vehículos en las diferentes redes viales de los distritos de la ciudad de Tacna, se ha visto afectada por el flujo de vehículos, los daños externos por aniegos que van debilitando los pavimentos, lo que reduce su calidad de rodadura y vida de servicio, aumentando la aparición de patologías, por lo que la solicitud de la transitabilidad en la Avenida Tarapacá en el tramo: Óvalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto se ha incrementado, convirtiéndose en necesidad la calidad de las vías pavimentadas existentes.

Los sistemas viales son de mucha relevancia en el progreso socio económico, a su vez el transporte es parte del crecimiento económico de un país, y sus subdivisiones. Lo expuesto evidencia la necesidad de implementar programas de proyectos viales, un correcto diseño y buenos procesos constructivos en la colocación de pavimentos, esto no afianza que existan a futuro problemas en el pavimento al no recibir un adecuado mantenimiento de vías.

En la actualidad a medida que las vías terrestres son utilizadas por los distintos medios de transporte vehicular y de comercio desde el distrito capital de la ciudad de Tacna, esto va generando daños superficiales, y al no recibir un mantenimiento periódico por desgaste, la calidad de rodadura del pavimento alcanza niveles muy altos que pueden solicitar la reconstrucción en función al diseño de vida útil de la misma.

La rugosidad en pavimentos es directamente proporcional al tiempo de servicio y comodidad de transporte, además esto genera costos adicionales de incrementar los costos de mantenimiento de los vehículos y de vía, generando así malestar en la población, es por ello que se existen metodologías de evaluación para medir el índice de rugosidad internacional de pavimentos.

El cálculo del Índice de Rugosidad Internacional en pavimentos, actualmente emplea una diversa variedad de equipos, una de las más tradicionales y confiables

es el Rugosímetro de MERLIN, esta metodología determina de manera práctica el IRI del pavimento, con la recolección de datos en campo.

Se analiza visualmente que la calidad de rodadura de la Avenida Tarapacá, la que es materia de estudio tiene deterioros considerables en el tramo comprendido entre el Ovalo Cuzco y Av. Gustavo Pinto como se muestra en la Figura 1 y Anexo 4, por lo que distinguirlos será uno de los objetivos principales del presente proyecto de investigación y determinar el estado de la calidad de rodadura, al no saberse con exactitud como dato, emplearemos la metodología del rugosímetro de MERLIN.

La utilización de la metodología del Rugosímetro de MERLIN determinará un valor de IRI para clasificar el estado del pavimento en la Av. Tarapacá en el tramo: Ovalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto, su evaluará en una longitud de 2,400 m., este método tradicional y confiable será empleado actualmente para la clasificación del estado de transitabilidad de la vía en estudio.

Figura 1

Estado situacional de la Avenida Tarapacá 2021



Nota. La figura muestra las fallas superficiales que presenta la vía en estudio. Elaboración Propia (2021).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo la determinación del índice de rugosidad internacional mediante una propuesta de diseño mejoraría las condiciones del pavimento flexible de la Av. Tarapacá, tramo: Óvalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto, Tacna - 2021?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo se determina los parámetros de calidad de rodadura del pavimento flexible, utilizando el rugosímetro de MERLÍN en la avenida Tarapacá?
- ¿Cómo una propuesta de diseño del pavimento flexible utilizando la AASHTO 93, mejoraría el índice de rugosidad internacional en la avenida Tarapacá?

1.3. Justificación e importancia

El proyecto de investigación consiste básicamente en el cálculo, apreciación y distinción del Índice de Rugosidad Internacional (IRI), se realizará mediante la aplicación del método del Rugosímetro de MERLIN, la presente tesis optara por estudiar la avenida Tarapacá: Tramo Óvalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto, que viene siendo una vía rápida de doble sentido con una calzada de 3.50 metros en cada sentido y con alta demanda de vehículos livianos considerándose esta parte esencial para la conexión de los distritos de Tacna.

El proyecto de investigación dará a conocer el estado superficial y estructural de 2,400 km de pavimento flexible, en la avenida Tarapacá: Tramo Óvalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto. Para ello se empleará el método tradicional del Rugosímetro de MERLIN, que determinará la calidad de rodadura en que se encuentra el pavimento, mediante la recolección de datos in situ se determinará las condiciones físicas de deterioro.

Se estima que en la ciudad de Tacna las vías ejecutadas muestran irregularidades y fallas superficiales, el cual influye en el bienestar y el tiempo de transporte, lo cual generaría los costos de conservación y operación vehicular.

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI), es de gran relevancia al momento de realizar la conservación de vías, siendo indispensable calcular y analizar el estado del sistema vial en la ciudad de Tacna, la cual recolecta información de campo por medio de la aplicación del Rugosímetro de MERLIN, un instrumento dinámico, práctico y de bajo costo. Será de mucha utilidad los resultados obtenidos de este proyecto de investigación para los estudiantes de Ingeniería Civil de las Universidades de la ciudad de Tacna, ya que estará a su disposición para futuras ideas de investigación a la problemática de vías y como material de discusión y consulta, asimismo para la Municipalidad de Tacna que podrá hacer uso de los resultados de la evaluación de la calidad de rodadura del pavimento de la avenida Tarapacá: Tramo Ovalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto de manera que puedan mejorar las condiciones físicas del pavimento para comodidad y confort de la sociedad.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar el índice de rugosidad internacional y mediante una propuesta de diseño mejorar las condiciones del pavimento flexible en la Av. Tarapacá, Tramo: Óvalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto, Tacna – 2021.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros de calidad de rodadura del pavimento flexible utilizando el método del rugosímetro de MERLÍN en la avenida Tarapacá.
- Proponer un diseño del pavimento flexible mediante el AASHTO 93, para mejorar el índice de rugosidad internacional en la avenida Tarapacá.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La determinación del índice de rugosidad permite favorablemente realizar una propuesta de diseño del pavimento flexible, para mejorar las condiciones en la avenida Tarapacá, tramo: Óvalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto, Tacna – 2021.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Se determinan los parámetros de calidad de rodadura del pavimento flexible utilizando el método del rugosímetro de MERLIN, cuyos resultados son confiables para mejorar la avenida Tarapacá.
- La propuesta de diseño del pavimento flexible mediante el AASHTO 93, logra satisfacer favorablemente el índice de rugosidad internacional en la avenida Tarapacá.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. A nivel internacional

Morales (2020) en su tesis titulada “Metodología para el cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI) y su aplicación en pavimentos flexibles de Guatemala” de la Universidad de San Carlos de Guatemala nos dice que la aplicación para la obtención del Índice de Rugosidad Internacional involucra procesos que deben realizarse en tramos homogéneos. Además, concluyó que el IRI clasifica el valor de rugosidad por causa de las imperfecciones o alteraciones superficiales generadas por flujo vehicular y factores ambientales. De ello determina que, valores mayores a 4, requieren de un tratamiento periódico. En cambio, para valores entre 4 y 6 requieren ser considerados para un desarrollo reconstructivo del pavimento.

En el trabajo de investigación titulado “Desarrollo de la correlación entre dos indicadores de la condición de la superficie del pavimento” de la Universidad de Cuenca – Ecuador concluye que la capacidad del admisible de la subrasante la cual recibirá la configuración del pavimento en investigación presenta 02 factores, un suelo con CBR en estado permeable menores a 3% con condicionante a hinchamiento y otra con CBR mayor a 6%. Además, se concluyó que la estructura más recomendada para la construcción de los 6.5 km de vía evaluados en la investigación en cuestión es la calculada mediante el Método del Instituto del Asfalto debido que los espesores obtenidos por el Método AASHTO 93 son los más óptimos y se validó la satisfacción de los valores de fatiga tanto de la subrasante como de la carpeta asfáltica (Salamanca y Zuluaga, 2014).

Calle (2014) en su trabajo de investigación titulado “Costos de Construcción y Diseño de Pavimentos Rígidos y Flexibles (Método AASHTO-93)” de la Universidad Mayor de San Andrés de Bolivia, realizó un análisis de diseño de pavimentos tanto rígidos como flexibles y concluyó que la calidad del material de la subrasante define los espesores del pavimento y están relacionadas de la siguiente manera:

- A menor calidad capacidad admisible de la subrasante → Mayores espesores de la configuración superior.

- A mayor calidad capacidad admisible de la subrasante → Menores espesores de la configuración superior

En la tesis denominada “Determinación del Índice de Rugosidad Internacional en la Av. La Prensa, usando aparatos inteligentes y el rugosímetro de Merlín” de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, tuvo como objetivo la determinación de la serviciabilidad utilizando el valor del IRI del Rugosímetro de Merlín, también se concluyó que el rugosímetro de Merlín es la opción más viable para la obtención del Índice de Rugosidad Internacional y que en la actualidad el uso de herramientas digitales como softwares pueden resultar de gran ayuda para referenciar los valores del IRI, (Reyes, 2020).

Herrera (2018) en su trabajo denominado “Mejoramiento y Mantenimiento Vial en el Municipio de Viacha” de la Universidad Mayor de San Andrés de Bolivia, se llegó a la conclusión que se debe poner un énfasis durante el levantamiento topográfico para que las actividades que se programen no se vean alteradas al momento de la ejecución. Además de que todas las actividades o trabajos para la construcción del pavimento flexible tienen crucial importancia para la correcta funcionalidad del mismo, se debe tener en cuenta que a las obras denominadas secundarias no se les debe dejar de prestar atención puesto que elementos secundarios mal construidos puede ocasionar que el pavimento falle en un corto tiempo.

2.1.2. A nivel nacional

Carhuapoma (2019) en su tesis titulada “Evaluación del nivel de servicio mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) utilizando el rugosímetro de Merlín en el pavimento flexible de la carretera Cerro de Pasco – Yanahuanca – 2019” de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión determinó que la carretera en estudio presenta progresivas con un PSI igual a 0.87 y con IRI de 9.60 m/km determinando un estado severo y de acuerdo a la clasificación normada tiene un estado de serviciabilidad muy malo, también logra determinar PSI igual a 3.84 con IRI de 1.45 m/km, que de acuerdo a la clasificación tienen un estado de servicio bueno. Además, se concluyó que el nivel que ofrece el servicio de pavimento flexible de la carretera Cerro de Pasco - Yanahuanca al tiempo de la elaboración de la investigación es aceptable por su condición regular, debido al insignificante

tratamiento de la vía, siendo alarmante debido a la importancia que representa la misma.

La tesis titulada “Diseño de pavimento flexible, bajo influencia de parámetros de diseño debido al deterioro del pavimento en Santa Rosa – Sachapite, Huancavelica – 2017” concluye que el CBR influye directamente al diseño, porque al calcular las dimensiones de la configuración del pavimento flexible se determinó un $CBR = 7.2 \%$ para diseños elaborados el 2006, como el realizado en 2017, ya que al ser el mismo terreno es recomendable diseñar con las mismas características mecánicas del suelo en este caso el mismo CBR de la subrasante. Si este fuera menor implicaría aplicar la estabilización de suelos u otros métodos (Escobar y Huincho, 2017).

Vega (2018) en su trabajo de investigación científica titulado “Diseño de los Pavimentos de la Carretera de Acceso al Nuevo Puerto de Yurimaguas (KM 1+000 a 2+000)” concluyó que el estudio de tráfico es el dato más relevante en la metodología de diseño de pavimentos flexibles, recomienda el control de las cargas máximas legales permisibles para no subdimensionar el pavimento. Además, se constató que las características de la subrasante, en especial el CBR, afectan directamente a el cálculo de los espesores del pavimento flexible.

La tesis titulada “Análisis comparativo del Índice de Rugosidad Internacional del pavimento de la Av. La Cultura de la ciudad del Cusco mediante el aplicativo para Smartphone Roadroid, rugosímetro electrónico Bump Integrator B1-100A y rugosímetro de Merlín” tuvo como objetivo el confrontar los valores obtenidos por medio del aplicativo Roadroid, rugosímetro automatizado B1-100A y el método del rugosímetro de Merlín para determinar el Índice de Rugosidad Internacional con los parámetros establecidos en la norma técnica del Perú CE.010 para pavimentos urbanos (Lloclla y Sánchez, 2019).

Montoya (2013) en su proyecto de tesis de postgrado titulado “Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú” concluyó que, para las vías interprovinciales del Perú, el parámetro de más incidencia es el valor del IRI en la onda horizontal; a causa que en estas existen hasta 04 variaciones de declive en contraste a las curvaturas verticales que solo presentan tres cambios. Es importante destacar el análisis que realiza entre los parámetros IRI obtenidos y la

forma de la vía, permitirá a entender la lógica con respecto a las exigencias técnicas del pavimento flexible en estudio.

2.1.3. A nivel local

B. A. Mamani y Vallejos (2020) en su trabajo “Cálculo de la rugosidad y el índice de condición del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad en la Av. Juan Moore, tramo: Calle Argentina – Calle Precursores, Tacna – 2020” tienen como objetivo de la investigación obtener el índice de rugosidad y de estado del pavimento flexible para aumentar la condición de la transitabilidad en la Avenida Juan Moore, utilizando el método del rugosímetro de MERLIN se determinó que el IRI de la calzada derecha es 7.9865 m/km, y de la calzada izquierda es 7.15425 m/km, con un Índice de Regularidad Internacional (IRI), promedio igual a 7.57 m/km, evidenciando el estado de la vía como “Malo”. Además, se concluyó que los valores encontrados del IRI y PCI, la rugosidad y el estado de rodadura son “malos”, por lo que la vía de estudio presenta irregularidades y/o deficiencias en el tránsito vehicular.

En la tesis titulada “Evaluación por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghurst, tramo: Av. Bolognesi - Av. Tarapacá - Tacna, 2019” de la Universidad Privada de Tacna, se determinó que la presencia de fallas en la superficie del pavimento flexible de la avenida en estudio está relacionada con la capacidad “deformación-recuperación”, con la puesta de cargas a la superficie de rodadura se ha deformado y se generaron un serie de fallas en todos los tramos estudiados (Jinchuña, 2020).

Toledo y Llaiqui (2020) en su trabajo de investigación titulado “Evaluación superficial del pavimento flexible aplicando el método PCI y propuesta de mejoramiento de la infraestructura vial en la Av. Industrial, en el tramo de la Av. Gustavo pinto y la Av. Jorge Basadre Grohmann - Tacna, 2019” concluyeron que al haber encontrado una gran cantidad de fallas a lo largo del tramo en estudio mediante el método PCI, es recomendable realizar un nuevo diseño de pavimento flexible debido a la clase de vehículos pesados que transitan por la zona. En el cálculo de la configuración del pavimento realizado empleando la ecuación de AASHTO 93 los parámetros necesarios fueron: CBR de diseño, ESAL de diseño, coeficientes de capas, confiabilidad y serviciabilidad.

La tesis titulada “Propuesta económica de diseño de pavimento para el intercambio vial a desnivel en la Av. Jorge Basadre Grohmann, tramo: Avenida Intiorko - Calle Venezuela, Alto de la Alianza, Tacna – 2020” tiene como objetivo la determinación de la propuesta económica tanto de un pavimento flexible como de un pavimento rígido según el método AASHTO 93. Además, se concluyó que el diseño de pavimento rígido representa una propuesta económica menor, representando mayor rentabilidad al final de su periodo de diseño, esto debido a sus menores costos en intervenciones (Condori, 2020).

Mamani y Ramos (2019) en su trabajo de investigación titulado “Estudio Geotécnico de la sub rasante para diseño de pavimentos flexibles en las vías de Alto Tacna, distrito de Alto de la Alianza, Tacna – 2019” determinó una estructura de pavimento para el tráfico generado y desviado, que son factores que no se consideran al momento de calcular el aumento vehicular, si se considera que dado el progreso que tendría la vía en estudio, se provocaría mayor tráfico generado y desviado del 40% en el tiempo determinado entre 10 y 20 años, luego de ello se tendrá un nuevo planteamiento para el pavimento, sin modificar las características geotécnicas del suelo, el cálculo obtenido es una estructura vial de 46 cm en total, con bases y sub bases granulares de 20 cm de espesor y carpeta asfáltica de 6 cm con aplicación asfáltica en caliente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Pavimentos

Según MTC (2014), el pavimento es una configuración constituida de espesores y puesta sobre la sub rasante del terreno natural para soportar y dividir las cargas causadas por el pase de vehículos y así perfeccionar el estado de confort para el tránsito. Su configuración está constituida por los siguientes espesores: base, subbase y carpeta asfáltica.

Además, en los manuales de la AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transportes del Estado), hay dos fuentes que definen un pavimento: la ingeniería y el usuario:

Para la ingeniería, el pavimento es una estructura cargada en toda la superficie del suelo llamado subrasante. Desde el punto de vista del usuario, el pavimento es una base que debe proporcionar confort y estabilidad al tránsito vehicular.

En conclusión, todo pavimento debe poseer la tolerancia adecuada para soportar las cargas ocasionados por el flujo vehicular, los factores meteorológicos y el nivel freático, así como los daños ocasionados por el paso vehicular. Otros requerimientos necesarios para garantizar el adecuado funcionamiento de una vía son el ancho de calzada; las rectas horizontales y verticales configuradas por el diseño geométrico; y la rugosidad apropiada entre el vehículo y el pavimento.

2.2.2. Clasificación de los Pavimentos

La configuración de los espesores de un pavimento va en función de varios factores, como la calidad de carga de la subrasante, las características mecánicas de material que se empleara en la capa base, el aforo vehicular, entre otros. De acuerdo a ello se pueden encontrar 03 tipos de pavimentos, diferenciados acorde a la configuración estructural que poseen:

2.2.2.1. Pavimento flexible

El pavimento flexible está conformado sobre la capa subrasante, conformada por la subbase, base y carpeta asfáltica. El pavimento flexible debe garantizar una estabilidad de apoyo uniforme, confiable a los esfuerzos causados por el flujo vehicular, y agentes climatológicos, así como asegurar la repartición de cargas a las capas dependientes.

Según Rico y Del Castillo (2005), indica que es el más accesible económicamente con respecto a su construcción inicial, tiene un tiempo de servicio entre 10 y 15 años, pero tiene como inconveniente que solicita una conservación rutinaria para poder cumplir su tiempo de servicio. La estructura del pavimento se compone generalmente de la carpeta asfáltica, la base y la subbase.

2.2.2.2. Pavimento rígido

La configuración de este tipo de pavimento establece una losa de concreto apoyada sobre un espesor de material seleccionado o aplicada sobre la subrasante

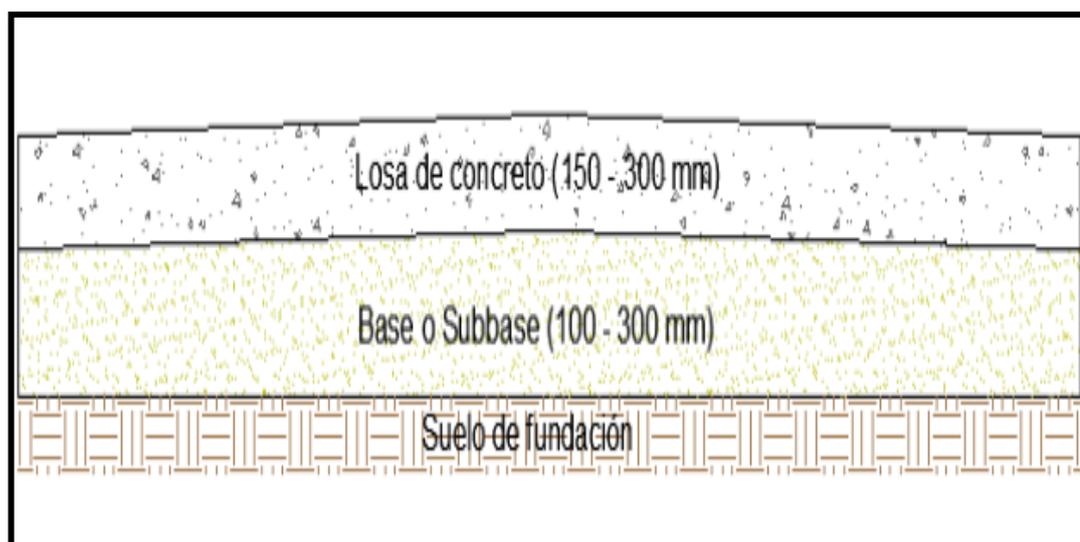
del terreno, esto va acorde a las propiedades mecánicas de la subrasante y de las cargas ocasionadas por el tráfico.

El pavimento rígido genera un costo presupuestal inicial más elevado a comparación que el pavimento flexible y su tiempo de servicio útil varía entre 20 y 40 años. La conservación que requiere es menor y por lo general está enfocado a la reconstrucción de juntas de dilatación entre los tramos de losas.

Según Huang (2004), la sección de un pavimento rígido se encuentra conformada por dos capas principales, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Sección convencional de un pavimento rígido



Nota. La figura muestra los espesores de las capas que conforman un pavimento rígido. Tomado de Huang (2004).

2.2.2.3. Pavimento híbrido

Según Rodríguez (2009), el pavimento híbrido o pavimento mixto, combina el pavimento flexible y rígido. Se tienen dos esquemas tipo de la configuración estructural de pavimentos mixtos. En el primero, su estructuración está orientada en la instalación de bloques de concreto prefabricado reemplazando a la capa asfáltica, el objetivo es reducir los topes de velocidad de los vehículos, dado que las losas de concreto prefabricado ocasionan una suave ondulación en los vehículos cuando se

circula sobre ellos, instigando al conductor a preservar una velocidad menor a 60 km /h.

Este tipo de pavimento es utilizado en el casco urbano, ya que se puede garantizar resguardo y confort para los usuarios que harán uso de las vías. También se aplica una capa hecha con asfalto, la cual se aplica sobre el pavimento de concreto prefabricado. En consecuencia, se crea una particular falla en este tipo de pavimento, conocida como fisura de reflexión de encuentro.

2.2.3. Constitución de los Pavimentos Flexibles

Los pavimentos flexibles se encuentran conformados por las siguientes capas: Carpeta asfáltica, base, sub-base y subrasante. Seguidamente, se explica detalladamente cada una de estas:

2.2.3.1. Carpeta Asfáltica

Se define como la capa superficial del pavimento flexible y tiene 3 funciones principales: Sirve como capa de rodadura estable y uniforme para permitir el tránsito, como impermeabilizante de la estructura del pavimento flexible y para evitar la filtración de agua al interior de la estructura vial.

2.2.3.2. Base

Según MTC (2014), es la capa que va debajo de la carpeta asfáltica, que tiene como objetivo principal el mantener, dividir y transferir las cargas originadas por el flujo vehicular. Esta capa debe ser de material granular permeable o drenante (CBR \geq 80%) o de lo contrario será mejorada con cal, cemento u otro conglomerante.

