

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



TESIS

**“DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LAS
CONDICIONES DE SERVICIABILIDAD DE LA VÍA ÓVALO
TARAPACÁ HASTA DESVÍO A CALANA, TACNA - 2022”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. ROYER ERICSON ACERO MUSAJA

Bach. ISABEL CAROLINA ROQUE BERNABE

TACNA - PERÚ

2022

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

TESIS

**“DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LAS
CONDICIONES DE SERVICIABILIDAD DE LA VÍA ÓVALO
TARAPACÁ HASTA DESVÍO A CALANA, TACNA - 2022”**

Tesis sustentada y aprobada el 04 de junio del 2022; el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtro. EDGAR HIPOLITO CHAPARRO QUISPE

SECRETARIO : Mtra. ELVIRA ALVARADO AMONES

VOCAL : Mtro. ULIANOV FARFAN KEHUARUCHO

ASESOR : Mtro. ROLANDO GONZALO SALAZAR-CALDERÓN

JUÁREZ

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Royer Ericson Acero Musaja, en calidad de: Bachiller en Ingeniería Civil de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 70664103.

Yo, Isabel Carolina Roque Bernabe, en calidad de: Bachiller en Ingeniería Civil de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 75670196.

Declaramos bajo juramento que:

Somos autores de la tesis titulada: “*Diseño de pavimento flexible para mejorar las condiciones de servicio de la vía óvalo Tarapacá hasta desvío a Calana, Tacna - 2022*” la misma que presentamos para optar: Título Profesional de Ingeniero Civil.

1. 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.
2. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. 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 responsable 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, sometiéndose a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 04 de junio del 2022



Bach. Royer Ericson Acero Musaja

DNI. 71217623



Bach. Isabel Carolina Roque Bernabe

DNI. 75670196

DEDICATORIA

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional y brindarme sus palabras de aliento para cumplir con mis objetivos y no decaer en el camino. A mis hermanas y hermano por escuchar mis problemas y brindarme sus palabras de aliento.

A una docente de la secundaria que me ayudo a vencer mis miedos y dudas de mis capacidades intelectuales, que con sus sabias palabras me motivo a tomar la decisión de no desaprovechar la oportunidad que me brindaba beca 18.

Royer Ericson Acero Musaja

Agradezco a Dios primeramente por haberme otorgado una madre maravillosa a quien con todo mi corazón dedico esta tesis, pues sin ella no lo habría logrado. A mis hermanos Guillermo y Sebastián por siempre apoyarme y darme aliento para poder superarme cada día más.

A mis pequeños Italo y Layra por ser mi fuente de motivación y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

Isabel Carolina Roque Bernabe

AGRADECIMIENTO

Al Programa Nacional de Becas, PRONABEC (BECA 18) por darnos la posibilidad de construir y desarrollarnos como profesionales y así transformar la vida de muchos jóvenes peruanos como nosotros.

Agradecemos a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por compartir sus conocimientos e impartirnos valor al ser un modelo a seguir en nuestra clase de enseñanza.

A nuestro asesor de tesis, Mtro. Rolando Salazar – Calderón Juárez, por instruir con excelencia y disposición, formando parte de esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
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 de la investigación	5
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis	6
1.5.1. Hipótesis general	6
1.5.2. Hipótesis específicas.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes del estudio.....	7
2.1.1. Antecedentes internacionales	7
2.1.2. Antecedentes nacionales	8
2.1.3. Antecedentes locales	10

2.2.	Bases teóricas	11
2.2.1.	Pavimento	11
2.2.2.	Pavimento flexible	11
2.2.3.	Capa de rodadura	12
2.2.4.	Base.....	12
2.2.5.	Subbase.....	12
2.2.6.	Subrasante.....	12
2.2.7.	Serviciabilidad	12
2.2.8.	Evaluación de daños (Método PCI)	13
2.2.8.1.	Formatos de campo.....	15
2.2.9.	Índice de rugosidad internacional (IRI)	16
2.2.10.	Estudio de tráfico	17
2.2.10.1.	Volumen de tránsito.....	18
2.2.10.2.	Índice medio diario, IMD	18
2.2.10.3.	Pesos y medidas máximas permitidas	18
2.2.10.4.	Periodo de diseño.....	22
2.2.10.5.	Carril de diseño.....	22
2.2.10.6.	Cálculo de tasa de crecimiento y proyección	25
2.2.10.7.	Estimación de ESAL	25
2.2.10.8.	Factores de crecimiento acumulado (Fca)	25
2.2.11.	Estudio de mecánica de suelos	27
2.2.11.1.	Ensayos de laboratorio	27
2.2.12.	Metodología AASHTO 93.....	43
2.3.	Definición de términos.....	50
2.3.1.	Serviciabilidad	50
2.3.2.	Evaluación	50
2.3.3.	Conservación vial.....	50
2.3.4.	Desintegración	50
2.3.5.	SUCS	50