2.2.3.3. Sub Base

Según MTC (2014), es una capa de características mecánicas específicas y con un espesor diseñado, el cual debe soportar a la base y a la carpeta asfáltica. Esta debe ser de material granulado (CBR \geq 40%), su implementación sirve como capa de drenaje y controla la capilaridad del agua. Según el tipo de diseño y dimensiones, esta capa puede obviarse.

2.2.3.4. Subrasante

Según MTC (2014), la subrasante es la superficie acabada de la vía que se consigue con trabajos de movimiento de tierras (relleno y corte), sobre la cual se construye subbase, base y capa asfáltica.

Es la capa final del terraplén de las excavaciones en terreno natural, esta deberá ser un suelo de características admisibles y compactada en capas para conformar una estructura confiable y sólida, de tal forma que no sea perjudicada por las cargas provenientes del tránsito.

Su posibilidad de soportar cargas en estado de servicio, el estudio de tráfico y las características mecánicas de los elementos de la capa asfáltica, forman parte las variables principales para el diseño de la configuración del pavimento que se colocará por encima.

2.2.4. Transitabilidad

El término "transitabilidad" en el Perú es definido como un estado de "disponibilidad de uso". Manifiesta que la vía específica está disponible para su utilización, y que su uso no está restringido para el tránsito vehicular público por razones de "percances o emergencias viales" al haber sido intervenida en algún o varios lugares a lo largo del recorrido, como consecuencia de los deterioros de gran envergadura causados por fenómenos naturales, tales como deslizamientos de suelos saturados, desprendimiento de rocas, reducción de la calzada de la carretera, erosiones ocasionadas por el cauce de los ríos, entre otros. Estos tipos de fenómenos son los que ocasionan un gran impacto en la situación de las poblaciones del país y son presenciadas en su mayoría en temporadas de precipitaciones (Pomasonco, 2010).

2.2.5. Serviabilidad

La serviabilidad es la perspectiva que tiene el área usuaria del estado de servicio de la vía. En tanto, la opinión de los usuarios debe ser importante para calificar la calidad de rodadura en este aspecto.

La medición de la calidad de rodadura conlleva una desventaja teórica porque es dependiente del tipo de evaluación que requiera aplicar, para ello se debe definir si la atención es de la situación estructural de la vía, o el estado funcional. Ahora, si no se emplean las herramientas o metodologías adecuadas estandarizadas de evaluación, los resultados no serán discutibles ni comparables con los resultados realizados por otra persona o entre pavimentos.

El PSI o Índice de Serviciabilidad Presente, fue definido como la facultad de una vía para ser útil al flujo vehicular para el cual fue diseñado y elaborado. El pavimento fue clasificado con numeraciones cuyos valores extremos varían desde 0, para un pavimento intransitable, hasta 5 para un pavimento en óptimas condiciones, (Laura, 2016), como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1
Escala de índice de serviciabilidad

Índice	Serviciabilidad
5	Muy Buena
4	Muy Buena
3	Buena
2	Regular
1	Mala
0	Pésima

Nota. La tabla indica que el índice 5 determina una serviciabilidad muy buena por el contrario 0, determina como pésima. Tomado de Laura (2016)

2.2.6. Cálculo de la transitabilidad mediante el método VIZIR

Se da a conocer el resumen de los daños obtenidos durante la recolección de datos de campo en la progresiva de estudio, donde es de gran impacto el registro del tipo de falla, severidad y extensión como se muestra en la Tabla 2, factores que son registrados en el inventario. Se secciona en la recopilación de información progresivas cada 100 metros (Sechún, 2016).

Tabla 2*Transitabilidad mediante el IRI*

Parámetro	Transitabilidad
0-1	Muy Mala
1-2	Mala
2-3	Regular
3-4	Buena
4-5	Muy buena

Nota. La tabla muestra los parámetros de transitabilidad que van de muy mala en un rango de 0 -1 y muy buena en un rango de 4-5. Tomado de Sechún (2016).

2.2.7. Rugosidad

Algunos confunden la rugosidad con el término Regularidad, ya que este término se puede asociar a su traducción del inglés, lo ideal es usar el término Rugosidad. No obstante, se puede encontrar bibliografía que trata indiscriminadamente los conceptos de Regularidad y Rugosidad (Laura, 2016).

El presente proyecto de investigación hará uso del término rugosidad, que se define como las irregularidades en la superficie del pavimento, el cual afecta de forma directa en las fallas de las vías y molestias en los usuarios de las mismas.

El Banco Mundial propuso una medida de la rugosidad denominada el índice de rugosidad internacional (IRI), cuyo parámetro inicia de 0 (un pavimento ideal, en buen estado) hasta 20 (un pavimento completamente intransitable, defectuoso). Este parámetro utilizado, nos permite determinar la rugosidad superficial de los pavimentos a partir de la adición, en valor absoluto, de la flecha vertical a lo largo de una progresiva, dividido entre la distancia de la misma.

2.2.8. Causas posibles de la Rugosidad

Las fallas superficiales en la capa de rodadura de una nueva calzada o de una calzada ya existente puede deberse a la ausencia de políticas de mantenimiento puesto a que no se tomaron las medidas de control correspondientes, lo que ocasiona

las fallas y deformaciones, también puede deberse a fallos durante el proceso constructivo de la vía (B. A. Mamani y Vallejos, 2020).

2.2.9. Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos

Se han determinado que existen muchos factores que afectan directamente a la rugosidad superficial del pavimento, como se presenta a continuación.

- Edad del pavimento
- Cantidad de tráfico vehicular.
- Espesor de las capas del pavimento.
- El número estructural.
- Propiedades físicas de la base granular como el contenido de humedad y el porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Propiedades físicas de la sub rasante como el índice de plasticidad, contenido de humedad, contenido de limos y arcillas, y porcentaje de material que pasa la malla 200.

2.2.10. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

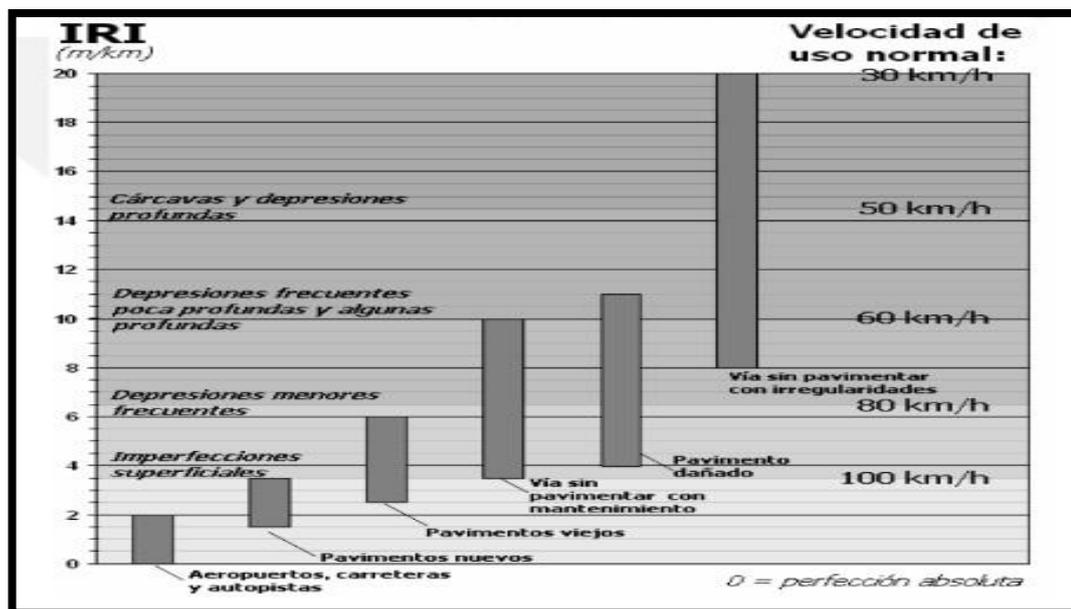
El IRI se define como el acopio del movimiento vertical que sufre la suspensión de una llanta (la cuarta parte de un vehículo) cuando este recorre la superficie de rodadura a una velocidad referencial de 80 km/h. De esta manera, es un índice de comodidad de rodadura de la calzada y constituye el parámetro de la carretera que es percibido por el usuario (Caro y Peña, 2012).

2.2.11. Escalas y características del IRI

El IRI tiene unidades de mm/m, m/km o in/mi, varía de 0 a 20 m/km o 0 a 126 in/mi. La escala del IRI según el Banco Mundial se presenta en la Figura 3.

Figura 3

Escala del Banco Mundial para clasificar los caminos según su IRI



Nota. La figura muestra la escala para clasificar caminos según su IRI de 0 a 20 Tomado del Banco Mundial (1986).

2.2.12. Cálculo de la Rugosidad (IRI)

En nuestro país existe experiencia en la utilización del rugosímetro de MERLIN, nombre que proviene de sus siglas en inglés y que traducidas en nuestro idioma sería: Máquina para determinar la rugosidad usando instrumentación de costo reducido.

Es cierto que en nuestro país también son utilizados equipos tipo respuesta (Integrador de Golpes) pero su manejo ha sido reducido en el número de proyectos existente a causa de la inexactitud de las calibraciones realizadas o a las diferencias en la calibración, lo que ha ocasionado resultados irreales en comparación con el estado real de los pavimentos en estudio.

Otra metodología utilizada en muchas partes de nuestro país, es la metodología de evaluación subjetiva, la cual forma parte de las bases para la utilización del rugosímetro de MERLIN.

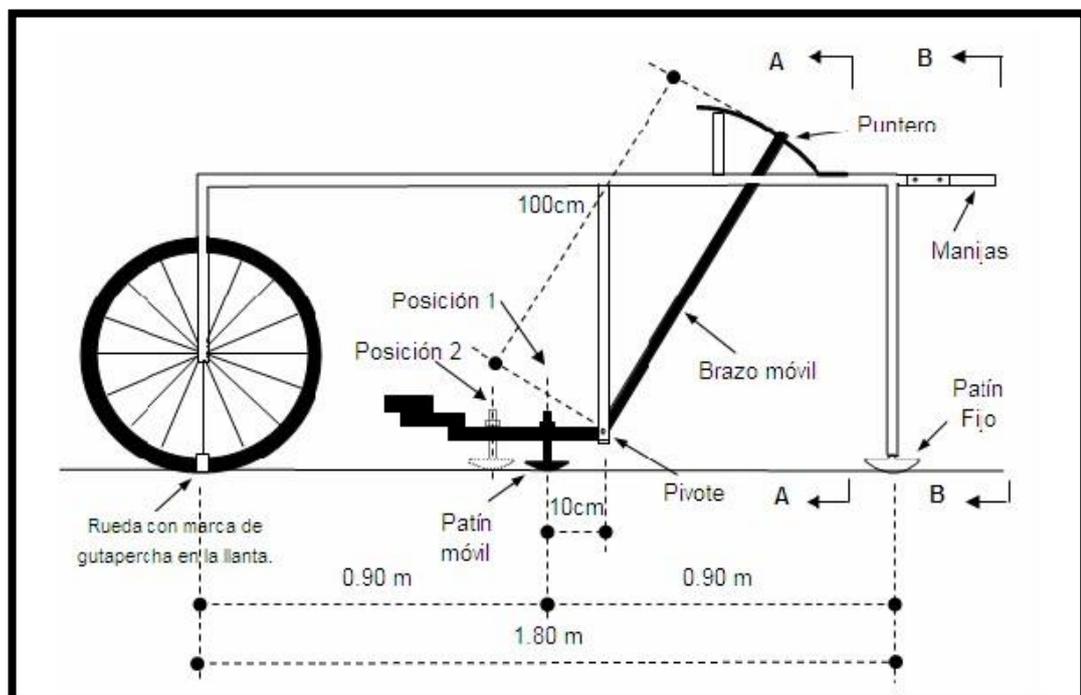
2.2.13. Rugosímetro MERLIN

Se llama rugosímetro de MERLIN a un equipo simple y económico, creado especialmente para usuarios provenientes de lugares con bajos recursos. Apareció en nuestro país en 1993, 6 años después, alrededor de 15 equipos eran utilizados por empresas de consultoría y construcción, en uso del equipo de MERLIN se detalla en la Figura 4.

El método de medición que utiliza el MERLIN, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con el MERLIN, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ($R^2=0.98$). Por su gran exactitud, sólo es superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (como el Integrador de Golpes) lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros.

Figura 4

Detalles del equipo MERLIN



Nota. La figura muestra el funcionamiento del equipo MERLIN. Tomado de Del Águila (1999).

2.2.14. Utilización del rugosímetro de MERLIN

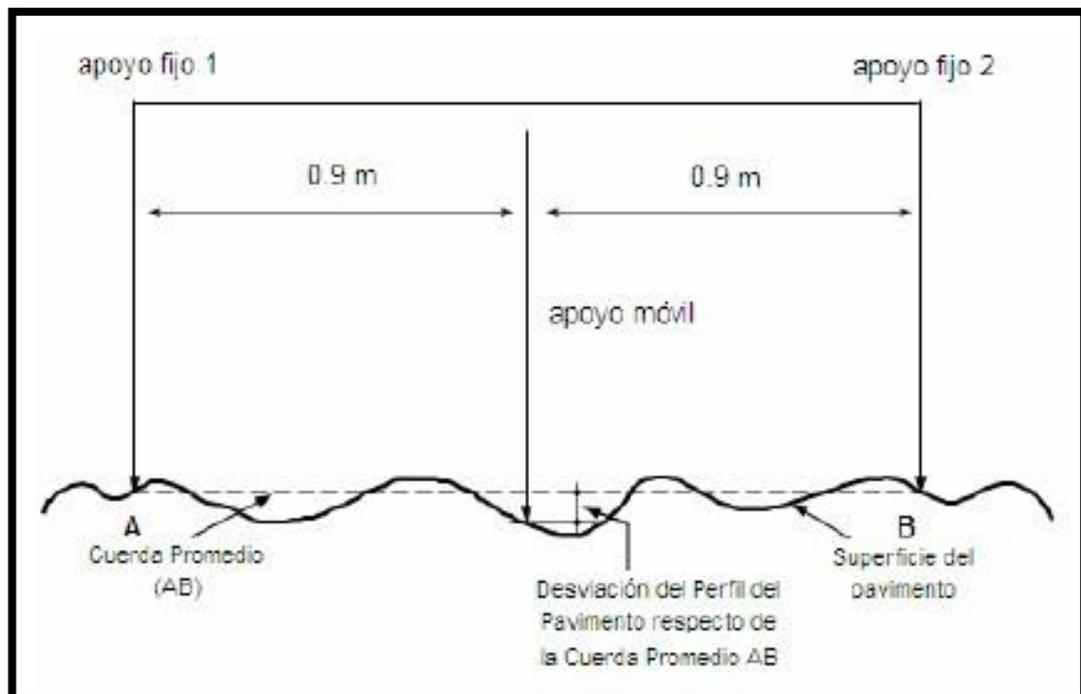
Algunas de sus ventajas son:

- Proporciona una construcción sencilla; por ende, algunos equipos son realizados por soldadores y trabajadores locales con herramientas que sean de fácil disposición.
- Es de naturaleza corpulenta; no es frágil, pero tampoco debe ser golpeado ni maltratado a propósito.
- Es de fácil calibración.
- El proceso de utilización del equipo es sencillo y el usuario puede rápidamente aprender a maniobrarlo.
- El rugosímetro de MERLÍN calcula el desplazamiento vertical entre la capa de rodadura y el punto medio de un nivel imaginario.
- La distancia recorrida es conocida como “la desviación con relación a la cuerda promedio”.
- El MERLÍN posee dos apoyos, los cuales se separan a una longitud de eje a eje de 1.8 metros, los cual se apoyan en la superficie de la vía cuya rugosidad será calculada en la huella o marca realizada por la rueda del equipo.
- Un patín o base de prueba móvil se coloca sobre la superficie de rodadura entre los dos apoyos y el equipo MERLÍN calcula la longitud vertical entre la superficie de rodadura y el punto medio de una línea imaginaria la cual conecta los dos apoyos.
- Los resultados son registrados en una tabla formato ubicada sobre el equipo o en posesión de la persona que recolecta los mismos, registrando mediciones con respecto a la huella dejada por la rueda, al finalizar, se retira el formato utilizado, el cual nos proporcionará un histograma como se muestra en la Figura 5.

Aproximadamente en el medio del apoyo transversal, se proyecta hacia la capa de rodadura un apoyo vertical que no tiene contacto con el pavimento.

Figura 5

Cálculo de las desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a la curva promedio AB



Nota. La figura muestra el comportamiento de las lecturas que se realizan utilizando el equipo MERLIN. Tomado de Del Águila (1999)

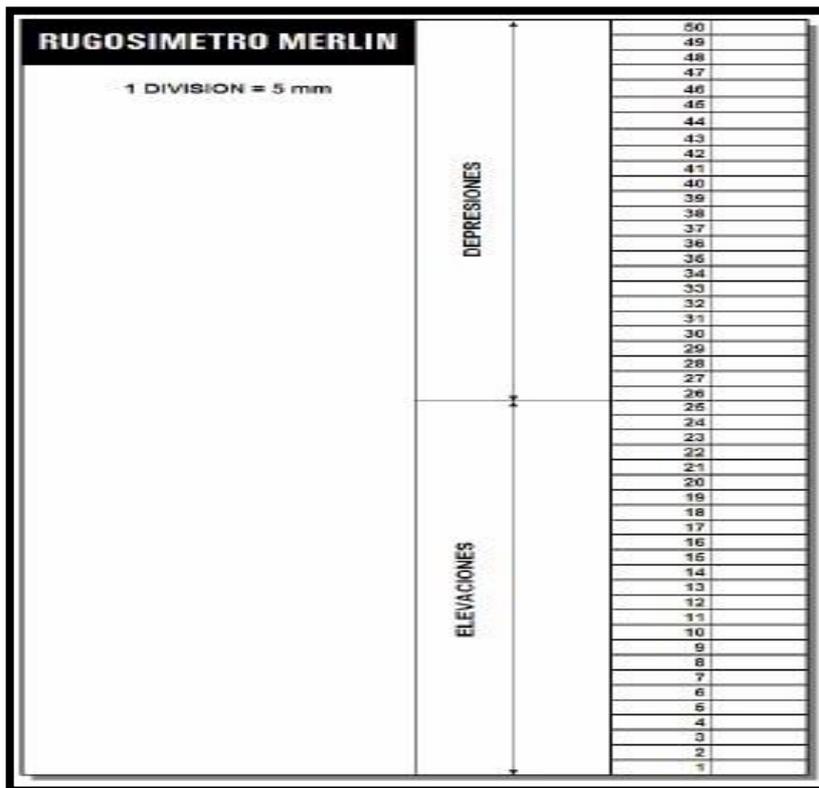
El extremo inferior del apoyo móvil está en contacto directo con la superficie de rodadura, por medio de un patín empernable, el cual se acopla a la rugosidad del terreno, a la vez que el extremo superior culmina en un indicador deslizante sobre el borde de un tablero, con respecto a la ubicación en la que se encuentra el extremo inferior del patín móvil al chocar con el pavimento.

La relación entre los apoyos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, esto significa que un desplazamiento vertical de 1 milímetro, en el extremo inferior del patín móvil, tiene como consecuencia el desplazamiento de 1 centímetro del puntero en el tablero.

En el registro de los movimientos realizados por el puntero, se emplea una escala gráfica con 50 divisiones, cada una de 5 milímetros de espesor, que va unido al borde del tablero en el cual se realizan los deslizamientos del puntero como se muestra en la Figura 6, (Del Águila, 1999).

Figura 6

Escala de dispersión de las desviaciones del pavimento



Nota. La siguiente figura muestra las depresiones y elevaciones de la superficie del pavimento, datos necesarios para el cálculo del IRI. Tomado de Del Águila (1999)

2.2.15. Modo de Utilización

Para llevar a cabo el ensayo con el equipo MERLIN se necesitan dos personas las cuales se mantendrán en comunicación constante, un operador, el cual maniobrará el equipo y comunica las lecturas realizadas y un ayudante el cual anotará los mismos. Se debe elegir un tramo de 400 metros de longitud, ubicado en el carril seleccionado de la vía. Las mediciones son hechas siguiendo la huella exterior de la vía.

En el cálculo de un valor de rugosidad se realizan 200 observaciones de las "irregularidades que presenta el pavimento" (desviaciones relativas al nivel imaginario), las cuales son captadas por el patín inferior del equipo MERLÍN, y que también pueden ser indicados por la ubicación del puntero sobre la escala ubicada

en el tablero, es así como se realizan las lecturas a lo largo de lo que durará el ensayo.

2.2.16. Determinación de la Rugosidad

Anteriormente ya mencionado, para la producción de los 200 datos requeridos para la determinación de un valor de rugosidad, utilizamos una escala de 50 unidades, puesta encima el tablero del equipo MERLIN, cuya función es consignar las doscientas ubicaciones que registra el puntero del brazo móvil. La anotación N° 25 debe ser tal que coincida a la posición media del puntero encima del tablero cuando el perfil de la capa de rodadura coincide con la línea imaginaria o cuerda promedio.

A su vez que las distintas ubicaciones en la que se posicione el puntero coincidan con la división número 25 o con alguna aledaña (baja disgregación), la prueba demostrará que la vía posee un perfil idéntico o similar a una línea recta (poca rugosidad). Si el puntero marca en repetidas ocasiones una posición distante a la división número 25 (alta disgregación), se evidenciará que el pavimento posee un perfil con muchas deformaciones (alta rugosidad).

La disgregación de los datos recolectados mediante el ensayo MERLIN son analizados cuantificando la distribución de las lecturas o ubicaciones del puntero, estas pueden ser utilizadas, para fines prácticos, de manera de histograma. Luego se determina el rango de los valores reunidos en intervalos de frecuencia (D), posteriormente se descarta el 10% de los datos, los cuales corresponden a ubicaciones del puntero no representativas o erróneas. En el uso común, es eliminado el 5% del extremo base del histograma y el 5% del extremo tope (Del Águila, 1999).

2.2.17. Método AASHTO

La metodología AASHTO 93 tiene como base la ecuación empírica hallada del ensayo en la carretera AASHO. Al principio era conocido como método AASHO, el cual fue desarrollado en los Estados Unidos alrededor de 1960, tomando como guía un ensayo realizado por 2 años en el estado de Illinois, perteneciente al país anteriormente mencionado, con el objetivo de realizar tablas, gráficos o ábacos (Barry, 2006).

Desde la aparición de la versión de 1986, y de su misma versión, pero con mejoras en 1993, la metodología AASHTO añadió nociones mecánicas para asociar los parámetros a condiciones diferentes de las que existían en el lugar original del ensayo.

Escogimos la metodología AASHTO porque, en comparación a otras, esta metodología utiliza la capacidad de servicio en los cálculos de diseño como un factor de medición para la capacidad de brindar un terreno liso para los usuarios.

2.2.17.1. Factores de Diseño

Para el diseño de pavimentos flexibles, se requiere un análisis de los siguientes factores: aforo vehicular, drenaje, clima, tiempo de diseño, tipo de suelo de la subrasante, distribución de cargas, nivel de servicio requerido y nivel de confiabilidad con la que se quiere elaborar el diseño con respecto al nivel de importancia que posea la vía en estudio (AASHTO, 1993).

Según la AASHTO para determinar el pavimento flexible se debe usar la siguiente ecuación (1):

$$\text{Log}W_{1Q} = Z_r \cdot S_o + 7.35 \cdot \text{Log}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{\frac{1.624(10^7)}{(D+1)^{3.46}}} + (4.2 - 0.32Pt) \log\left(\frac{ScCa(D^{0.75}-1.132)}{215.63J(D^{0.75}-1.132)} \frac{Ec^{0.25}}{K}\right) \quad (1)$$

Dónde:

- W18 = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.
- Z_r = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad R.
- S_o = Desviación estándar de todas las variables.
- J = Coeficiente de transferencia de carga.
- O = Espesor de la losa del pavimento en pulgadas.
- PSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.
- Pt = Serviciabilidad final.
- Ec = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.
- Se = Módulo de rotura del concreto en psi.
- Cd = Coeficiente de drenaje.
- K = Módulo de reacción de la subrasante en pci (psi/pulg).

2.2.17.2. Variables de Diseño

2.2.17.2.1. Tiempo

Se toman en consideración dos datos: periodo de análisis y vida útil de la vía en estudio. La vida útil del pavimento está relacionada con el tiempo comprendido desde el comienzo de la utilización del pavimento hasta el momento en que el mismo requiere rehabilitación, esto quiere decir, cuando el pavimento ha alcanzado el nivel más bajo de servicio. Para el periodo de análisis se utiliza el mismo dato de la vida útil, pero si se tiene una estructura de pavimento seguido de uno o varios procedimientos de rehabilitación, el periodo analizado posee más de un periodo de vida útil, el correspondiente al pavimento original y el correspondiente a los reforzamientos.

Con la finalidad de un diseño objetivo se utiliza el período de vida útil, mientras que, el período de análisis es usado para comparar y elegir entre las alternativas existentes de diseño, en otras palabras, para analizar y elegir la alternativa económica más conveniente.

2.2.17.2.2. Confiabilidad

Se define como la probabilidad de que el pavimento estudiado funcione correctamente a lo largo de su vida útil, soportando las cargas, el tráfico correspondiente y los cambios meteorológicos que pudieran ocurrir en el mismo periodo de tiempo.

2.2.17.2.3. Tránsito

La metodología AASHTO nos indica que los pavimentos se diseñan para que soporten una cierta cantidad de cargas a lo largo de su vida útil. El tráfico se conforma por distintas clases de vehículos, todos con distinto peso y número de ejes, los cuales se encargan de generar deformaciones en nuestra vía y como consecuencia, aparecen fallas en la misma.

Las variables de tráfico que se requieren por la ecuación principal del presente método son: cargas por eje, número de aplicaciones y configuración de ejes.

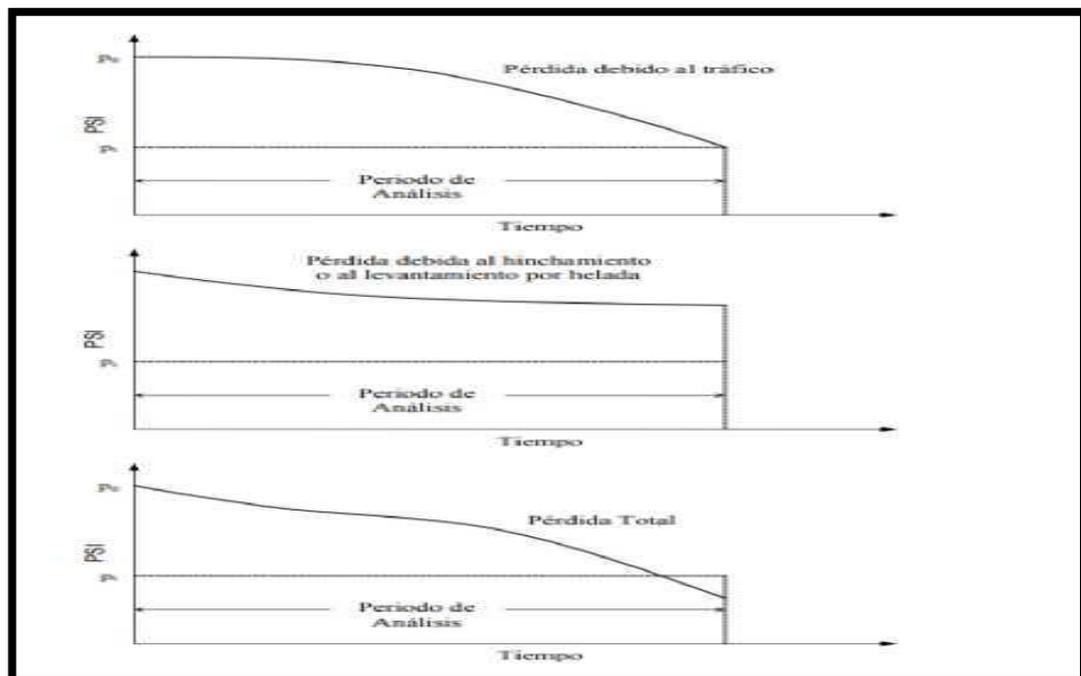
2.2.18. Propiedades de los Materiales

2.2.18.1. Módulo de Reacción de Subrasante (K)

El valor de K explica la variación de la subrasante cuando se le colocan esfuerzos encima como se muestra en la Figura 7. Su equivalencia es en lb/in² la cual se dividirá por la distancia de deflexión ocasionada por el mismo peso. Como ya se mencionó anteriormente, la representación del factor K estará en lb/in² o por su denominación en el sistema anglosajón de unidades (PSI).

Figura 7

Predisposición de la conducta del pavimento



Nota: La figura muestra la curva de variación de pérdidas de la calidad del pavimento respecto al tiempo en periodos. Tomado del AASHTO, (1993)

Los ensayos que utilizan cargas con mucho peso en su desarrollo implican mucha más inversión económica y además son mucho más extensos, el factor K es hallado con ábacos simples y pruebas accesibles, una de las variables más utilizada es la Relación de Rodamiento Californiana (CBR).

2.2.18.2. Módulo de rotura del pavimento

El módulo de rotura es uno de los valores más importantes para el cálculo de la estructura del pavimento, esto se debe a que este factor evitará que aparezcan grietas en las vías a causa del esfuerzo de compresión ocasionado por el tráfico vehicular. Está íntimamente relacionado a la resistencia por tracción del pavimento estudiado.

Las variables necesarias para realizar el cálculo de esta variable es el factor promedio hallado a lo largo de 28 días, en los cuales se ha aplicado el método de la carga en terceras partes. De esta manera, las áreas en las cuales se le es aplicada un momento flexionante igual a 1/3 de PL, se obtendrá la falla en el tercio medio siempre y cuando haya agotamiento en dicha zona.

Este ensayo es normalmente utilizado para el ensayo de carga en el punto medio, en el cual la falla aparecerá indudablemente en dicha zona (zona de atribución de carga), zona en la cual el momento flexionante es el mayor posible.

El módulo de rotura se calcula con los siguientes parámetros:

1. Para la evaluación por medio de la resistencia a compresión se utiliza la siguiente ecuación (2).

$$S'_c = f_c(f_c)^{0.5} < k \quad (2)$$

Dónde: f_c = Resistencia a la compresión en psi.

2. Para la evaluación por medio de la resistencia a la tracción se utiliza la siguiente ecuación (3).

$$S'_c = 210 + 1,02 IT \quad (3)$$

Dónde: IT = Tracción hallada con ensayos en probetas en lb/in².

Este factor varía entre 2.8 MPa (400 lb/in²) y 4.8 MPa (700 lb/in²), pero existen casos donde puede llegar a 8.2 MPa (1200 lb/in²), en pavimentos muy resistentes.

2.2.18.3. Módulo de elasticidad del pavimento

Para pavimentos normales, el Instituto de Concreto Americano nos solicita usar la ecuación (4):

$$E_c = 57000 (f'_c)^{0.5} \quad (4)$$

Donde E_c y f'_c están en psi.

2.2.19. Funciones del Pavimento

Según (AASHTO, 1993), existen las siguientes funciones estructurales en los pavimentos:

2.2.19.1. Desaguamiento

El desaguamiento consiste en la eliminación de los fluidos procedentes de la superficie o de la escorrentía subterránea, estos líquidos son expulsados del suelo por procesos naturales y/o no naturales. Se ha demostrado que la ruptura de la configuración de los pavimentos es principalmente causada por el agua; Una de las consecuencias negativas de la presencia de líquidos en los pavimentos es un comportamiento deficiente ante los esfuerzos de carga existentes.

Algunas formas de reducir efectos negativos del agua:

- Evitar el ingreso de líquidos al interior de los pavimentos (desaguamiento superficial).
- Diseñar una estructura de pavimento la cual resista la acción combinada del agua y los esfuerzos aplicados en este.
- Realizar un desaguamiento directo para la eliminación rápida del agua (desaguamiento subterráneo).

Un correcto desaguamiento tiene un impacto positivo en la estructura del pavimento y uno deficiente, ocasiona daños al mismo y no garantiza la totalidad de su vida útil. Por ello ha sido considerado en la metodología AASHTO por medio del valor (C_d).

2.2.19.2. Trasmisión de carga

El tránsito ocasiona cargas y estas deben de transmitirse correctamente de una capa a otra para garantizar un correcto funcionamiento de la estructura del pavimento. La existencia de deflexiones entre capa y capa ocasionan el bombeo del terreno de la subbase y en consecuencia la rotura de la carretera.

La transmisión de cargas es realizada de las siguientes maneras:

- Sección transversal ocasionada por aserrado, cuya transmisión de carga se lleva a cabo entre los agregados existentes.
- Las transmisiones de carga también son dadas por esfuerzos de tensión en las juntas. La transmisión de carga por deformaciones está definida por la ecuación (5):

$$LT_{\delta} = \frac{\delta_{no\ cargada}}{\delta_{cargada}} \quad (5)$$

En donde:

LT_{δ} = Transmisión de cargas por deformaciones.

$\delta_{no\ cargada}$ = deflexión del pavimento adyacente no cargada.

$\delta_{cargada}$ = deflexión del pavimento cargada.

2.2.19.3. Pérdida de soporte

El valor de pérdida de soporte está dado por el factor LS, el cual es considerado en los cálculos para considerar la disminución de apoyo ante la erosión de la subbase y los movimientos verticales de la subrasante.

Este factor, Ls (pérdida de apoyo = pérdida de apoyo) es incluido en el diseño de pavimentos para tener en cuenta la posible pérdida de apoyo de la erosión de la subbase y / o los movimientos diferenciales verticales del nivel del suelo. Este factor también se considera los levantamientos verticales del terreno, los cuales terminan en vacíos o huecos ubicados debajo de la capa de rodadura. Dichos vacíos reducen la vida útil de cualquier vía y pueden presentarse a pesar de que el material de la subbase sea resistente a la erosión.

La AASHTO nos recomienda rangos para este factor, éstos están dados según la clase de materiales que la subbase presente y considera la variable del módulo de elasticidad, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

Rangos de factor LS

Tipo de Material	Perdida de Soporte
Base granular con cemento aplicado (E = 1,000,000 a 2,000,000 psi)	0,0 – 1,0
Combinación de agregados con cemento (E = 500,000 a 1,000,000 psi)	0,0 – 1,0
Bases con aplicación de asfalto (E = 350,000 a 1,000,000 psi)	0,0 – 1,0
Mezclas bituminosas estabilizadas (E = 40,000 a 300,000 psi)	0,0 – 1,0
Suelos estables con cal (E = 20,000 a 70,000 psi)	1,0 – 3,0
Material granular sin ligante (E = 15,000 a 45,000 psi)	1,0 – 3,0
Materiales granulares finos o terreno con subrasante de suelo propio (E = 3,000 a 40,000 psi)	2,0 – 3,0

Nota. La siguiente tabla indica de acuerdo al material de aplicación los rangos de pérdida de soporte. Tomado del AASHTO (1993)

2.3. Definición de términos

2.3.1. Bache

Hoyos de diversos tamaños y formas, los cuales se producen en la superficie de rodadura por desintegración local.

2.3.2. Fallas en Pavimentos

Son ocasionadas por cualquiera de las siguientes los tres siguientes tipos de fallas: fallas de subgrado, fallas de subbase o de base y fallas en la utilización de la vía.

2.3.3. Índice de Rugosidad Internacional

Siglas correspondientes al Índice de Rugosidad Internacional, el cual es el parámetro que calcula el estado más característico de las condiciones funcionales en capa de rodadura de una carretera.

2.3.4. Rugosímetro de Merlín

Es un aparato diseñado con el propósito de calcular la rugosidad de una carretera, anotando las variaciones del perfilómetro estático. Normalmente posee acabados con pintura electrostática de color amarillo y/o negro. Armable, para su fácil embalaje y movilización.

2.3.5. Estudio de Tráfico Vehicular

Es un estudio que tiene como objetivo, contar, clasificar y hallar el volumen de la cantidad de vehículos que recorren una pista o vía vehicular, representa uno de los factores principales para la realización del diseño de los pavimentos.

2.3.6. Metodología AASHTO 93

Es una metodología para el diseño estructural de pavimentos asfálticos, utiliza una ecuación por el medio de la cual se obtiene factor denominado número estructural (SN), este factor es indispensable para calcular el espesor de las distintas capas que forman parte del pavimento (carpeta asfáltica, base y sub base).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada o tecnológica con enfoque cuantitativo, porque considera como finalidad e intención el mejorar la calidad de vida y contribuir con la construcción de un conocimiento nuevo.

3.1.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación corresponde al nivel descriptivo -exploratorio, debido a que se requiere ahondar con la investigación, sin modificar o alterar las condiciones de los pavimentos existentes y estableciendo prioridades para futuras investigaciones.

También, según el tiempo en que es realizada la presente investigación, es de tipo transversal, debido a que su estudio se realiza en un tiempo específico, en dicho tiempo se recopilarán la información de la evaluación realizada a la carretera en la Avenida Tarapacá, tramo: Óvalo Cuzco – Av. Pinto.

3.2. Población y/o muestra de estudio

3.2.1. Población

La población motivo de investigación de la presente tesis está conformada por las vías pavimentadas de la Urbanización los Damascos, distrito de Tacna, provincia de Tacna, región de Tacna.

3.2.2. Muestra

La muestra está constituida por 2400 metros de la Avenida Tarapacá como se muestra en la Figura 8, del tramo proyectado entre el Óvalo Cuzco y la Avenida Pinto, en donde existen 2 calzadas, tanto de subida como de bajada y con ancho de calzada de 6.50 metros.

Tabla 4*Operacionalización de variables*

Variables	Definición	Dimensión	Indicadores
Variable Independiente(X) X1. Determinación del Índice de Rugosidad Internacional.	Presenta una escala única de valores para la medida de la regularidad superficial de los caminos en estudio.	Aplicación de metodología IRI	<ul style="list-style-type: none"> • Índice de rugosidad • Transitabilidad en función del IRI • Rugosímetro de MERLIN • Calculo del rango D • Correlación D versus IRI
Variable Dependiente(Y) Y1. Propuesta de diseño de pavimento flexible.	Determinación de espesores de capas de la estructura y condiciones de conservación de la vía, con el objetivo de mantener un alto nivel de confort durante el periodo de diseño establecido.	Aplicación de metodología AASHTO 93	<ul style="list-style-type: none"> • CBR • ESAL de diseño • Confiabilidad • Desviación estándar • Numero estructural • Coeficientes de capa • Coeficientes de drenaje • Espesores mínimos

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Técnicas

El método y/o técnica que se utilizará es el uso del Rugosímetro de MERLIN, para obtener los datos de campo y el cálculo del índice de rugosidad internacional en la avenida Tarapacá en todo el tramo que comprende del Óvalo Cuzco a la Av. Pinto. Para la realización de la presente tesis se optará por la determinación de un tramo de la carretera que tenga las características suficientes para ser estudiada, referidos al cálculo del índice de rugosidad internacional y de esta manera tener noción del estado en el que se encuentra el pavimento flexible.

Ya efectuadas las mediciones y recolección de datos de campo, se realizan trabajos de gabinete, realizando los cálculos necesarios para obtener las deflexiones y el valor del IRI, para lo cual será indispensable la utilización del equipo anteriormente mencionado.

De igual manera con las variables de diseño necesarias para aplicar la metodología AASHTO 93 en pavimentos flexibles, se procedió con la recaudación de datos de campo en el lugar de la concepción de la tesis (Avenida Tarapacá tramo Óvalo Cuzco – Av. Pinto), siendo necesario el empleo de instrumentos que se detallan a continuación.

3.4.2. Instrumentos

- Rugosímetro de MERLIN.
- Ficha o formulario de campo para MERLIN
- Formulario o ficha de observación.
- Guías de observación y formatos de campo
- Flexómetro de 50 m
- Formato de Aforo vehicular
- Calicata de 1.00 metros
- Hoja electrónica Excel
- Conos de seguridad
- Metodología AASHTO 93

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Para el rugosímetro de MERLIN, se determina en ambos sentidos de la vía y en tramos de 400 m, para el cálculo del índice de rugosidad internacional (IRI), la utilización de los datos recopilados en campo y cálculos respectivos se utilizan Hojas Electrónicas EXCEL.

Para el tratamiento de la información recolectada con respecto a la metodología de diseño AASHTO 93, el procesamiento de datos se realizó haciendo uso de hojas de cálculo, tablas de apoyo, nomogramas y software, asimismo se consideró la norma CE.010 Pavimentos Urbanos, los resultados se presentan con la memoria de cálculo y representación gráfica respectiva.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

A continuación, presentaremos los resultados obtenidos de la evaluación en campo utilizando el rugosímetro de MERLIN identificando las distintas fallas en los 12 tramos de 400 metros que se realizaron tanto en el carril derecho y carril izquierdo, esta evaluación y sus resultados nos demostrara la condición del pavimento flexible existente referenciados en el Anexo 1, y así poder plantear la solución al problema.

4.2 Diseño de espesores del pavimento flexible utilizando AASHTO 93

Habiéndose realizado el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) mediante el rugosímetro de MERLIN, se clasifica la condición del pavimento flexible como MALA, por las fallas que presenta la carretera misma, la antigüedad de su creación y el flujo vehicular al que es sometido actualmente, es por ello que como alternativa de solución y para mejorar la calidad de rodadura se realiza la siguiente propuesta de diseño de pavimento flexible con la metodología AASHTO 93.

4.2.1. *Calculo del ESAL de diseño*

4.2.1.1. Aforo vehicular

Según lo establece la normativa vigente el aforo vehicular es realizado durante 07 días seguidos durante 24 horas, esta información es recogida en campo y trabajada en gabinete utilizando tablas EXCEL.

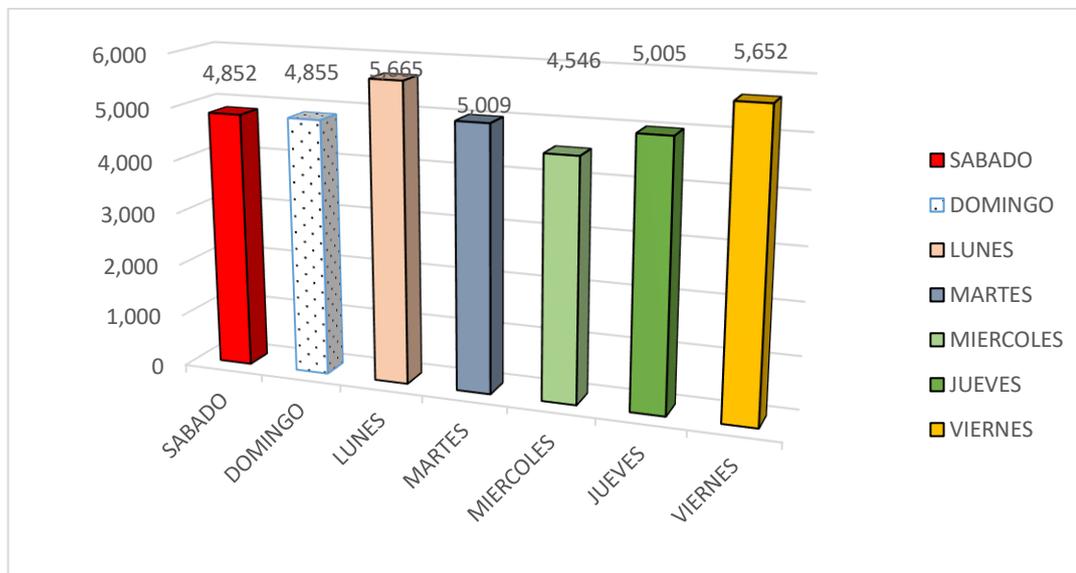
4.2.1.2 Cálculo del índice medio diario (IMD)

Para la determinación del Índice Medio Diario (IMD), se tuvo en cuenta la clasificación vehicular y su conteo en intervalos de 1 hora, para ello se tomaron datos en ambos sentidos de la calzada obteniendo los siguientes resultados mostrados en el Anexo 2.

La variación diaria vehicular también se puede evidenciar mediante un gráfico de barras como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Variación diaria vehicular



Nota. La siguiente figura muestra la variación diaria vehicular. Elaboración propia.

4.2.2. Cálculo de diseño de pavimento flexible

En términos generales el pavimento flexible, está conformado por espesores que van desde una sub-base, base y carpeta asfáltica, que tiene el propósito de satisfacer lo siguiente:

- Ser lo suficientemente resistente para poder distribuir adecuadamente las cargas que se generan con el flujo vehicular diario.
- Ser impermeable ante la exposición de líquidos.
- Ser resistente ante los cambios climáticos.
- Ser una superficie adecuada para la demanda de tránsito vehicular solicitada.
- Ser flexible ante las fallas que pueda presentar la sub-base o base.