2.3.6. Pavimento	50
2.3.7. Superficie de rodadura	51
2.3.8. Fisura	51
2.3.9. Grieta	51
2.3.10. Rehabilitación.....	51
2.3.11. Inventario Vial:	51
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	52
3.1. Tipo y diseño de la investigación.....	52
3.1.1. Tipo de investigación.....	52
3.1.2. Diseño de investigación	52
3.2. Población y/o muestra de estudio	52
3.2.1. Población	52
3.2.2. Muestra	52
3.3. Operacionalización de las variables	53
3.3.1. Variable independiente.....	53
3.3.2. Variable dependiente	53
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	53
3.4.1. Plan de recolección de datos	53
3.4.2. Técnica	54
3.4.3. Instrumentos y equipos	54
3.5. Procesamiento y análisis de datos	54
3.5.1. Definición de calzadas y carriles	55
3.5.2. Evaluación de daños (Método PCI)	57
3.5.3. Estudio de tráfico	67
3.5.3.1. Identificación de tramos	67
3.5.3.2. Conteo y clasificación vehicular	70
3.5.3.3. Metodología.....	71
3.5.3.4. Determinación del factor de corrección.....	71
3.5.4. Estudio de mecánica de suelos	73

3.5.5. Método ASSHTO	76
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	89
4.1. Resultados del primer objetivo específico (Método PCI)	89
4.1.1. Tramo de una calzada.....	89
4.1.2. Tramo doble faja carril izquierdo	93
4.1.3. Tramo doble faja carril derecho	105
4.1.4. Promedio general de PCI	117
4.2. Resultados de tráfico	117
4.2.1. E1 - Óvalo Tarapacá	118
4.2.2. E1.1. - Óvalo Pocollay	121
4.2.3. E2 - Dv. Calana.....	124
4.2.4. Ejes equivalentes (ESAL).....	127
4.3. Resultados estudio de suelos	127
4.3.1. Análisis granulométrico	128
4.3.2. Proctor modificado	133
4.3.3. CBR de suelos	138
4.4. Resultados del espesor de las capas del pavimento - metodología AASHTO 93 148	
4.4.1. Propuesta de diseño de pavimento flexible	148
CONCLUSIONES.....	150
RECOMENDACIONES.....	152
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153
ANEXOS	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escala de índice de serviciabilidad.....	13
Tabla 2. Daños a relevar método PCI	14
Tabla 3. Rangos de clasificación	16
Tabla 4. Valores de IRI (m/km) utilizados internacionalmente.....	17
Tabla 5. Pesos y medidas de buses	19
Tabla 6. Pesos y medidas de camiones.....	19
Tabla 7. Pesos y medidas de camiones de carga y semitrailers	20
Tabla 8. Pesos y medidas camión remolque menor o igual a 4 ejes.....	20
Tabla 9. Pesos y medidas, camión remolque mayor o igual a 5 ejes	21
Tabla 10. Pesos y medidas, tráiler y camión remolque de más de 5 eje	22
Tabla 11. Carril de diseño.....	23
Tabla 12. ESAL (Equivalent single axle load)	24
Tabla 13. Factores de distribución direccional y de carril	24
Tabla 14. Factores de distribución direccional y de carril (Fca).....	26
Tabla 15. Juego de tamices.....	30
Tabla 16. Clasificación de suelos - método AASHTO	33
Tabla 17. Sistema Unificado	36
Tabla 18. Sistema unificado.....	37
Tabla 19. Niveles de confiabilidad para las diferentes carreteras.....	44
Tabla 20. Calidad de drenaje y sub base	46
Tabla 21. Valores de "mi" recomendados	46
Tabla 22. Operacionalización de variables.....	53
Tabla 23. Descripción de Inicio y Fin de las Calzadas	55
Tabla 24. Definición de las Calzadas y Carriles con sus Respectivas Progresivas	55
Tabla 25. Distribución de estaciones	67
Tabla 26. Factor de corrección – peaje Pozo Redondo.....	72
Tabla 27. Factor de corrección – peaje Pozo Redondo.....	72
Tabla 28. Resumen de ESAL por estaciones.....	76
Tabla 29. Nivel de confiabilidad	77
Tabla 30. Desviación normal estándar (ZR).....	77
Tabla 31. Calidad de drenaje y el porcentaje del tiempo.....	81
Tabla 32. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.....	81
Tabla 33. Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular	84
Tabla 34. Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular	86