4.2.2.1. ESAL de diseño

La metodología AASHTO 93 nos permite determinar las solicitaciones de un pavimento a lo largo de su vida útil en términos denominados ejes equivalentes o ESALs (Equivalent Standard Axle Load – Carga Estándar por Eje Equivalente), la cual ha sido determinada y se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Determinación de ESALs o ejes equivalentes

Tipo de vehículo	Imd	Veh/Día en carril	Veh/Año	F.C.	Esal en Carril	Factor de Crecimiento	Esal de Diseño
LIGEROS	4,485	2242.43	818486	0.0001	81.8486	23.124	1892.668
B2	241	120.5	43982.5	3.71	163175	54.737	8931714
B3	50	24.8571	9072.86	2.38	21593.4	54.737	1181958
C2	230	114.786	41896.8	3.71	155437	54.737	8508159
C3	63	31.4286	11471.4	2.57	29481.6	54.737	1613733
C4	4	2.21429	808.214	1.85	1495.2	54.737	81842.57
T2S2	6	2.85714	1042.86	5.73	5975.57	54.737	327084.9
T2S3	5	2.5	912.5	5.51	5027.88	54.737	275210.8
T3S2	1	0.28571	104.286	4.59	478.671	54.737	26201.04
T3S3	0	0	0	4.37	0	54.737	0
TOTAL	5,084	2541.86	927778		382746		20947795.9

Nota. La siguiente tabla muestra el valor de los ejes equivalentes de diseño es igual a 20'947,796.00. Elaboración propia.

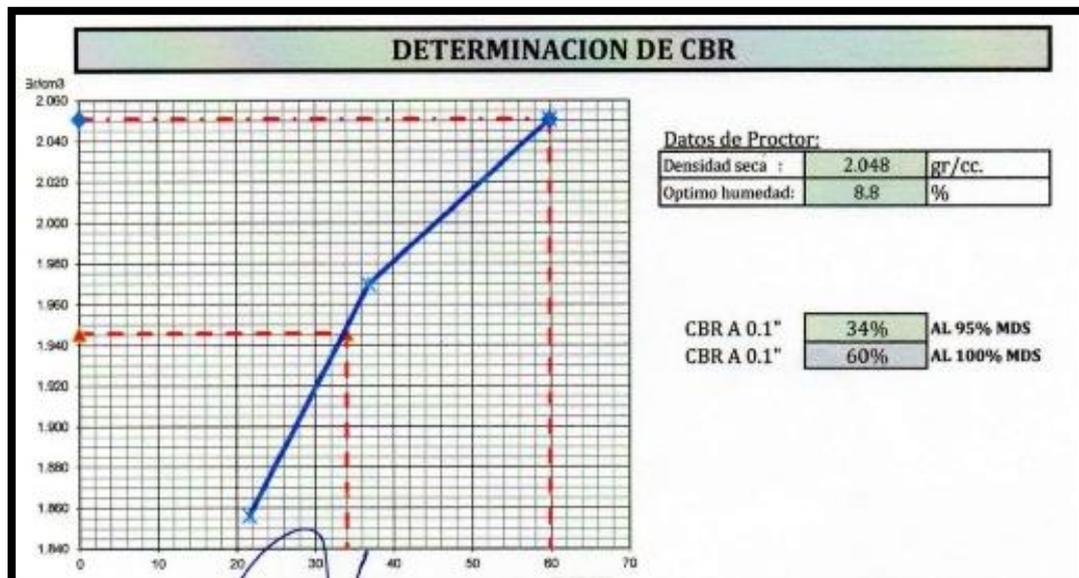
4.2.2.2. CBR de diseño

Para efectos de diseño se determinó el CBR de diseño mediante la evaluación de una muestra de material propio de la vía, para ello se realizó una calicata in situ obteniéndose como se muestra en la Figura 10.

En ensayo de CBR de diseño es un indicar de la capacidad de soporte de la subrasante realizado normalmente en condiciones de humedad y densidades controladas el resultado del ensayo se muestra en la Figura 11 y en el Anexo 3.

Figura 10*Calicata in Situ 01*

Nota. La figura muestra la calicata que se realizó para determinar por medio de ensayos de laboratorio el CBR de diseño. Elaboración propia.

Figura 11*Gráfico de penetración CBR (Índice de Soporte de California)*

Nota. La figura muestra el resultado del CBR de diseño de la sub rasante: 34% al 95% MDS. Tomado del Anexo 3.

4.2.2.3. Módulo de resiliencia de la sub-base (Mr)

Para un CBR = 34%, aplicamos $Mr=4326 \cdot \ln(\text{CBR})+241$ igual a 15496 psi para la sub rasante de acuerdo a la Tabla 6.

Tabla 6

Determinación de CBR (Índice de Soporte de California)

Condición	Fórmula
CBR < 7.2%	$Mr = 1500(\text{CBR})$
$7.2\% < \text{CBR} < 20\%$	$Mr = 3000(\text{CBR})^{0.65}$
CBR > 20%	$Mr = 4326(\ln \cdot \text{CBR}) + 241$

Nota. La siguiente tabla muestra las fórmulas para la determinación del módulo de resiliencia. Elaboración propia.

4.2.2.4. Nivel de confiabilidad

Según la clasificación funcional de la vía en estudio la metodología AASHTO nos recomienda un rango de confiabilidad (R) de entre 80 % – 99.9 %, de lo cual asumimos un promedio de $R = 85\%$ con una desviación estándar de $Z_r = -1.037$, esto es definido de acuerdo a la Tabla 7.

Tabla 7

Nivel de confiabilidad (R)

Clasificación Funcional	Nivel Recomendado por Aashto para Carreteras
Carretera Interestatal o Autopista	80 – 99,9
Red Principal o Federal	75 - 95
Red Secundaria o Estatal	75 - 95
Red Rural o Local	50 - 80

Nota. La siguiente tabla muestra los parámetros del nivel de confiabilidad para nuestra vía. Elaboración propia.

4.2.2.5. Desviación estándar

El tipo de propuesta de diseño es un pavimento flexible asumimos $S_o = 0.40$, según la Tabla 8.

Tabla 8*Desviación Estándar (So)*

Pavimento Flexible	Pavimento Rígido
0,40 – 0,50	0,34 – 0,45

Nota. La siguiente tabla muestra los parámetros de desviación estándar para un pavimento flexible. Elaboración propia

4.2.2.6. Pérdida de serviciabilidad

Para la pérdida de serviciabilidad se asumió valores de P_o igual 4,20 y P_t igual 3,0, tal como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9*Pérdida de Serviciabilidad*

Pérdida De Serviciabilidad	
PSI	Índice de Servicio Presente
Δ PSI	Diferencia entre los índices de servicio inicial u original y el final o terminal.
$P_o =$	Índice de servicio final (4,5 para pavimentos rígido y 4.2 para flexibles)
$P_t =$	Índice de servicio termina, para el cual aashto maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0, recomendando 2.5 ó 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios

Nota. La siguiente tabla muestra los parámetros de la pérdida de serviciabilidad. Elaboración propia

4.2.2.7. Ecuación básica de diseño

Según la AASTHO se debe utilizar la ecuación básica de diseño la cual se muestra en la Figura 12.

Figura 12*Ecuación Básica de Diseño*

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Nota. La siguiente figura muestra la estructura de la ecuación básica de diseño

4.2.2.8. Calculo del número estructural (SN)

Determinamos el SN por medio de la ecuación AASHTO 93 según los datos obtenidos en la Tabla 10 y calculados utilizando el software AASTHO 93 que se muestra en la Figura 13.

Tabla 10*Aplicación de la ecuación básica de AASHTO 93*

Resumen de datos obtenidos	
W18	2.09E+07
Zr	-1.037
So	0.40
ΔPSI	1.20
Sub Rasante (Mr)	15496
Numero Estructural (SN)	4.48

Nota. La siguiente tabla muestra el resumen de datos obtenidos y su aplicación para determinar nuestro número estructural de diseño. Elaboración propia.

Figura 13
Software AASHTO 93

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' window. It contains several input fields and calculated values:

- Tipo de Pavimento:** Pavimento flexible, Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 85 % Zr=-1.037, So = 0.40
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.2, PSI final = 3
- Módulo resiliente de la subrasante:** Mr = 15496 psi
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
 - Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): []
 - Coefficiente de transmisión de carga - (J): []
 - Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): []
 - Coefficiente de drenaje - (Cd): []
- Tipo de Análisis:** Calcular SN, Calcular W18
- Número Estructural:** SN = 4.48
- W18 =** 20947796
- Buttons: 'Calcular' and 'Salir'

Nota. La figura muestra el interfaz del programa AASTHO 93 determinando nuestro numero estructural igual a 4.48. Elaboración propia.

4.2.2.9. Calculo de coeficientes de capa

Calculando con el módulo elástico del concreto asfáltico es de 68°F = 450,000 psi, obtenemos los siguientes datos tal como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11

Coefficientes de capa

Coefficientes De Capa	
a1	0,440
b1	0,128
c1	0,119

Nota. La tabla muestra los coeficientes de capa utilizados para el cálculo de espesores mínimos. Elaboración propia

4.2.2.10. Tipos de drenaje para capas granulares

El tipo de drenaje que asumidos es “bueno”, con valores promedio para m2 igual a 1,20 y para m3 igual a 1,10 como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12

Calidad del drenaje

Calidad Del Drenaje	P = % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	>25%
Excelente	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20
Bueno	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Pobre	1,15 – 1,05	1,15 – 1,05	0,80 – 0,60	0,60
Muy Pobre	1,15 – 1,05	0,95 - 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Nota. Los valores asumidos son para un drenaje bueno. Elaboración propia.

4.2.2.11. Espesores mínimos utilizando metodología AASHTO 93

Para lograr la igualdad de aproximación de la ecuación debemos colocar los valores aproximados para (D)

Al lograr la igualdad de la ecuación verificamos que nuestro diseño es correcto, siendo recomendable utilizar en pavimentos flexibles tanto en frío como en caliente, espesores entre 5 cm y 6 cm, tal y como se muestra en la Figura 14.

Figura 14

Espesores del diseño de pavimento flexible

DE LA ECUACION PARA OBTENER LOS ESPESORES	
SN	$a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$
4,48	4,48

➔

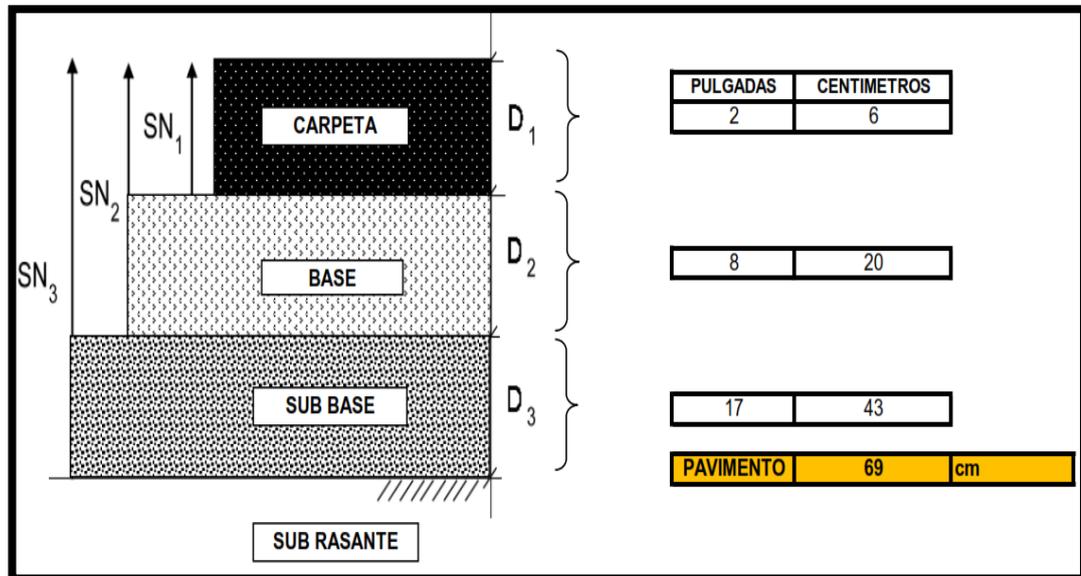
D1	2	"
D2	8	"
D3	17	"

Nota. Los valores asumidos para (D) logran la igualdad. Elaboración propia.

El diseño es correcto al lograr la igualdad de la ecuación de espesores siendo este el resultado final para el proyecto de investigación “Determinación del Índice de Rugosidad Internacional y propuesta de diseño de pavimento flexible en la Avenida Tarapacá, tramo: Ovalo Cuzco – Avenida Gustavo Pinto, Tacna 2021” como se muestra en la Figura 15.

Figura 15

Diseño final de la estructura del pavimento del proyecto



Nota. La nueva estructura de pavimento flexible refleja una carpeta igual a 6 cm, base igual a 20 cm y una sub base igual a 43 cm. Elaboración propia.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Análisis de los resultados de la rugosidad

Ya identificada nuestra vía de estudio se realizó la recolección de datos en campo, utilizando el rugosímetro de Merlín y así evaluar el estado superficial en la Avenida Tarapacá – tramos Ovalo Cuzco y Av. Gustavo Pinto, la muestra del proyecto de investigación es de 2 400 metros, el procedimiento de recolección de datos constó de 6 tramos de subida como se muestra en la Figura 16 y 6 tramos de bajada cada uno de 400 metros tal como se muestra en la Figura 17.

Figura 16

Recolección de datos – Carril derecho subida



Nota. Elaboración Propia

Figura 17

Recolección de datos– Carril izquierdo bajada



Nota. Elaboración Propia

Una vez realizado la recolección de datos se procedió a calcular el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en ambos sentidos, resultando así para el carril derecho un IRI = 6.26 m/km calificado como un pavimento MALO y para el carril izquierdo un IRI = 6.08 m/km calificado de igual manera como MALO, estos resultados se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13*Resumen de IRI – Av. Tarapacá*

Carril Derecho			Carril Izquierdo		
Progresiva	Rugosidad (M/Km)	Estado	Progresiva	Rugosidad (M/Km)	Estado
0+000 al 0+400	6,70	Malo	0+000 al 0+400	7,07	Malo
0+400 al 0+800	7,27	Muy malo	0+400 al 0+800	7,28	Malo
0+800 al 1+200	7,46	Muy malo	0+800 al 1+200	6,60	Malo
1+200 al 1+600	4,93	Malo	1+200 al 1+600	6,57	Malo
1+600 al 2+000	5,46	Malo	1+600 al 2+000	4,48	Malo
2+000 al 2+400	5,74	Malo	2+000 al 2+400	4,48	Malo
	6,26			6,08	

Nota. IRI derecho 6.26 m/km e IRI izquierdo 6.08 m/km.

El IRI ponderado de la Avenida Tarapacá – Tramo Ovalo Cuzco y Av. Gustavo Pinto resulta un IRI = 6.17 m/km clasificado como un pavimento MALO, como se muestra en la Figura 18.

Figura 18*Clasificación del PSI en función del IRI*

IRI PROMEDIO:	6.17 m/km	IRI	6.17
ESTADO DEL PAVIMENTO:	MALO	Conversión a PSI en función del IRI	1.63
		Clasificación del PSI	TRANSITABILIDAD MALA

Nota. Evaluación PSI = 1.63 en función al IRI. Elaboración propia.

El análisis de los resultados del Índice de Rugosidad Internacional ponderado nos demuestra el estado del pavimento al momento de la investigación esto en función a la ecuación de William Paterson califica la calidad de servicio que brinda la Avenida Tarapacá – Tramo Ovalo Cuzco y Av. Gustavo Pinto con un PSI = 1.63 calificando como una vía de TRANSITABILIDAD MALA.

5.2. Análisis del diseño del pavimento flexible

La necesidad de mejorar estado del pavimento en la Avenida Tarapacá – tramo Ovalo Cuzco y Av. Gustavo Pinto solicitó generar una propuesta de diseño flexible, esta se compone de 3 tipos de espesores: sub base, base y carpeta asfáltica; para ello se realizó procedimientos como aforo vehicular y recolección de datos in situ, así como también ensayos de laboratorio para determinar el CBR del terreno, los que detallan a continuación.

5.2.1. Índice de Rugosidad Internacional

Los resultados del Índice de Rugosidad Internacional utilizando el rugosímetro de Merlín determinaron que el estado del pavimento es MALO con un IRI = 6.17 m/km, esto a causa de la antigüedad de la vía, flujo vehicular y fallas superficiales.

5.2.2. Aforo Vehicular

El conteo vehicular realizado determino un índice medio diario de 5083 Veh/día durante los 7 días de la semana en la Avenida Tarapacá, tramo Ovalo Cuzco - Av. Gustavo Pinto, evaluado en ambos sentidos del carril.

5.2.3. ESAL de diseño

Una vez obtenido el Índice Medio Diario, se procedió a calcular el ESAL de diseño o Ejes Equivalentes, teniendo en consideración un periodo de diseño de 20 años y un PBI regional de 9.6%, el ESAL de diseño es de 20'947,796.00 en la Avenida Tarapacá tramo Ovalo Cuzco y Av. Gustavo Pinto.

5.2.4. CBR del terreno

Para adquirir el CBR de diseño de la Avenida Tarapacá – Tramo Ovalo Cuzco y Av. Gustavo Pinto, se realizó una calicata in situ de altura 1.50 metros para ello se envió una muestra de 40 kilogramos a laboratorio determinando su clasificación S.U.C.S. (SP-SM) como arenas mal graduadas con gravas y limos, y un CBR del 34% al 95% MDS.

5.2.5. Módulo de Resiliencia (Mr)

Para un $CBR > 20\%$ el cálculo del módulo de resiliencia obedece a la siguiente función $Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241$, para nuestro dato CBR de 34% se obtuvo un Mr de 15496 psi para la subrasante.

Este dato es útil al momento de aplicar la ecuación AASHTO 93 y el cálculo de espesores de nuestro diseño de pavimento flexible.

5.2.6. Espesores de la propuesta de pavimento flexible

A partir de los datos obtenidos con anterioridad calculamos el nivel de confiabilidad $R = 85\%$ y una desviación estándar de -1.037.

La serviciabilidad tendremos un índice de servicio inicial $P_o = 4.20$ y un índice de servicio terminal $P_t = 3.00$, los datos son reemplazados en la ecuación de AASHTO 93 y mediante el programa AASHTO 93 calculamos el número estructural $SN = 4.48$.

Los coeficientes de capa toman valores de $a_1 = 0.440$, $a_2 = 0.128$ y $a_3 = 0.119$, y nuestros tipos de drenajes $m_2 = 1.20$ y $m_3 = 1.10$. Calculamos los espesores de capa de acuerdo a la metodología AASHTO 93, obteniendo los siguientes resultados para nuestra carpeta asfáltica $D_1 = 6\text{cm}$, la base $D_2 = 30\text{cm}$ y la sub base $D_3 = 43\text{cm}$.

La propuesta de diseño de pavimento flexible en la Avenida Tarapacá, tramo: Ovalo Cuzco - Av. Gustavo Pinto es la siguiente.

$$D_1 (\text{Carpeta Asfáltica}) = 2'' \text{ o } 6 \text{ cm}$$

$$D_2 (\text{Base}) = 8'' \text{ o } 20 \text{ cm}$$

$$D_3 (\text{Sub Base}) = 17'' \text{ o } 43 \text{ cm}$$

CONCLUSIONES

Aplicando la metodología del Rugosímetro de Merlín se logró determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y desarrollar una propuesta que mejore el estado superficial de la Avenida Tarapacá, tramo Óvalo Cuzco – Avenida Gustavo Pinto.

Al utilizar el equipo MERLIN, se logró determinar el IRI correspondiente a cada lado de la calzada, los resultados de las rugosidades correspondientes a la vía pavimentada existente son igual a un IRI promedio de 6.17 m/km calificando el estado superficial del pavimento como MALO, la clasificación PSI en función al IRI encontrado determina el nivel de serviciabilidad de la vía como MALA.

Se concluye que la propuesta de un diseño de pavimento flexible mejorara el Índice de Rugosidad Internacional de la Av. Tarapacá mediante la aplicación de la metodología AASHTO 93 determinamos la nueva configuración del pavimento siendo las capas de nuestra vía las siguientes: Carpeta asfáltica = 2 pulgadas, base = 8 pulgadas y sub base = 17 pulgadas.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a las entidades competentes: Gobierno Regional de Tacna (GRT), Municipalidad Provincial de Tacna (MPT), realizar acciones evaluativas de todos los pavimentos colindantes a la Avenida Tarapacá, la mayoría de los cuales ya han cumplido la vida útil para el que fueron diseñados, la renovación de estos pavimentos será indispensable con el pasar de los años debido al crecimiento poblacional.

Se recomienda a las entidades competentes: Gobierno Regional de Tacna (GRT), Municipalidad Provincial de Tacna (MPT) la realización de trabajos competentes al momento de la ejecución de los proyectos de mantenimiento y mejoramiento de carreteras, ya que muchos de estos no llegan a cumplir su vida útil antes de presentar anomalías en su estructura, ocasionando problemas en los usuarios de las mismas (la población en general).

Se recomienda a las entidades competentes: Gobierno Regional de Tacna (GRT), Municipalidad Provincial de Tacna (MPT) ejecutar una nueva infraestructura en la Avenida Tarapacá, tramo Óvalo Cusco – Avenida Gustavo Pinto, considerando el diseño obtenido con nuestra investigación, el cual ha sido efectuado minuciosamente considerando las necesidades de la ciudad de Tacna.

Se recomienda a los futuros tesisistas inmiscuirse en la problemática de las condiciones actuales de las vías que interconectan los puntos más transitados de la ciudad de Tacna, dichas vías pavimentadas y no pavimentadas a lo largo de la ciudad necesitan una evaluación para la ejecución de nuevos proyectos en vías del desarrollo de la Región.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). AASHTO guide for design of pavement structures (4th Edition ed.) . EEUU: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- Barry. (2006). Geotechnical aspects of pavements. EEUU: No. NHI-05-037.
- Calle, W. H. (2014). Costos de Construcción y Diseño de Pavimentos Rígidos y Flexibles (Método AASHTO-93). In *Universidad Mayor de San Andrés*. [http://www.zonaeconomica.com/analisis-financiero/cuentas-cobrar%0Ahttp://www.redalyc.org/pdf/290/29012059009.pdf%0Ahttps://www.faaeditorial.es/capitulos/gestion-morosidad.pdf%0Ahttps://unadmexico.blackboard.com/bbcswebdav/institution/DCSBA/Bloque 1/NA/02/N](http://www.zonaeconomica.com/analisis-financiero/cuentas-cobrar%0Ahttp://www.redalyc.org/pdf/290/29012059009.pdf%0Ahttps://www.faaeditorial.es/capitulos/gestion-morosidad.pdf%0Ahttps://unadmexico.blackboard.com/bbcswebdav/institution/DCSBA/Bloque%201/NA/02/N)
- Carhuapoma, J. H. (2019). *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión Facultad De Ingeniería*. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/629/1/T026_71393625_T.pdf
- Caro, F., y Peña, G. A. (2012). Análisis y criterios para el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en vías urbanas colombianas que orienten la elaboración de una especificación técnica. *Intekhnia*, 7(1), 57–72.
- Condori, E. F. (2020). *Propuesta económica de diseño de pavimento para el intercambio vial a desnivel en la Av. Jorge Basadre Grohmann, tramo: Avenida Intiorko - Calle Venezuela, Alto de la Alianza, Tacna - 2020*.
- Del Águila, P. (1999). Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos. *Camineros S.A.C.*
- Escobar, L., y Huincho, J. (2017). Diseño De Pavimento Flexible, Bajo Influencia De Parámetros De Diseño Debido Al Deterioro Del Pavimento En Santa Rosa – Sachapite, Huancavelica - 2017. In *Universidad Nacional de Huancavelica*. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/1388>
- Herrera, M. G. (2018). Mejoramiento y Mantenimiento Vial en el Municipio de Viacha. In *Universidad Mayor de San Andrés*. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/18742>
- Huang, Y. H. (2004). *PAVEMENT ANALYSIS AND DESIGN* (second).
- Jinchuña, M. S. (2020). Evaluación por deflectometría y la rugosidad del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular en la Av. Billinghamurst, tramo: Av. Bolognesi - Av. Tarapacá - Tacna, 2019. In *Universidad Privada de Tacna*. <http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>
- Laura, D. (2016). Determinación y comparación de la regularidad superficial del

- pavimento de la carretera Cusco-Urcos, usando teléfonos inteligentes y el Rugosímetro de Merlin - 2016. In *Universidad Andina del Cusco*. <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/711>
- Lloclla, A. J., y Sánchez, K. K. (2019). Análisis Comparativo del Índice de Rugosidad Internacional del pavimento de la Av. La Cultura de la ciudad del Cusco mediante el aplicativo para smartphone Roadroid, rugosímetro electrónico Bump Integrator B1-100A y rugosímetro de Merlín. In *Universidad Andina del Cusco*. <https://doi.org/10.36888/udual.universidades.2019.80.19>
- Mamani, B. A., y Vallejos, H. S. (2020). Universidad Privada de Tacna. In *Universidad Privada de Tacna*. <http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>
- Mamani, G. O., y Ramos, R. C. (2019). Estudio Geotécnico de la sub rasante para diseño de pavimentos flexibles en las vías de Alto Tacna, distrito de Alto de la Alianza, Tacna - 2019. In *Universidad Privada de Tacna*. <http://www.upt.edu.pe/upt/web/home/contenido/100000000/65519409>
- Montoya, J. E. (2013). Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú. In *Universidad de Piura*.
- Morales, C. A. (2020). METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI) Y SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE GUATEMALA [Universidad de San Carlos de Guatemala]. In *Universidad de San Carlos de Guatemala*. https://online210.psych.wisc.edu/wp-content/uploads/PSY-210_Unit_Materials/PSY-210_Unit01_Materials/Frost_Blog_2020.pdf%0Ahttps://www.economist.com/special-report/2020/02/06/china-is-making-substantial-investment-in-ports-and-pipelines-worldwide%0Ahttp://
- MTC. (2014). MANUAL DE CARRETERAS: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Sección Suelos y Pavimentos (RD N° 10-2014 – MTC/14). In *Mop* (p. 281).
- Pomasonco de la Cadena, R. (2010). Evaluación de la transitabilidad utilizando el rugosímetro de MERLIN monitoreo de conservación carretera Cañete-Huancayo Km. 110+000 al Km. 112+000. Lima-Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Reyes, B. A. (2020). *Determinación del Índice de Rugosidad Internacional en la Av. La Prensa, usando aparatos inteligentes y el rugosímetro de Merlín*. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2305>
- Rico, A., y Del Castillo, H. (2005). *La Ingeniería De Suelos en las Vías Terrestres* (Vol. 1).

- Rodríguez, E. D. (2009). Cálculo del índice de condición del pavimento flexible en la Av. Luis Montero, distrito de Castilla. In *Universidad de Piura*.
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1350/ICI_180.pdf
- Salamanca, M. A., y Zuluaga, S. A. (2014). *Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos INVIAS, AASHTO 93 e instituto del asfalto para la vía la ye - santa lucía Barranca Lebrija entre las abscisas k19+250 a k25+750 ubicada en el departamento del Cesar*.
file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Diseño-estructura-pavimento-flexible-Aashto-Invias-Insituto-Asfalto-Barranca_Lebrija.pdf
- Sechún, J. E. (2016). *ESTUDIO DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL DE LA PANAMERICANA NORTE - ZONA TRUJILLO, PARA SU MANTENIMIENTO*.
http://www.gonzalezcabeza.com/documentos/CRECIMIENTO_MICROBIANO.pdf
- Toledo, D. I., y Llaiqui, E. A. (2020). *Evaluación superficial del pavimento flexible aplicando el método PCI y propuesta de mejoramiento de la infraestructura vial en la Av. Industrial, en el tramo de la Av. Gustavo pinto y la Av. Jorge Basadre Grohmann - Tacna, 2019*.
<http://200.48.211.55/handle/UPT/607%0Ahttp://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/341/1/Loza-Delgado-Paolo-Jesús.pdf>
- Vega, D. A. (2018). Diseño de los Pavimentos de la Carretera de Acceso al Nuevo Puerto de Yurimaguas (KM 1+000 a 2+000). In *Pontificia Universidad Católica del Perú*.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.001%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.12.055%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.02.006%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.04.024%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127252%0Ahttp://dx.doi.org>

ANEXOS

Anexo 1. Ensayo para medición de la Rugosidad con MERLIN

ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN HOJA DE CAMPO

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021

SECTOR: 0-000 al 0-400 **N° DE ENSAYO:** 1
CARRIL: DERECHO - SUBIDA **FECHA:** 15/08/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	18	36	33	32	25	31	38	30	41	46
2	32	38	40	36	28	36	34	39	36	50
3	50	34	45	33	41	21	29	50	36	33
4	50	38	43	36	38	32	21	49	50	40
5	50	34	30	38	4	14	46	31	47	50
6	37	31	42	36	30	0	42	34	27	35
7	34	50	33	40	50	41	35	44	34	5
8	25	33	42	47	34	40	34	43	40	0
9	48	35	33	38	31	22	47	34	50	50
10	42	35	43	40	15	48	50	41	24	15
11	35	36	31	36	0	31	41	36	50	33
12	39	39	31	41	45	38	37	40	28	50
13	29	40	35	31	35	34	35	23	27	36
14	50	35	37	37	44	50	50	50	50	41
15	38	36	31	31	38	25	30	19	17	25
16	45	38	36	42	33	50	37	50	50	28
17	33	36	34	22	0	31	41	45	50	50
18	37	39	37	40	32	41	36	22	43	34
19	29	50	37	50	37	35	0	49	29	33
20	35	39	37	50	34	27	50	21	38	23
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

TIPO DE PAVIMENTO

- AFIRMADO
- BASE GRANULAR
- BASE IMPRIMADA
- TRAT. EN CAPA
- CARPETA EN FRIO
- CARPETA EN CALIENTE
- RECAPEO ASFÁLTICO
- SELLO
- OTROS



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA-2021

TRAMO: I	N° DE ENSAYOS: 1	PROGRESIVA: Km 0+0.00 al Km 0+400.00	CARRIL: DERECHO
LONGITUD: 400 mts	FECHA: 15/08/2021	OPERADOR: Ronny Ricardo Serrano Paye	AUXILIAR: Joel Jesús Montoya Supo

LECTURA INICIAL: 33
 LECTURA FINAL: 18

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	18	36	33	32	25	31	38	30	41	46
2	32	38	40	36	28	36	34	39	36	50
3	50	34	45	33	41	21	29	50	36	33
4	50	38	43	36	38	32	21	49	50	40
5	50	34	30	38	4	14	46	31	47	50
6	37	31	42	36	30	0	42	34	27	35
7	34	50	33	40	50	41	35	44	34	5
8	25	33	42	47	34	40	34	43	40	0
9	48	35	33	38	31	22	47	34	50	50
10	42	35	43	40	15	48	50	41	24	15
11	35	36	31	36	0	31	41	36	50	33
12	39	39	31	41	45	38	37	40	28	50
13	29	40	35	31	35	34	35	23	27	36
14	50	35	37	37	44	50	50	50	50	41
15	38	36	31	31	38	25	30	19	17	25
16	45	38	36	42	33	50	37	50	50	28
17	33	36	34	22	0	31	41	45	50	50
18	37	39	37	40	32	41	36	22	43	34
19	29	50	37	50	37	35	0	49	29	33
20	35	39	37	50	34	27	50	21	38	23
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 0.81

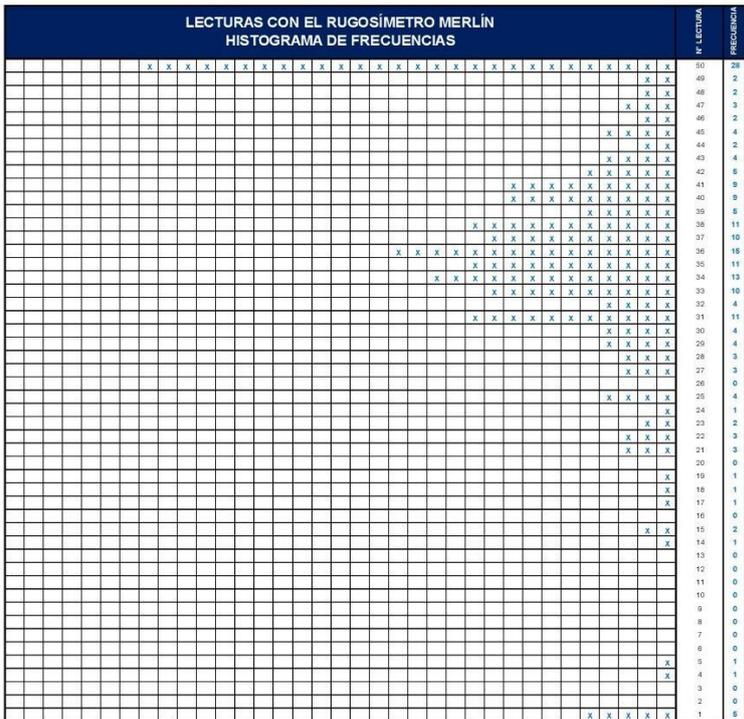
CÁLCULO DEL VALOR DE "D"
 $D = (E1 + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$
 Se descarta el 10% de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.
 Es extremo superior de: 1000 Es extremo inferior de: 1000

CÁLCULO DEL "IRI"
 $D > 40 \text{ mm}$ $D < 40 \text{ mm}$
 $IRI = 0.593 + 0.047 \cdot D$ $IRI = 0.485 \cdot D$

RESULTADOS
 Datos:
 NÚMERO DE DATOS: 200.00
 DATOS DESCARTADOS: 1.00
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1.00
 FACTOR DE CORRECCION: 0.81

Resultado del IRI:
RANGO "D": 160,000 mm
RANGO CORREGIDO "D": 129,600 mm
RUGOSIDAD IRI: 6.70 m/Km

Observaciones:



El IRI en el carril derecho tramo I es de 6.70 m/km

**ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
HOJA DE CAMPO**

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021
SECTOR: 0+400 al 0+800 **N° DE ENSAYO:** 2
CARRIL: DERECHO - SUBIDA **FECHA:** 15/08/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	37	31	47	27	15	36	34	0	43	35
2	49	41	46	30	38	37	30	30	36	43
3	25	8	21	40	42	36	37	44	35	35
4	25	35	12	33	33	33	30	30	39	40
5	34	18	21	43	36	32	26	31	37	25
6	47	0	27	19	38	39	37	15	38	38
7	5	29	36	18	39	34	38	40	29	29
8	41	24	24	36	33	37	30	50	31	50
9	47	43	49	32	35	38	21	36	28	47
10	38	38	35	35	34	33	35	50	46	33
11	27	50	38	36	33	44	36	0	34	33
12	34	35	40	31	33	38	33	42	11	50
13	41	27	36	38	50	42	30	33	17	50
14	34	48	32	34	48	48	29	28	29	15
15	46	39	31	36	36	32	14	32	50	34
16	35	50	28	44	36	32	28	25	17	50
17	28	50	40	45	32	29	46	34	44	38
18	23	38	29	29	35	30	23	33	41	34
19	50	24	33	17	8	30	50	50	30	17
20	7	13	46	38	36	30	50	29	34	16

- TIPO DE PAVIMENTO**
- AFIRMADO
 - BASE GRANULAR
 - BASE IMPRIMADA
 - TRAT. EN CAPA
 - CARPETA EN FRÍO
 - CARPETA EN CALIENTE
 - RECAPEO ASFÁLTICO
 - SELLO
 - OTROS



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN**

PROYECTO:	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA-2021						
TRAMO:	II	N° DE ENSAYO:	2	PROGRESIVA:	Km 0+400,00 al Km 0+800,00	CARRIL:	DERECHO
LONGITU:	400 mts	FECHA:	15/08/2021	OPERADOR:	Ronny Ricardo Serrano Paye	AUXILIAR:	Joel Jesus Montoya Supo

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	37	31	47	27	15	36	34	0	43	35
2	49	41	46	30	38	37	30	30	36	43
3	25	8	21	40	42	36	37	44	35	35
4	25	35	12	33	33	33	30	30	39	40
5	34	18	21	43	36	32	26	31	37	25
6	47	0	27	19	38	39	37	15	38	38
7	5	29	36	18	39	34	38	40	29	29
8	41	24	24	36	33	37	30	50	31	50
9	47	43	49	32	35	38	21	36	28	47
10	38	38	35	35	34	33	35	50	46	33
11	27	50	38	36	33	44	36	0	34	33
12	34	35	40	31	33	38	33	42	11	50
13	41	27	36	38	50	42	30	33	17	50
14	34	48	32	34	48	48	29	28	29	15
15	46	39	31	36	36	32	14	32	50	34
16	35	50	28	44	36	32	28	25	17	50
17	28	50	40	45	32	29	46	34	44	38
18	23	38	29	29	35	30	23	33	41	34
19	50	24	33	17	8	30	50	50	30	17
20	7	13	46	38	36	30	50	29	34	16

FACTOR DE CORRECIÓN F.C. = 0.81

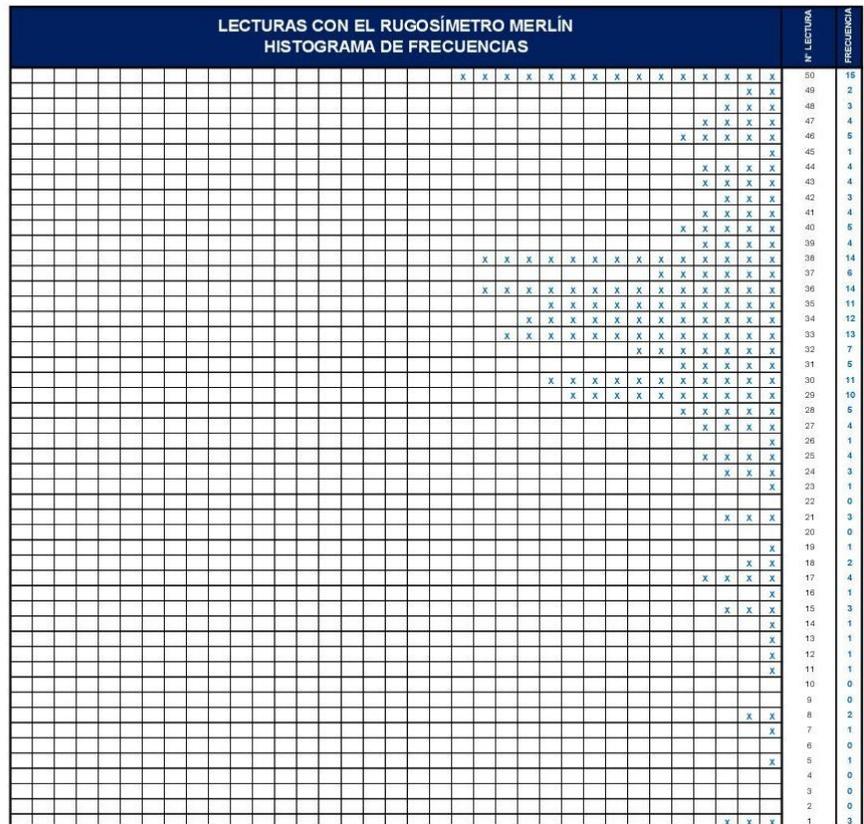
CÁLCULO DEL VALOR DE "D"
 $D = (E1 + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.
 ■- EXTREMO INFERIOR CE- CENTRO ■- EXTREMO SUPERIOR

CÁLCULO DEL "IRI"
 $D > 40 \text{ mm} \quad D < 40 \text{ mm}$
 $IRI = 0.593 + 0.047 \cdot D \quad IRI = 0.0485 \cdot D$

RESULTADOS
 Datos:
 NÚMERO DE DATOS: 200,00
 DATOS DESCARTADOS: 20,00
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1,00
 FACTOR DE CORRECCIÓN: 0,81

Resultado del IRI:
RANGO "D": 175,000 mm
RANGO CORREGIDO "Dcr": 141,790 mm
RUGOSIDAD IRI: 7,27 m/Km

Observaciones:



El IRI en el carril derecho tramo II es de 7.27 m/km

**ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
HOJA DE CAMPO**

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021

SECTOR: 0-800 al 1-200 **N° DE ENSAYO:** 3

CARRIL: DERECHO - SUBIDA **FECHA:** 15/08/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	35	42	33	39	18	35	34	38	27	
2	32	40	23	27	27	41	32	35	50	
3	37	34	27	30	34	20	16	34	50	
4	36	38	50	14	28	35	28	36	27	
5	35	43	20	50	25	37	32	35	50	
6	36	33	9	0	31	40	50	32	29	
7	37	33	39	14	49	40	37	40	37	
8	43	37	45	17	28	26	25	40	27	
9	36	34	33	47	33	44	48	50	36	
10	41	27	40	14	33	37	15	24	31	
11	38	50	32	28	37	24	35	24	22	
12	34	23	30	30	50	50	33	37	50	
13	36	50	50	44	36	34	37	39	50	
14	24	48	50	49	22	28	33	21	24	
15	48	48	45	49	42	35	31	46	36	
16	50	17	49	30	36	32	32	31	0	
17	50	7	0	50	34	46	31	38	28	
18	38	21	50	3	48	8	36	33	22	
19	32	36	48	19	45	50	41	33	40	
20	26	50	29	50	31	44	37	35	19	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- TIPO DE PAVIMENTO**
- AFIRMADO
 - BASE GRANULAR
 - BASE IMPRIMADA
 - TRAT. EN CAPA
 - CARPETA EN FRIO
 - CARPETA EN CALIENTE
 - RECAPEO ASFÁLTICO
 - SELLO
 - OTROS



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN**

PROYECTO:	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA-2021						
TRAMO:	III	N° DE ENSAYO:	3	PROGRESIVA:	Km 0+800,00 al Km 1+200,00	CARRIL:	DERECHO
LONGITUD:	400 mts	FECHA:	15/08/2021	OPERADOR:	Ronny Ricardo Semano Paye	AUXILIAR:	Joel Jesus Moritbya Supo

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	35	42	33	39	18	35	34	38	27	
2	32	40	23	27	27	41	32	35	50	
3	37	34	27	30	34	20	16	34	50	
4	36	38	50	14	28	35	28	36	27	
5	35	43	20	50	25	37	32	35	50	
6	36	33	9	0	31	40	50	32	29	
7	37	33	39	14	49	40	37	40	37	
8	43	37	45	17	28	26	25	40	27	
9	36	34	33	47	33	44	48	50	36	
10	41	27	40	14	33	37	15	24	31	
11	38	50	32	28	37	24	35	24	22	
12	34	23	30	30	50	50	33	37	50	
13	36	50	50	44	36	34	37	39	50	
14	24	48	50	49	22	28	33	21	24	
15	48	48	45	49	42	35	31	46	36	
16	50	17	49	30	36	32	32	31	0	
17	50	7	0	50	34	46	31	38	28	
18	38	21	50	3	48	8	36	33	22	
19	32	36	48	19	45	50	41	33	40	
20	26	50	29	50	31	44	37	35	19	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

FACTOR DE CORRECIÓN F.C.# 0,81

CÁLCULO DEL VALOR DE "D"
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$
 Se descarta el 10% de los valores, portando, 10 valores para cada extremo superior e inferior.
 EI= EXTREMO INFERIOR CE= CENTRO ES= EXTREMO SUPERIOR

CÁLCULO DEL "IRI"
 $IRI = 0,593 + 0,047 \cdot D$ $IRI = 0,0495D$

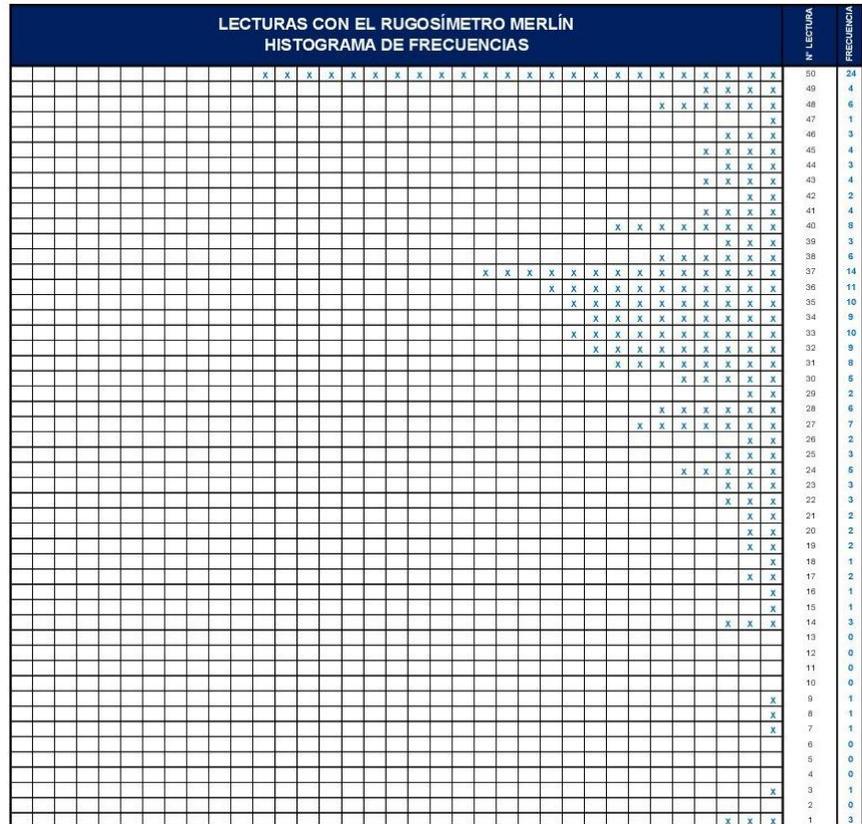
RESULTADOS

Dato:

NÚMERO DE DATOS: 200,00
 DATOS DESCARTADOS: 20,00
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1,00
 FACTOR DE CORRECCIÓN: 0,81

Resultado del IRI:
RANGO "pp": 180,000 mm
RANGO CORREGIDO "pp": 145,800 mm
RUGOSIDAD IRI: 7,46 m/Km

Observaciones:



El IRI en el carril derecho tramo III es de 7.46 m/km

**ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
HOJA DE CAMPO**

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021

SECTOR: I-200 al I-600 **N° DE ENSAYO:** 4
CARRIL: DERECHO - SUBIDA **FECHA:** 15/08/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	22	39	35	38	50	45	35	31	29	34
2	20	33	33	31	32	27	40	29	36	27
3	33	31	29	33	39	50	30	27	36	27
4	27	35	43	30	12	14	37	22	40	32
5	32	40	34	41	21	33	49	30	43	37
6	32	30	31	33	43	34	40	33	32	29
7	29	32	38	30	31	45	37	33	33	29
8	24	34	30	35	30	50	30	32	14	23
9	35	35	35	33	22	30	36	35	50	37
10	40	21	24	40	32	36	28	42	24	25
11	32	49	37	35	33	32	37	39	31	29
12	26	34	38	47	25	42	19	24	38	34
13	30	33	22	33	32	43	38	32	31	37
14	30	19	24	35	30	38	30	30	28	32
15	40	28	35	25	34	25	40	33	36	27
16	31	30	31	40	31	26	26	31	36	35
17	31	38	38	33	33	24	43	35	40	23
18	32	31	34	29	32	34	32	38	39	29
19	32	30	34	37	23	32	30	29	33	26
20	30	40	29	32	12	45	35	31	25	37
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- TIPO DE PAVIMENTO**
- AFIRMADO
 - BASE GRANULAR
 - BASE IMPRIMADA
 - TRAT. EN CAPA
 - CARPETA EN FRIO
 - CARPETA EN CALIENTE
 - RECAPEO ASFÁLTICO
 - SELLO
 - OTROS



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN**

PROYECTO:	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA-2021						
TRAMO:	IV	N° DE ENSAYO:	4	PROGRESIVA:	Km 1+200,00 al Km 1+600,00	CARRIL:	DERECHO
LONGITUD:	400 mts	FECHA:	15/08/2021	OPERADOR:	Ronny Ricardo Serrano Paye	AUXILIAR:	Joel Jesus Montoya Supo

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
22	39	35	38	50	45	35	31	29	34	
20	33	33	31	32	27	40	29	36	27	
33	31	29	33	39	50	30	27	36	27	
27	35	43	30	12	14	37	22	40	32	
32	40	34	41	21	33	49	30	43	37	
32	30	31	33	43	34	40	33	32	29	
29	32	38	30	31	45	37	33	33	29	
24	34	30	35	30	50	30	32	14	23	
35	35	35	33	22	30	36	35	50	37	
40	21	24	40	32	36	28	42	24	25	
32	49	37	35	33	32	37	39	31	29	
26	34	38	47	25	42	19	24	38	34	
30	33	22	33	32	43	38	32	31	37	
30	19	24	35	30	38	30	30	28	32	
40	28	35	25	34	25	40	33	36	27	
31	30	31	40	31	26	26	31	36	35	
31	38	38	33	33	24	43	35	40	23	
32	31	34	29	32	34	32	38	39	29	
32	30	34	37	23	32	30	29	33	26	
30	40	29	32	12	45	35	31	25	37	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 0,81

CÁLCULO DEL VALOR DE "D"
D = (EI+ CE + ES) x 5 mm
Se descarta el 10 % de los valores, portando, 10 valores para cada extremo superior e inferior.
EI- EXTREMO INFERIOR CE- CENTRO ES- EXTREMO SUPERIOR

CÁLCULO DEL "IRI"
D > 40 mm D < 40 mm
IRI = 0.593 + 0.0471D IRI = 0.0485D

RESULTADOS

Datos:
NÚMERO DE DATOS: 200,00
DATOS DESCARTADOS: 20,00
RELACION DE BRAZOS: 1,00
FACTOR DE CORRECCION: 0,81

Resultado del IRI:
RANGO "D": 113,750 mm
RANGO CORREGIDO "Dcr": 92,138 mm
RUGOSIDAD IRI: 4,93 m/Km

Observaciones:

LECTURAS CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN										N° LECTURA	FRECUENCIA		
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS													
											50	1	
												49	2
												48	0
												47	1
												46	0
												45	3
												44	0
												43	6
												42	2
												41	1
												40	11
												39	4
												38	9
												37	9
												36	6
												35	14
												34	10
												33	17
												32	19
												31	14
												30	18
												29	11
												28	3
												27	6
												26	4
												25	6
												24	6
												23	3
												22	4
												21	2
												20	1
												19	2
												18	0
												17	0
												16	0
												15	0
												14	2
												13	0
												12	2
												11	0
												10	0
												9	0
												8	0
												7	0
												6	0
												5	0
												4	0
												3	0
												2	0
												1	0

El IRI en el carril derecho tramo IV es de 4.93 m/km

**ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
HOJA DE CAMPO**

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021

SECTOR: I-600 al 2-000 **N° DE ENSAYO:** 5

CARRIL: DERECHO - SUBIDA **FECHA:** 15/08/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	44	45	32	34	31	35	48	29	34	34
2	38	30	34	31	30	35	28	30	36	15
3	40	31	25	33	42	40	39	35	32	31
4	37	27	30	35	48	37	43	32	28	31
5	33	8	26	32	30	42	36	31	36	31
6	34	43	28	33	33	25	32	31	35	31
7	39	25	31	19	27	50	31	35	36	30
8	36	22	25	27	36	30	32	36	34	35
9	40	44	34	34	26	26	34	32	38	27
10	40	10	28	34	35	32	21	29	38	30
11	37	50	7	38	38	35	34	47	15	29
12	39	38	5	38	50	37	34	30	43	28
13	19	22	26	28	23	31	40	35	35	28
14	25	27	21	34	46	24	46	35	37	35
15	21	33	24	33	30	36	38	39	26	35
16	27	27	25	32	37	33	32	32	32	32
17	36	49	31	36	20	35	31	29	0	32
18	38	8	35	44	27	27	29	29	37	29
19	22	23	30	43	45	35	29	27	36	33
20	18	25	26	23	33	25	26	40	26	39
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- TIPO DE PAVIMENTO**
- Afirmado
 - Base Granular
 - Base Imprimada
 - Trat. en Capa
 - Carpeta en Frío
 - Carpeta en Caliente
 - Recapeo Asfáltico
 - Sello
 - Otros



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN**

PROYECTO:	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA-2021						
TRAMO:	V	N° DE ENSAYO:	5	PROGRESIVA:	Km 1+600,00 al Km 2+000,00	CARRIL:	DERECHO
LONGITUD:	400 mts	FECHA:	15/08/2021	OPERADOR:	Ronny Ricardo Serrano Paye	AUXILIAR:	Joel Jesus Montoya Supo

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
44	45	32	34	31	35	48	29	34	34	
38	30	34	31	30	35	28	30	36	15	
40	31	25	33	42	40	39	35	32	31	
37	27	30	35	48	37	43	32	28	31	
33	8	26	32	30	42	36	31	36	31	
34	43	28	33	33	25	32	31	35	31	
39	25	31	19	27	50	31	35	36	30	
36	22	25	27	36	30	32	36	34	35	
40	44	34	34	26	26	34	32	38	27	
40	10	28	34	35	32	21	29	38	30	
37	50	7	38	38	35	34	47	15	29	
39	38	5	38	50	37	34	30	43	28	
19	22	26	28	23	31	40	35	35	28	
25	27	21	34	46	24	46	35	37	35	
21	33	24	33	30	36	38	39	26	35	
27	27	25	32	37	33	32	32	32	32	
36	49	31	36	20	35	31	29	0	32	
38	8	35	44	27	27	29	29	37	29	
22	23	30	43	45	35	29	27	36	33	
18	25	26	23	33	25	26	40	26	39	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

FACTOR DE CORRECCION F.C. = 0,81

CÁLCULO DEL VALOR DE "D"
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto 10 valores para cada extremo superior e inferior.
 EI: EXTREMO INFERIOR DE CENTRO ES: EXTREMO SUPERIOR

CÁLCULO DEL "IRI"
 $D > 40 \text{ mm}$ $D < 40 \text{ mm}$
 $IRI = 0.593 + 0.047 \cdot D$ $IRI = 0.045D$

RESULTADOS

Datos:
 NÚMERO DE DATOS: 200,00
 DATOS DESCARTADOS: 20,00
 RELACIÓN DE BRAZOS: 1,00
 FACTOR DE CORRECCIÓN: 0,81

Resultado del IRI:
RANGO "D": 127,500 mm
RANGO CORREGIDO "Der": 103,275 mm
RUGOSIDAD IRI: 5,46 m/Km

Observaciones:

LECTURAS CON EL RUGOSÍMETRO MERLÍN										N° LECTURA	FRECUENCIA	
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS												
										X	1	1
											2	0
											3	0
											4	0
										X	5	1
											6	0
										X	7	1
										X	8	2
											9	0
										X	10	1
											11	0
											12	0
											13	0
											14	0
										X	15	2
										X	16	0
											17	0
										X	18	1
										X	19	2
										X	20	1
										X	21	3
										X	22	3
										X	23	3
										X	24	2
										X	25	8
										X	26	8
										X	27	10
										X	28	7
										X	29	8
										X	30	11
										X	31	14
										X	32	14
										X	33	9
										X	34	13
										X	35	17
										X	36	11
										X	37	7
										X	38	9
										X	39	5
										X	40	6
										X	41	0
										X	42	2
										X	43	4
										X	44	3
										X	45	2
										X	46	2
										X	47	1
										X	48	2
										X	49	1
										X	50	3

El IRI en el carril derecho tramo V es de 5.46 m/km

**ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
HOJA DE CAMPO**

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021

SECTOR: 0-400 al 0-800 **N° DE ENSAYO:** 2

CARRIL: IZQUIERDO - BAJADA **FECHA:** 15/08/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	22	16	33	36	7	33	32	42	6	30
2	50	38	30	30	49	36	40	38	39	50
3	37	36	26	48	32	50	17	39	45	33
4	39	32	36	44	32	16	26	34	49	49
5	16	50	45	43	36	38	50	29	46	38
6	19	19	31	34	31	23	48	20	50	33
7	31	23	37	43	39	23	25	28	50	26
8	34	19	48	39	33	36	47	50	10	35
9	50	46	34	35	37	50	31	24	27	33
10	38	36	33	35	50	35	50	46	50	31
11	19	35	36	37	36	33	46	31	5	45
12	31	41	50	39	36	25	24	50	50	36
13	28	33	33	34	28	26	27	44	3	50
14	22	36	36	39	33	0	30	40	47	31
15	50	33	39	29	34	50	38	35	50	33
16	38	34	33	31	49	10	35	50	46	39
17	33	32	37	21	48	33	34	47	39	37
18	37	43	33	21	40	35	32	34	22	32
19	27	38	33	27	36	27	47	50	39	40
20	21	32	47	49	32	36	36	48	36	30
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- TIPO DE PAVIMENTO**
- AFIRMADO
 - BASE GRANULAR
 - BASE IMPRIMADA
 - TRAT. EN CAPA
 - CARPETA EN FRIO
 - CARPETA EN CALIENTE
 - RECAPEO ASFÁLTICO
 - SELLO
 - OTROS



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN**

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA-2021					
TRAMO:	II	N° DE ENSAYO:	6	PROGRESIVA:	Km 0+400,00 al Km 0+800,00
LONGITUD:	400 mts	FECHA:	15/08/2021	OPERADOR:	Joel Jesus Montoya Supo
				CARRIL:	IZQUIERDO
				AUXILIAR:	Ronny Ricardo Serrano Paye

LECTURA INICIAL: 44
LECTURA FINAL: 33

LECTURAS EN CAMPO - MERLIN										
1	22	16	33	36	7	33	32	42	6	30
2	50	38	30	30	49	36	40	38	39	50
3	37	36	26	48	32	50	17	39	45	33
4	39	32	36	44	32	16	26	34	49	49
5	16	50	45	43	36	38	50	29	46	38
6	19	19	31	34	31	23	48	20	50	33
7	31	23	37	43	39	23	25	28	50	26
8	34	19	48	39	33	36	47	50	10	35
9	50	46	34	35	37	50	31	24	27	33
10	38	36	33	35	50	35	50	46	50	31
11	19	35	36	37	36	33	46	31	5	45
12	31	41	50	39	36	25	24	50	50	36
13	28	33	33	34	28	26	27	44	3	50
14	22	36	36	39	33	0	30	40	47	31
15	50	33	39	29	34	50	38	35	50	33
16	38	34	33	31	49	10	35	50	46	39
17	33	32	37	21	48	33	34	47	39	37
18	37	43	33	21	40	35	32	34	22	32
19	27	38	33	27	36	27	47	50	39	40
20	21	32	47	49	32	36	36	48	36	30
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

LECTURAS CON EL RUGOSÍMETRO MERLIN										N° LECTURA	FRECUENCIA	
HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS												
											50	22
											49	6
											48	6
											47	6
											46	6
											45	3
											44	2
											43	3
											42	1
											41	1
											40	4
											39	11
											38	8
											37	7
											36	17
											35	8
											34	9
											33	18
											32	9
											31	9
											30	6
											29	2
											28	3
											27	6
											26	4
											25	2
											24	2
											23	3
											22	3
											21	3
											20	1
											19	4
											18	0
											17	1
											16	3
											15	0
											14	0
											13	0
											12	0
											11	0
											10	2
											9	0
											8	0
											7	1
											6	1
											5	1
											4	0
											3	1
											2	0
											1	1

FACTOR DE CORRECIÓN F.C. = 0.86

CÁLCULO DEL VALOR DE "D"

$D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$

Se descarta el 10% de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.

EI- EXTREMO INFERIOR CE- CENTRO ES- EXTREMO SUPERIOR

CÁLCULO DEL "IRI"

D > 40 mm D < 40 mm

$IRI = 0.593 + 0.0471D$ $IRI = 0.0485D$

RESULTADOS

Datos:

NÚMERO DE DATOS: 200.00
DATOS DESCARTADOS: 20.00
RELACION DE BRAZOS: 1.00
FACTOR DE CORRECIÓN: 0.86

Resultado del IRI:

RANGO "D": 165,000 mm
RANGO CORREGIDO "Dcr": 141,900 mm

RUGOSIDAD IRI: **7,28 m/Km**

Observaciones:

El IRI en el carril izquierdo tramo II es de 7.28 m/km

**ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
HOJA DE CAMPO**

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021

SECTOR: 0+800 al 1+200 **N° DE ENSAYO:** 3

CARRIL: IZQUIERDO - BAJADA **FECHA:** 15/08/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	31	50	32	25	31	28	36	44	50	43
2	34	37	17	23	35	31	36	31	35	35
3	30	0	28	35	48	50	40	35	34	25
4	37	11	25	37	31	30	28	42	42	33
5	43	37	24	37	41	30	23	33	34	29
6	47	35	38	36	30	24	30	39	22	28
7	32	39	42	27	33	36	36	35	36	43
8	45	23	43	48	40	34	35	43	35	50
9	47	39	50	50	40	50	32	50	31	50
10	35	49	50	31	48	16	34	35	33	28
11	33	35	37	30	32	38	41	38	27	47
12	32	15	38	33	31	40	34	32	34	31
13	37	0	23	30	37	40	26	39	30	31
14	39	31	22	35	35	31	43	50	26	50
15	37	34	32	17	47	42	33	42	31	29
16	47	34	44	39	23	31	28	16	10	31
17	34	47	50	30	33	33	32	33	40	17
18	39	31	27	36	35	31	50	0	33	20
19	31	39	36	36	20	34	49	33	31	50
20	38	38	37	33	39	30	26	38	32	2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

TIPO DE PAVIMENTO

- AFIRMADO
- BASE GRANULAR
- BASE IMPRIMADA
- TRAT. EN CAPA
- CARPETA EN FRIO
- CARPETA EN CALIENTE
- RECAPED ASFÁLTICO
- SELLO
- OTROS



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN**

PROYECTO:	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA-2021						
TRAMO:	III	N° DE ENSAYO:	7	PROGRESIVA:	Km 0+800.00 al Km 1+200.00	CARRIL:	IZQUIERDO
LONGITU:	400 mts	FECHA:	15/08/2021	OPERADOR:	Joel Jesus Montoya Supo	AUXILIAR:	Ronny Ricardo Serrano Paye

LECTURA INICIAL: 44
LECTURA FINAL: 33

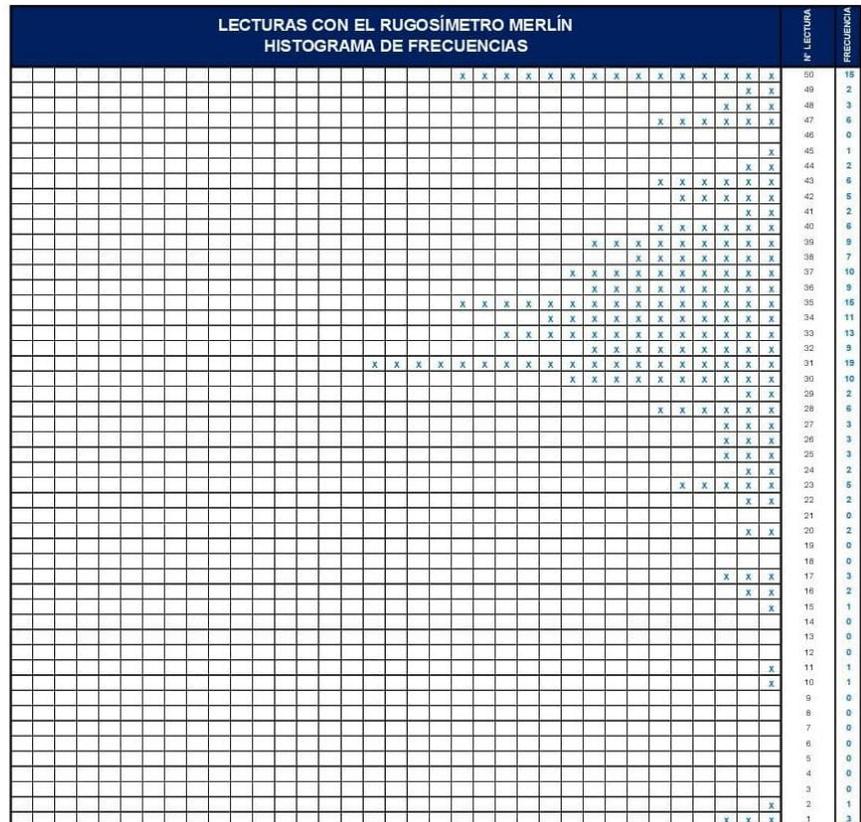
LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	31	50	32	25	31	28	36	44	50	43
2	34	37	17	23	35	31	36	31	35	35
3	30	0	28	35	48	50	40	35	34	25
4	37	11	25	37	31	30	28	42	42	33
5	43	37	24	37	41	30	23	33	34	29
6	47	35	38	36	30	24	30	39	22	28
7	32	39	42	27	33	36	36	35	36	43
8	45	23	43	48	40	34	35	43	35	50
9	47	39	50	50	40	50	32	50	31	50
10	35	49	50	31	48	16	34	35	33	28
11	33	35	37	30	32	38	41	38	27	47
12	32	15	38	33	31	40	34	32	34	31
13	37	0	23	30	37	40	26	39	30	31
14	39	31	22	35	35	31	43	50	26	50
15	37	34	32	17	47	42	33	42	31	29
16	47	34	44	39	23	31	28	16	10	31
17	34	47	50	30	33	33	32	33	40	17
18	39	31	27	36	35	31	50	0	33	20
19	31	39	36	36	20	34	49	33	31	50
20	38	38	37	33	39	30	26	38	32	2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

FACTOR DE CORRECCIÓN F.C.= 0.88

CÁLCULO DEL VALOR DE "D"
D = (EI+ CE + ES) x 5 mm
Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.
EI: EXTREMO INFERIOR CE: CENTRO ES: EXTREMO SUPERIOR

CÁLCULO DEL "IRI"
D > 49 mm D < 49 mm
IRI = 0.593 + 0.047ID IRI = 0.0465D

RESULTADOS	
Datos:	
NÚMERO DE DATOS:	200.00
DATOS DESCARTADOS:	20.00
RELACIÓN DE BRAZOS:	1.00
FACTOR DE CORRECCIÓN:	0.88
Resultado del IRI:	
RANGO "D":	0,000 mm
RANGO CORREGIDO "Dcr":	0,000 mm
RUGOSIDAD IRI:	6,60 m/Km
Observaciones:	



El IRI en el carril izquierdo tramo III es de 6.60 m/km

**ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN
HOJA DE CAMPO**

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021

SECTOR: 1-200 al 1-600 **N° DE ENSAYO:** 4
CARRIL: IZQUIERDO - BAJADA **FECHA:** 15/08/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	43	42	38	42	0	36	36	43	21	40
2	33	50	37	35	34	37	38	38	28	38
3	32	29	34	40	31	6	34	32	23	43
4	47	44	50	36	45	19	37	17	36	33
5	39	32	48	50	46	31	36	20	34	35
6	40	42	43	50	39	46	20	31	35	34
7	36	36	45	32	33	28	32	41	40	35
8	18	21	32	31	0	39	33	35	35	35
9	27	38	49	28	43	36	26	35	50	42
10	48	37	23	38	45	41	38	36	31	39
11	27	27	26	32	38	35	50	43	36	43
12	39	32	27	50	50	42	25	50	36	44
13	37	50	27	32	46	34	50	33	37	38
14	34	50	27	29	35	38	35	35	36	33
15	48	50	34	28	37	30	50	44	40	12
16	33	50	41	32	38	37	32	47	33	45
17	24	40	35	37	38	11	36	48	40	32
18	36	25	28	49	29	19	38	39	34	23
19	37	50	41	33	50	33	38	28	34	45
20	43	29	35	41	50	44	26	46	31	33
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- TIPO DE PAVIMENTO:**
- AFIRMADO
 - BASE GRANULAR
 - BASE IMPRIMADA
 - TRAT. EN CAPA
 - CARPETA EN FRÍO
 - CARPETA EN CALIENTE
 - RECAPEO ASFÁLTICO
 - SELLO
 - OTROS



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN**

PROYECTO:	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA-2021				
TRAMO:	IV	N° DE ENSAYO:	8	PROGRESIVA:	Km 1+200,00 al Km 1+600,00
LONGITUD:	400 mts	FECHA:	15/08/2021	OPERADOR:	Joel Jesus Montoya Supo
				CARRIL:	IZQUIERDO
				AUXILIAR:	Ronny Ricardo Serrano Paye

LECTURA INICIAL: 44
LECTURA FINAL: 33

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	43	42	38	42	0	36	36	43	21	40
2	33	50	37	35	34	37	38	38	28	38
3	32	29	34	40	31	6	34	32	23	43
4	47	44	50	36	45	19	37	17	36	33
5	39	32	48	50	46	31	36	20	34	35
6	40	42	43	50	39	46	20	31	35	34
7	36	36	45	32	33	28	32	41	40	35
8	18	21	32	31	0	39	33	35	35	35
9	27	38	49	28	43	36	26	35	50	42
10	48	37	23	38	45	41	38	36	31	39
11	27	27	26	32	38	35	50	43	36	43
12	39	32	27	50	50	42	25	50	36	44
13	37	50	27	32	46	34	50	33	37	38
14	34	50	27	29	35	38	35	35	36	33
15	33	50	41	32	38	37	32	47	33	45
16	24	40	35	37	38	11	36	48	40	32
17	36	25	28	49	29	19	38	39	34	23
18	37	50	41	33	50	33	38	28	34	45
19	43	29	35	41	50	44	26	46	31	33
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

FACTOR DE CORRECCION F.C.# 0.86

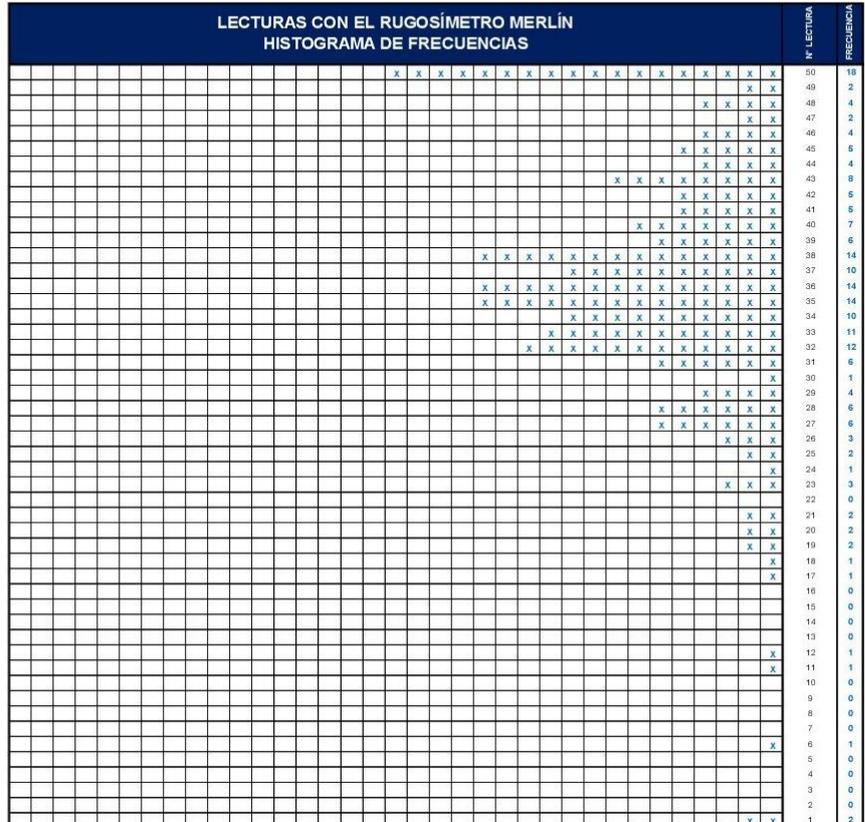
CÁLCULO DEL VALOR DE "D"
D = (EI + CE + ES) x 5 mm
Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores para cada extremo superior e inferior.
EI: EXTREMO INFERIOR CE: CENTRO ES: EXTREMO SUPERIOR

CÁLCULO DEL "IRI"
D > 40 mm D < 40 mm
IRI = 0.593 + 0.047*1D IRI = 0.0485D

RESULTADOS
Datos:
NÚMERO DE DATOS: 200.00
DATOS DESCARTADOS: 20.00
RELACION DE BRAZOS: 1.00
FACTOR DE CORRECCION: 0.86

Resultado del IRI:
RANGO "D": 147,500 mm
RANGO CORREGIDO "Der": 126,850 mm
RUGOSIDAD IRI: 6.57 m/Km

Observaciones:



El IRI en el carril izquierdo tramo IV es de 6.57 m/km

ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

HOJA DE CAMPO

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021
 SECTOR: 1-600 al 2-000 N° DE ENSAYO: 5
 CARRIL: IZQUIERDO - BAJADA FECHA: 15/08/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	45	35	25	29	35	30	20	41	32	35
2	30	12	30	27	48	29	48	34	42	36
3	36	36	27	34	24	28	50	25	27	33
4	37	29	36	33	23	33	30	24	34	34
5	33	40	35	32	34	29	25	33	29	30
6	37	40	33	30	35	31	40	31	32	32
7	32	22	31	28	34	36	36	23	35	34
8	34	39	34	37	33	31	50	31	30	36
9	32	32	26	28	32	39	18	30	38	28
10	33	24	36	29	27	30	37	18	27	30
11	30	40	37	38	31	29	32	34	35	40
12	31	23	32	39	34	30	23	26	31	37
13	32	30	34	31	33	25	32	43	23	30
14	28	33	33	39	28	35	33	33	25	37
15	27	31	33	34	35	29	41	27	30	38
16	40	25	34	29	37	35	30	30	21	30
17	30	47	37	39	34	31	34	32	40	50
18	40	31	38	38	47	31	35	39	30	28
19	38	35	35	36	36	35	33	33	41	42
20	29	30	30	34	35	28	30	34	37	28

- TIPO DE PAVIMENTO
- AFIRMADO
 - BASE GRANULAR
 - BASE IMPRIMADA
 - TRAT. EN CAPA
 - CARPETA EN FRÍO
 - CARPETA EN CALIENTE
 - RECAPEO ASFÁLTICO
 - SELLO
 - OTROS



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA-2021

TRAMO:	V	N° DE ENSAYO:	9	PROGRESIVA:	Km 1+600,00 al Km 2+000,00	CARRIL:	IZQUIERDO
LONGITUD:	400 mts	FECHA:	15/08/2021	OPERADOR:	Joel Jesus Montoya Supo	AUXILIAR:	Ronny Ricardo Serrano Paye

LECTURA INICIAL: 44
 LECTURA FINAL: 33

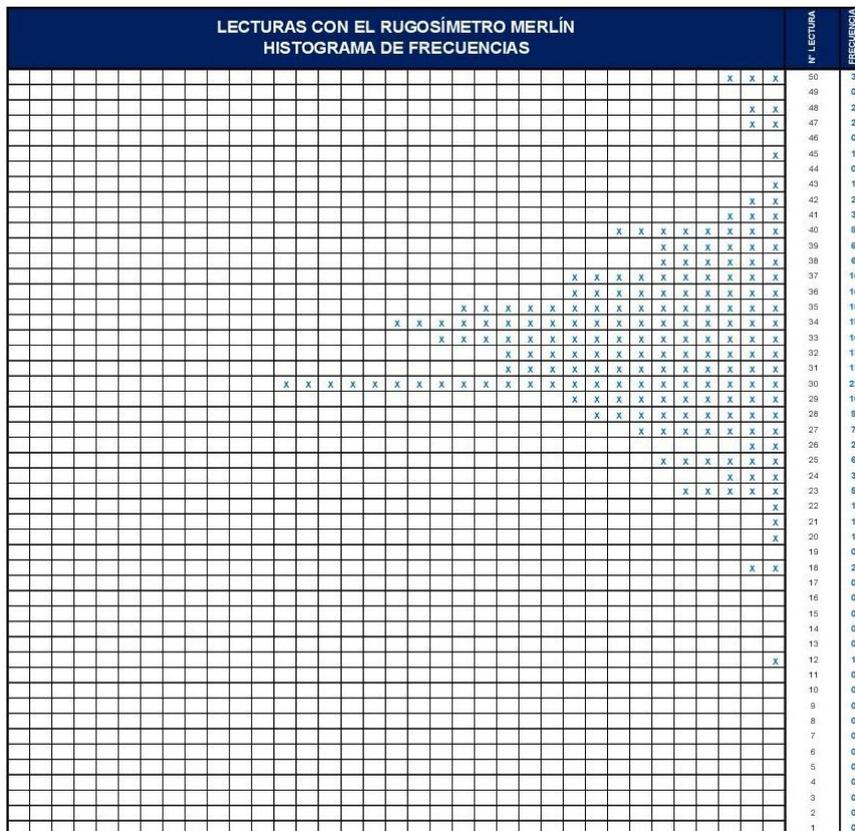
LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	45	35	25	29	35	30	20	41	32	35
2	30	12	30	27	48	29	48	34	42	36
3	36	36	27	34	24	28	50	25	27	33
4	37	29	36	33	23	33	30	24	34	34
5	33	40	35	32	34	29	25	33	29	30
6	37	40	33	30	35	31	40	31	32	32
7	32	22	31	28	34	36	36	23	35	34
8	34	39	34	37	33	31	50	31	30	36
9	32	32	26	28	32	39	18	30	38	28
10	33	24	36	29	27	30	37	18	27	30
11	30	40	37	38	31	29	32	34	35	40
12	31	23	32	39	34	30	23	26	31	37
13	32	30	34	31	33	25	32	43	23	30
14	28	33	33	39	28	35	33	33	25	37
15	27	31	33	34	35	29	41	27	30	38
16	40	25	34	29	37	35	30	30	21	30
17	30	47	37	39	34	31	34	32	40	50
18	40	31	38	38	47	31	35	39	30	28
19	38	35	35	36	36	35	33	33	41	42
20	29	30	30	34	35	28	30	34	37	28

FACTOR DE CORRECCIÓN F.C.# 0,86

CÁLCULO DEL VALOR DE "D"
 $D = (E1 + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$
 Se descarta el 10 % de los valores, por tanto, 10 valores más cada extremo superior e inferior.
 E1: EXTREMO INFERIOR CE: CENTRO ES: EXTREMO SUPERIOR

CÁLCULO DEL "IRI"
 $D > 40 \text{ mm}$ $D < 40 \text{ mm}$
 $IRI = 0.593 + 0.047 \cdot D$ $IRI = 0.0 \cdot 485D$

RESULTADOS	
Datos:	
NÚMERO DE DATOS:	200,00
DATOS DESCARTADOS:	20,00
RELACION DE BRAZOS:	1,00
FACTOR DE CORRECCIÓN:	0,86
Resultado del IRI:	
RANGO "D":	96,000 mm
RANGO CORREGIDO "Dcr":	82,560 mm
RUGOSIDAD IRI:	4,48 m/Km
Observaciones:	



El IRI en el carril izquierdo tramo V es de 4.48 m/km

ENSAYO PARA MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN

HOJA DE CAMPO

PROYECTO: DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021
 SECTOR: 2-000 al 2-400 Nº DE ENSAYO: 6
 CARRIL: IZQUIERDO - BAJADA FECHA: 15/08/2021

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
1	44	35	25	29	35	30	20	41	32	35
2	30	12	30	27	48	29	48	34	42	36
3	36	36	27	34	24	28	50	25	27	33
4	37	29	36	33	23	33	30	24	34	34
5	33	40	35	32	34	29	25	33	29	30
6	37	40	33	30	35	31	40	31	32	32
7	32	22	31	28	34	36	36	23	35	34
8	34	39	34	37	33	31	50	31	30	36
9	32	32	26	28	32	39	18	30	38	28
10	33	24	36	29	27	30	37	18	27	30
11	30	40	37	38	31	29	32	34	35	40
12	31	23	32	39	34	30	23	26	31	37
13	32	30	34	31	33	25	32	43	23	30
14	28	33	33	39	28	35	33	33	25	37
15	27	31	33	34	35	29	41	27	30	38
16	40	25	34	29	37	35	30	30	21	30
17	30	47	37	39	34	31	34	32	40	50
18	40	31	38	38	47	31	35	39	30	28
19	38	35	35	36	36	35	33	33	41	42
20	29	30	30	34	35	28	30	34	37	29

- TIPO DE PAVIMENTO
- AFIRMADO
 - BASE GRANULAR
 - BASE IMPRIMADA
 - TRAT. EN CAPA
 - CARPETA EN FRIO
 - CARPETA EN CALIENTE
 - RECAPEO ASFÁLTICO
 - SELLO
 - OTROS



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 EVALUACION SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO - MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD CON EQUIPO MERLIN

PROYECTO:	DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA-2021							
TRAMO:	VI	Nº DE ENSAYO:	10	PROGRESIVA:	Km 2+000,00 al Km 2+400,00	CARRIL:	IZQUIERDO	
LONGITUD:	400 mts	FECHA:	15/08/2021	OPERADOR:	Joel Jesus Montoya Supo	AUXILIAR:	Ronny Ricardo Serrano Paye	

LECTURA INICIAL: 44
 LECTURA FINAL: 33

LECTURAS EN CAMPO - MERLÍN										
44	35	25	29	35	30	20	41	32	35	
30	12	30	27	48	29	48	34	42	36	
36	36	27	34	24	28	50	25	27	33	
37	29	36	33	23	33	30	24	34	34	
33	40	35	32	34	29	25	33	29	30	
37	40	33	30	35	31	40	31	32	32	
32	22	31	28	34	36	36	23	35	34	
34	39	34	37	33	31	50	31	30	36	
32	32	26	28	32	39	18	30	38	28	
33	24	36	29	27	30	37	18	27	30	
30	40	37	38	31	29	32	34	35	40	
31	23	32	39	34	30	23	26	31	37	
32	30	34	31	33	25	32	43	23	30	
28	33	33	39	28	35	33	33	25	37	
27	31	33	34	35	29	41	27	30	38	
40	25	34	29	37	35	30	30	21	30	
30	47	37	39	34	31	34	32	40	50	
40	31	38	38	47	31	35	39	30	28	
38	35	35	36	36	35	33	33	41	42	
29	30	30	34	35	28	30	34	37	29	

FACTOR DE CORRECCION F.C.= 0.86

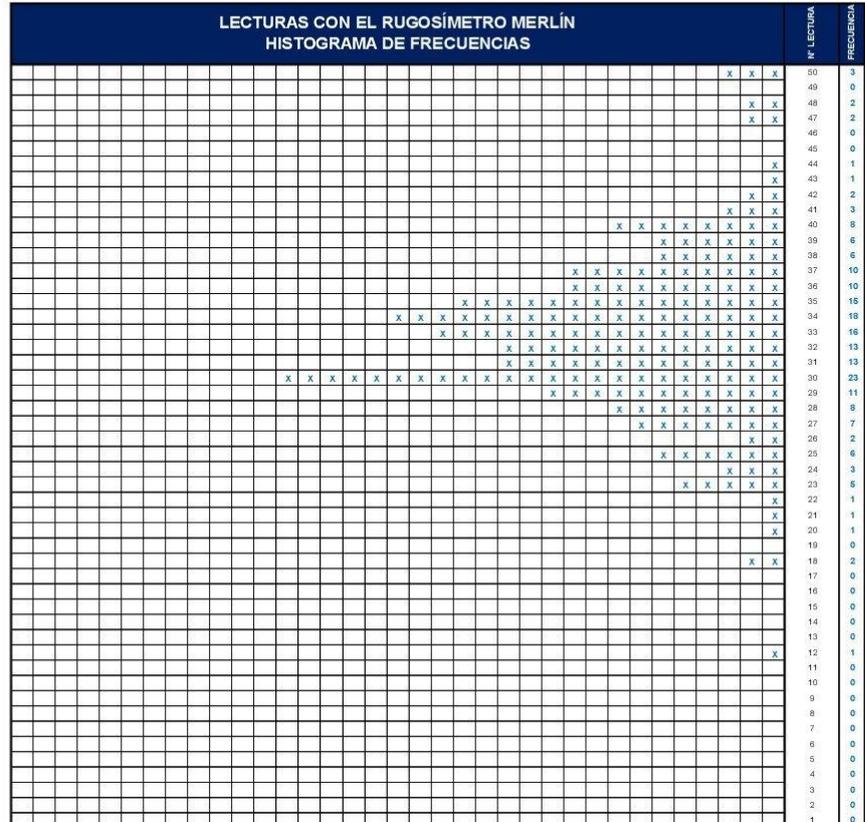
CÁLCULO DEL VALOR DE "D"
 $D = (EI + CE + ES) \times 5 \text{ mm}$
 Se descarta el 10 % de los valores, portando, 10 valores para cada extremo superior e inferior.
 EI= EXTREMO INFERIOR CE= CENTRO ES= EXTREMO SUPERIOR

CÁLCULO DEL "IRI"
 $D > 40 \text{ mm}$ $D < 40 \text{ mm}$
 $IRI = 0.593 + 0.0471D$ $IRI = 0.0485D$

RESULTADOS
 Dato:
 NÚMERO DE DATOS: 200.00
 DATOS DESCARTADOS: 20.00
 RELACION DE BRAZOS: 1.00
 FACTOR DE CORRECCION: 0.86

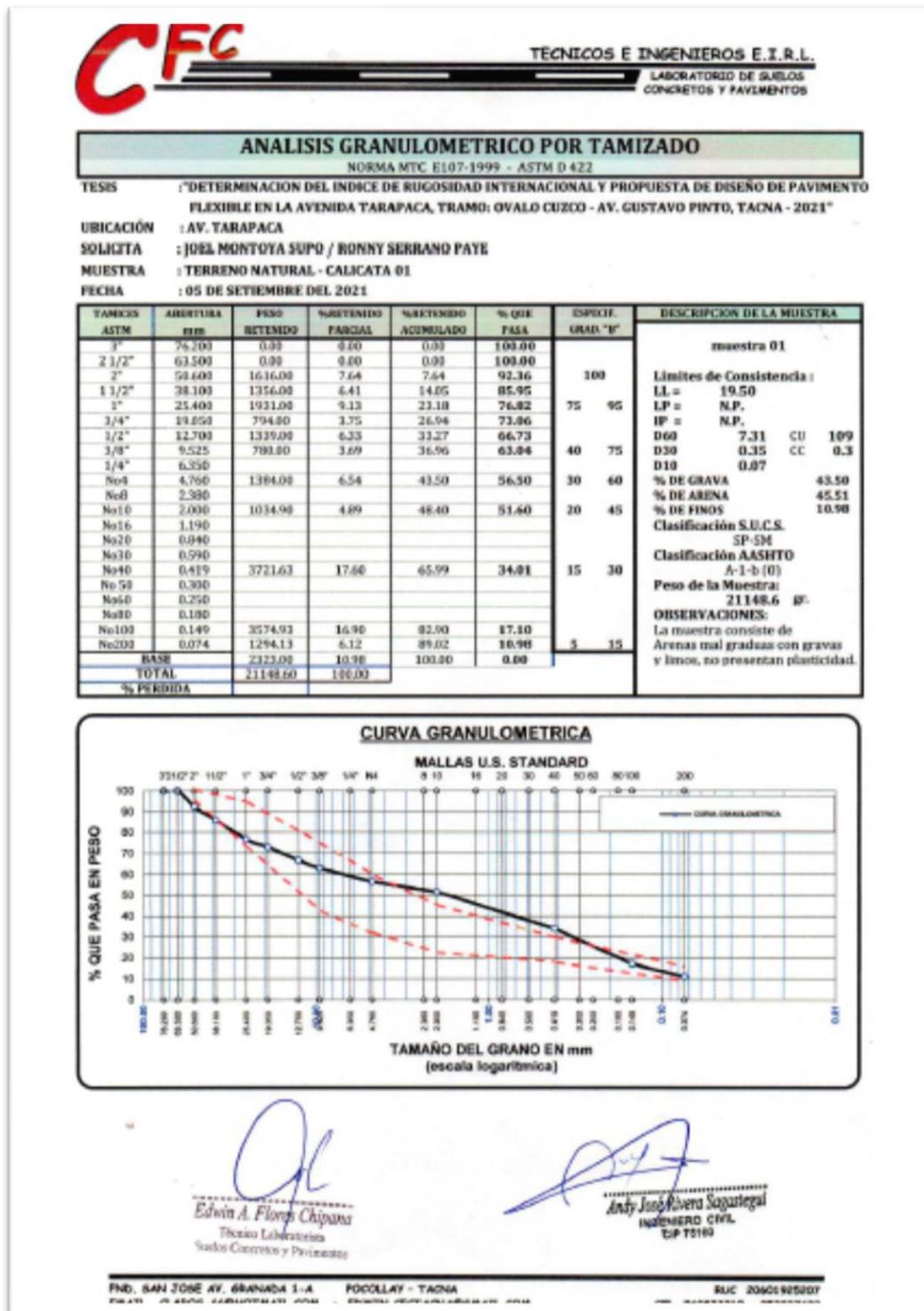
Resultado de IRI:
 RANGO "D": 96,000 mm
 RANGO CORREGIDO "Dcr": 82,560 mm
 RUGOSIDAD IRI: 4.48 m/Km

Observaciones:



El IRI en el carril izquierdo tramo V es de 4.48 m/km.

Anexo 3. Estudio de suelos - CBR





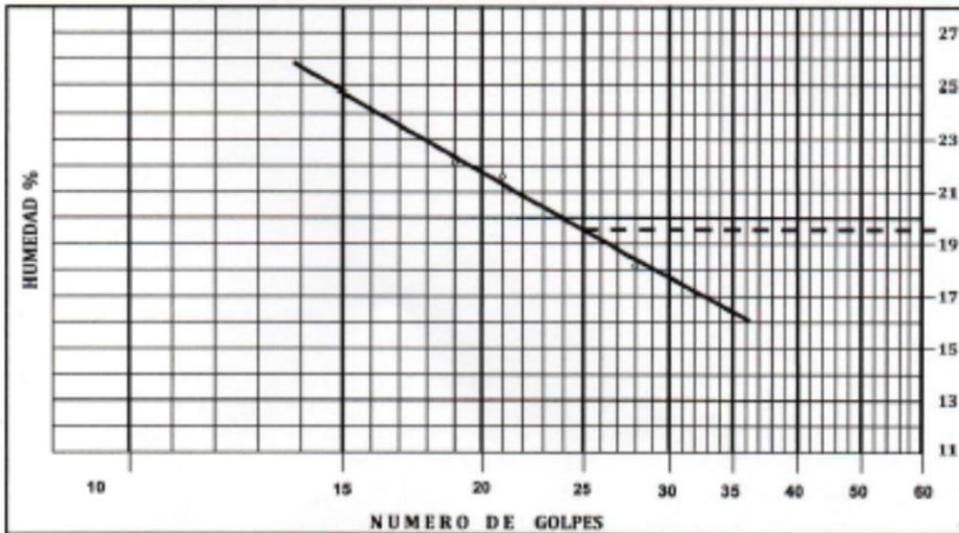
TECNICOS E INGENIEROS E.I.R.L.
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

LIMITES DE ATTERBERG

NORMA ASTM D-4318

TESIS : "DETERMINACION DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACA, TRAMO: OVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021"
UBICACIÓN : AV. TARAPACA
SOLICITA : JOEL MONTOYA SUPO / RONNY SERRANO PAYE
MUESTRA : TERRENO NATURAL - CALICATA 01
FECHA : 05 DE SETIEMBRE DEL 2021

DESCRIPCION	UNID.	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
		17	21	28			
Nº DE GOLPES		17	21	28			
TARRO Nº		1	3	7			
PESO SUELO HUMEDO + TARA	g.	23.99	26.37	24.85			
PESO SUELO SECO + TARA	g.	22.93	25.14	23.89			
PESO DEL AZEA	g.	1.06	1.23	0.96			
PESO DE LA TARA	g.	18.14	19.42	18.59			
PESO DEL SUELO SECO	g.	4.79	5.72	5.30			
HUMEDAD	%	22.13	21.50	18.11			
L.L:	19.50 %	L.P: N.P.			I.P: N.P.		



OBSERVACIONES:


Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorio
Suelos Colectivos y Pavimentos


Andy José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 15100

RELACION DENSIDAD/HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO)

NORMA ASTM D 1557 / METODO C

TESIS : "DETERMINACION DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACA, TRAMO: OVALO CRUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021"

UBICACIÓN : AV. TARAPACA

SOLICITA : JOEL MONTOYA SUPO / RONNY SERRANO PAYE

MUESTRA : TERRENO NATURAL - CALICATA 01

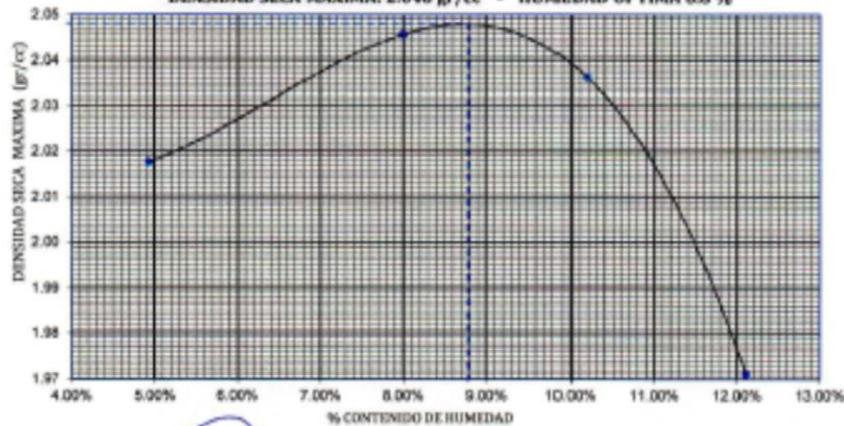
FECHA : 05 DE SETIEMBRE DEL 2021

MOLDE No 01	DIAMETRO MOLDE	6"	VOLUMEN DEL MOLDE	2118.70	cc
	No DE CAPAS	5	GOLPES POR CAPA	56	

Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	9605	9801	9874	9802
Peso del Molde	gr.	5120	5120	5120	5120
Peso del Suelo Humedo	gr/cc	4485	4681	4754	4682
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	2.117	2.209	2.244	2.210

Capas No	No	1	2	3	4
Suelo Humedo + Tara	gr.	7144	7821	7839	5560
Peso del Suelo Seco + Tara	gr.	7076	6923	6915	5334
Peso del Agua	gr.	68	98	124	226
Peso de la Tara	gr.	5698	5698	5698	3467
Peso del Suelo Seco	gr.	1378	1225	1217	1867
% de Humedad	%	4.93%	8.00%	10.19%	12.10%
Densidad del Suelo Seco	%	2.018	2.046	2.036	1.971

DENSIDAD SECA MAXIMA: 2.048 gr/cc - HUMEDAD OPTIMA 8.8 %



Edwin Flores Céspedes
Técnico Laboratorio
Suelos, Concretos y Pavimentos

Arday José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 75180



TECNICOS E INGENIEROS E.I.R.L.
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE CBR.

METODO ASTM D-1583

TESIS : "DETERMINACION DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACA, TRAMO: OVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021"

UBICACION : AV. TARAPACA

SOLICITA : JOEL MONTOYA SUPO / RONNY SERRANO PAYE

MUESTRA : TERRENO NATURAL - CALICATA 01

FECHA : 05 DE SETIEMBRE DEL 2021

MOLDE Nro.	1	2	3
Nro. GOLPES POR CAPA	12	25	56
COND. DE LA MUESTRA	SATURADA	SATURADA	SATURADA
Peso molde + suelo humedo	11001	10172	11735
Peso del Molde	6637	5539	6933
Peso del Suelo humedo	4364	4633	4802
Volumen del Suelo	2159.4	2159.4	2149.9
Densidad humeda	2.021	2.146	2.235
% de humedad	8.88	8.93	8.96
Densidad seca	1.856	1.979	2.051
Tara Nro.	T-3	T-2	T-3
Tara + suelo humedo	450.2	468.5	432.9
Tara + suelo seco	413.5	430.1	397.3
Peso del agua	36.7	38.4	35.6
Peso de tara	0.0	0.0	0.0
Peso del suelo seco	413.5	430.1	397.3
% de humedad	8.88	8.93	8.96

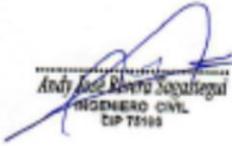
EXPANSION

DIAS	HORAS	EXPANSION			EXPANSION			EXPANSION		
		LECTURA DIAL	mm.	%	LECTURA DIAL	mm.	%	LECTURA DIAL	mm.	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
1	24	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
2	48	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
3	72	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00
4	96	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00

PENETRACION

PENETRACION mm.	pulg.	MOLDE Nro:			MOLDE Nro:			MOLDE Nro:		
		LECTURA DIAL	CORRECCION Libras	lbs/Pg2	LECTURA DIAL	CORRECCION Libras	lbs/Pg2	LECTURA DIAL	CORRECCION Libras	lbs/Pg2
0	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.64	0.025	54	119	40	85	187	62	105	231	77
1.27	0.050	125	276	92	215	474	158	301	664	221
1.91	0.075	184	406	135	356	785	262	558	1230	410
2.54	0.100	294	648	216	501	1105	368	815	1797	599
5.00	0.200	615	1356	452	1105	2436	812	1795	3759	1253
7.62	0.300	788	1737	579	1384	3051	1017	2054	4528	1509
10.16	0.400									
12.70	0.500									


Edwin A. Flores Chispasa
Técnico Laboratorio
Suelos, Concreto y Pavimentación


Andy José Rivera Sotomayor
INGENIERO CIVIL
EP 75183

RND: SAN JOSE AV. GRANADA 1-A POCOLLAY - TACNA

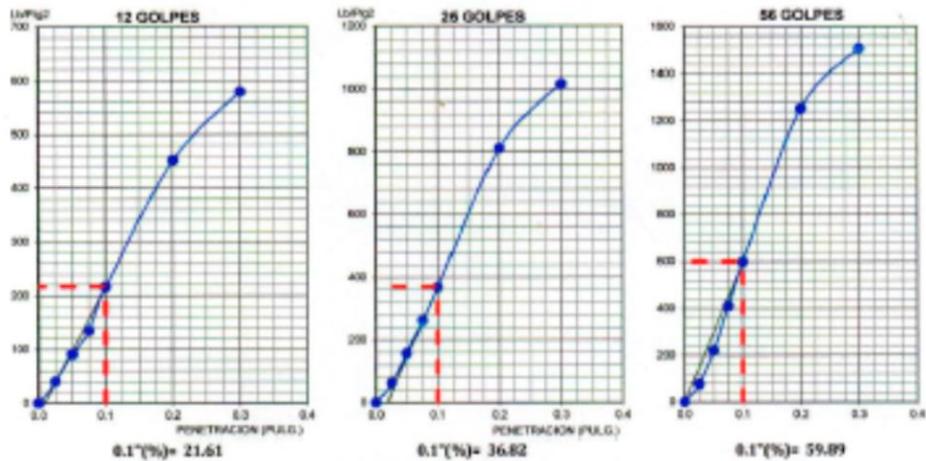
RUC 20601925207



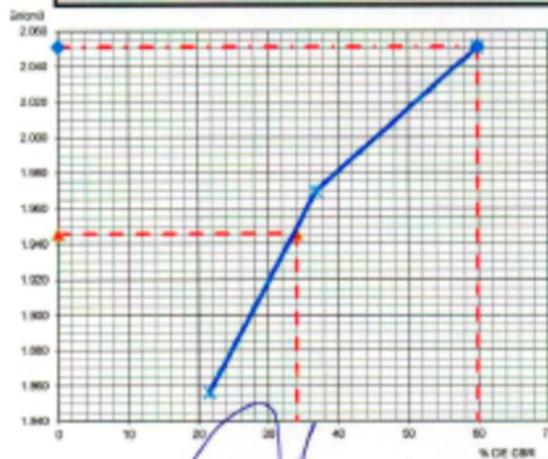
TECNICOS E INGENIEROS E.I.R.L.
LABORATORIO DE SUBOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

GRAFICO PENETRACION DE CBR

TESIS : "DETERMINACION DEL INDICE DE RIGIDIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACA, TRAMO: OVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021"
UBICACIÓN : AV. TARAPACA
SOLICITA : JOEL MONTOYA SUPO / BONNY SERRANO PAYE
MUESTRA : TERRENO NATURAL - CALICATA 01
FECHA : 05 DE SEPTIEMBRE DEL 2021



DETERMINACION DE CBR



Datos de Proctor:

Densidad seca :	2.048	gr/cc.
Optimo humedad:	8.8	%

CBR A 0.1"	34%	AL 95% MDS
CBR A 0.1"	60%	AL 100% MDS

Edwin A. Flores Chipana
Título Laboratorio
Subos Concretos y Pavimentos

Andrés Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
DIP 78186



TÉCNICOS E INGENIEROS E.I.R.L.

LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL

NORMA ASTM D 2216

TESIS : "DETERMINACION DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACA, TRAMO: OVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021"
UBICACIÓN : AV. TARAPACA
SOLICITA : JOEL MONTOYA SUPO / RONNY SERRANO PAYE
MUESTRA : TERRENO NATURAL - CALICATA 01
FECHA : 05 DE SETIEMBRE DEL 2021

CALICATA 01			
MUESTRA N°		ESTRATO N° 2	
Recipiente N°		1	2
Peso del recipiente	gr.	0.0	0.0
Peso del recipiente + la muestra húmeda	gr.	1,584.6	1,826.9
Peso del recipiente + la muestra seca	gr.	1,526.2	1,757.6
Peso del Agua	gr.	58.4	69.3
Peso de la muestra seca neta	gr.	1,526.2	1,757.6
Porcentaje de humedad	%	3.83	3.94
Promedio	%	3.88	


 Edwin A. Flores Chipana
 Técnico Laboratorio
 Suelos Concretos y Pavimentos


 Andy José Rivera Sagastegui
 INGENIERO CIVIL
 CIP 16180



TECNICOS E INGENIEROS E.I.R.L.
LABORATORIO DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

PERFIL ESTRATIGRAFICO

TESIS : "DETERMINACION DEL INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA AVENIDA TARAPACA, TRAMO: OVALO CUZCO - AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021"
UBICACIÓN : AV. TARAPACA
SOLICITA : JOEL MONTOYA SUPO / RONNY SERRANO PAYE
FECHA : 05 DE SEPTIEMBRE DEL 2021

CALICATA Nº 01

PERFORACION A CIELO ABIERTO	CLASIFICACION		SIMBOLOGIA	CLASIFICACION		CONSTANTES FISICAS			% FAMA MALLA Nº 200
	MUESTRA			AASHTO	USCS	L.L.	L.P.	L.P.	
0.0 CM									
10 CM									
20 CM									
30 CM									
40 CM									
50 CM									
60 CM	N-01	ARENAS MAL GRADUADAS CON GRAVAS Y LIMOS, NO PRESENTAN PLASTICIDAD.		A-2-4 (U)	SP-SM	19.50	N.P.	N.P.	10.90
70 CM									
80 CM									
90 CM									
100 CM									

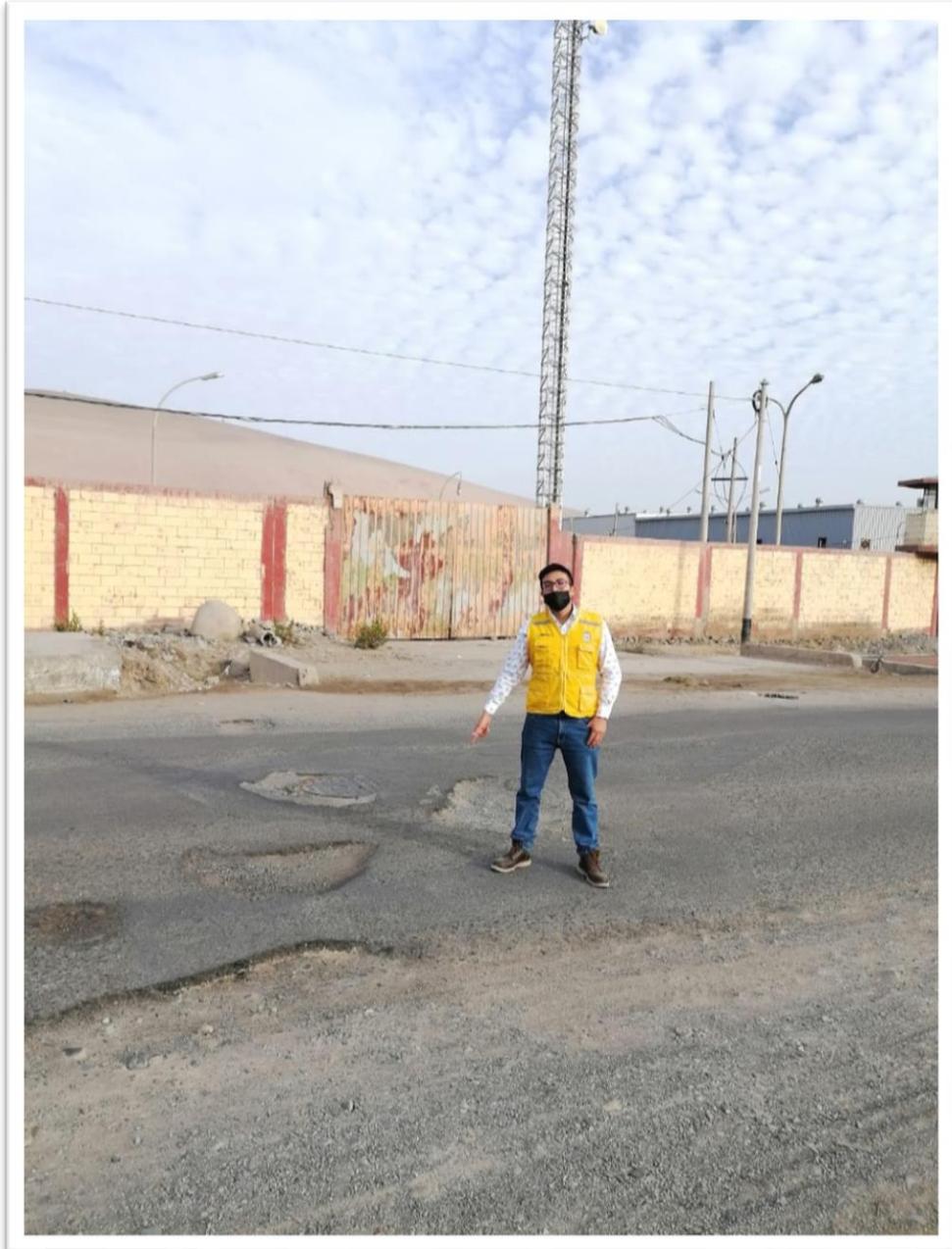
Edwin A. Flores Chipana
Técnico Laboratorio
Suelos Concretos y Pavimentos

Andy José Rivera Sagastegui
INGENIERO CIVIL
CIP 12180

Anexo 4. Panel Fotográfico



Detección de fallas en el pavimento de la Avenida Tarapacá



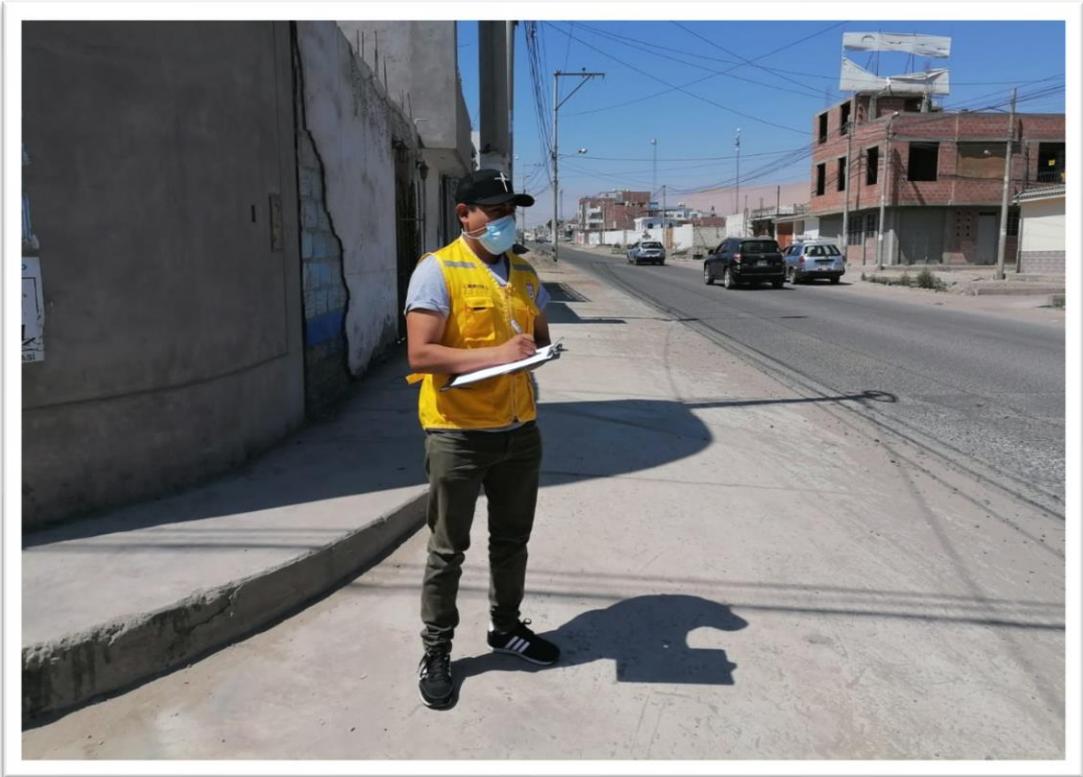
Detección de fallas de tipo estructural en la Avenida Tarapacá



Calibración con las pastillas del equipo Merlin



Extracción de la muestra correspondiente a la calicata C-1



Realización del aforo vehicular de la Avenida Tarapacá con Av. Humboldt



Realización de aforo vehicular en la Avenida Tarapacá con la Av. Pinto.

Anexo 5. Matriz de Consistencia

TÍTULO: “DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. TARAPACÁ, TRAMO: ÓVALO CUZCO – AV. GUSTAVO PINTO, TACNA - 2021”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>1. INTERROGANTE PRINCIPAL</p> <p>¿Cómo la determinación del índice de rugosidad internacional mediante una propuesta de diseño mejoraría las condiciones del pavimento flexible de la Av. Tarapacá, tramo: Óvalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto, Tacna - 2021?</p>	<p>1. OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar el índice de rugosidad internacional y mediante una propuesta de diseño mejorar las condiciones del pavimento flexible en la Av. Tarapacá, Tramo: Óvalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto, Tacna – 2021.</p>	<p>1. HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>La determinación del índice de rugosidad internacional permite favorablemente realizar una propuesta de diseño del pavimento flexible, para mejorar las condiciones en la avenida Tarapacá, tramo: Óvalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto, Tacna – 2021.</p>	<p>Variable Independiente (X)</p> <p>X1. Determinación del Índice de Rugosidad Internacional.</p>	<p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Índice de rugosidad ▪ Transitabilidad en función del IRI ▪ Rugosímetro de MERLIN ▪ Calculo del rango D ▪ Correlación D versus IRI 	<p>Tipo de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aplicada <p>Nivel de la Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descriptiva, Evaluativa <p>Ámbito de Estudio</p> <ul style="list-style-type: none"> - Avenida Tarapacá, tramo: Óvalo Cuzco – Avenida Gustavo Pinto. <p>Población</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vías de la Urbanización los Damascos- Tacna. <p>Muestra</p> <ul style="list-style-type: none"> - Avenida Tarapacá, tramo Óvalo Cuzco – Av. Gustavo Pinto – Longitud 2.4 km <p>Técnicas de Recolección de datos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Observación. - Formato de campo - Reporte del rugosímetro de MERLIN <p>Instrumentos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Odómetro manual - Conos de seguridad - Ficha o formulario de observación para aforos - Guías de observación y formatos de campo - Método del Rugosímetro de MERLIN. - Ábacos y cuadros de diseño Método AASHTO 93. - Hoja electrónica Excel.
<p>2. INTERROGANTES ESPECÍFICAS</p> <p>a) ¿Cómo se determina los parámetros de calidad de rodadura del pavimento flexible, utilizando el rugosímetro de MERLIN en la avenida Tarapacá?</p> <p>b) ¿Cómo una propuesta de diseño del pavimento flexible utilizando el AASHTO 93, mejoraría el índice de rugosidad internacional en la avenida Tarapacá?</p>	<p>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a) Determinar los parámetros de calidad de rodadura del pavimento flexible utilizando el método del rugosímetro de MERLIN en la avenida Tarapacá.</p> <p>b) Proponer un diseño del pavimento flexible mediante el AASHTO 93, para mejorar el índice de rugosidad internacional en la avenida Tarapacá.</p>	<p>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>a) Se determinan los parámetros de calidad de rodadura del pavimento flexible utilizando el método del rugosímetro de MERLIN, cuyos resultados para mejorar la avenida Tarapacá.</p> <p>b) La propuesta de diseño del pavimento flexible mediante el AASHTO 93, logra satisfacer favorablemente el índice de rugosidad internacional en la avenida Tarapacá.</p>	<p>Variable Dependiente (Y)</p> <p>Y1. Propuesta de diseño de pavimento flexible.</p>	<p>Indicadores:</p> <p><u>Metodología AASHTO 93.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • CBR ▪ ESAL de diseño ▪ Confiabilidad ▪ Desviación estándar ▪ Numero estructural ▪ Coeficientes de capa ▪ Coeficientes de drenaje ▪ Espesores mínimos 	