Tabla 35. Resumen de cuantificación carril izquierdo – sentido descendente.....	89
Tabla 36. PCI carril izquierdo – sentido descendente	90
Tabla 37. Resumen de cuantificación carril derecho – sentido ascendente	91
Tabla 38. PCI carril derecho – sentido ascendente.....	92
Tabla 39. Resumen de cuantificación faja 1 (carril izquierdo)	93
Tabla 40. PCI faja 1 (carril izquierdo).....	94
Tabla 41. Resumen de cuantificación faja 2 (carril izquierdo)	99
Tabla 42. PCI faja 2 (carril izquierdo).....	100
Tabla 43. Resumen de cuantificación faja 1 (carril derecho).....	105
Tabla 44. PCI faja 1 (carril derecho)	106
Tabla 45. Resumen de cuantificación faja 2 (carril derecho).....	111
Tabla 46. PCI Faja 2 (Carril Derecho).....	112
Tabla 47. PCI promedio total de la vía	117
Tabla 48. IMDA E1 - Óvalo Tarapacá	118
Tabla 49. IMDA E1.1. - Óvalo Pocollay	121
Tabla 50. IMDA E2 - Dv. Calana	124
Tabla 51. Cuadro resumen de ejes equivalentes (ESAL).....	127
Tabla 52. Resumen para la obtención del SNR	148
Tabla 53. Resultado de espesores del pavimento.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vía Óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, L= 14 Km	3
Figura 2. Inicio de la zona de investigación KM 0, Óvalo Tarapacá	3
Figura 3. Final de la zona de investigación KM 14, Desvío de Calana.	4
Figura 4 Formato 01 de campo.....	15
Figura 5. Carril de diseño.....	23
Figura 6. Carta de plasticidad SUCS	36
Figura 7. Signos convencionales para perfil de calcatas – Clasificación SUCS	38
Figura 8. Equipo del CBR.	41
Figura 9. Grafica para hallar a1	48
Figura 10. Variación del coeficiente de capa de base granular, a2	48
Figura 11. Variación del coeficiente de capa sub base granular, a3	49
Figura 12. Nomograma de diseño para pavimentos flexibles.....	49
Figura 13. Escenario 1, representa 2 carriles, 1 por sentido	56
Figura 14. Escenario 2 y 3, representa 4 carriles, 2 por sentido.....	56
Figura 15. Grietas longitudinales	57
Figura 16. Piel de cocodrilo y desprendimiento de agregados	58
Figura 17. Ahuellamiento	58
Figura 18. Reparaciones o parchados	59
Figura 19. Parchado y desprendimiento de agregados.....	59
Figura 20. Desprendimiento de agregados	60
Figura 21. Abultamiento.....	60
Figura 22. Grietas transversales	61
Figura 23. Desprendimiento de agregados	61
Figura 24. Piel de cocodrilo	62
Figura 25. Desprendimiento de agregados	62
Figura 26. Pulimiento de agregados	63
Figura 27. Pulimiento de agregados	63
Figura 28. Piel de cocodrilo	64
Figura 29. Piel de cocodrilo	64
Figura 30. Grietas longitudinales	65
Figura 31. Grietas longitudinales	65
Figura 32. Agrietamiento en bloque	66
Figura 33. Fisuras transversales.....	66
Figura 34. Bache	67
Figura 35. Estación E1.....	68

Figura 36. Estación E1.1.....	68
Figura 37. Estación E2.....	69
Figura 38. Sentido de direccionalidad	69
Figura 39. Ubicación de las estaciones de conteo vehicular	70
Figura 40. Calicata C-01	73
Figura 41. Calicata C-02.....	74
Figura 42. Calicata C-03.....	74
Figura 43. Calicata C-04.....	75
Figura 44. <i>Coefficiente estructural a_1</i>	79
Figura 45. <i>Coefficiente estructural a_2</i>	79
Figura 46. <i>Coefficiente estructural a_3</i>	80
Figura 47. Nomograma ASSHTO 93.....	82
Figura 48. Módulo resiliente para la carpeta asfáltica	83
Figura 49. Cálculo del número estructural para la carpeta asfáltica	83
Figura 50. Módulo resiliente para la base	85
Figura 51. Cálculo del número estructural para la base	85
Figura 52. Cálculo del número estructural para la subbase	87
Figura 53. Composición vehicular E1.....	119
Figura 54. Variación diaria E1	119
Figura 55. Variación horaria E1	120
Figura 56. Composición vehicular E1.1	122
Figura 57. Variación diaria E1.1	122
Figura 58. Variación horaria E1.1.....	123
Figura 59. Composición vehicular E2.....	125
Figura 60. Variación diaria E2.....	125
Figura 61. Variación horaria E2	126
Figura 62. Análisis granulométrico por tamizado para C-01	128
Figura 63. Análisis granulométrico por tamizado para C-02.....	129
Figura 64. Análisis granulométrico por tamizado para C-03.....	130
Figura 65. Análisis granulométrico por tamizado para C-04.....	131
Figura 66. Análisis granulométrico por tamizado para C-05.....	132
Figura 67. Ensayo de compactación Proctor modificado para C-01	133
Figura 68. Ensayo de compactación Proctor modificado para C-02.....	134
Figura 69. Ensayo de compactación Proctor modificado para C-03.....	135
Figura 70. Ensayo de compactación Proctor modificado para C-04.....	136
Figura 71. Ensayo de compactación Proctor modificado para C-05.....	137

Figura 72. Ensayo de CBR para C-01.....	138
Figura 73. Cálculo del CBR para C-01.....	139
Figura 74. Ensayo de CBR para C-02.....	140
Figura 75. Cálculo del CBR para C-02.....	141
Figura 76. Ensayo de CBR para C-03.....	142
Figura 77. Cálculo del CBR para C-03.....	143
Figura 78. Ensayo de CBR para C-04.....	144
Figura 79. Cálculo del CBR para C-04.....	145
Figura 80. Ensayo de CBR para C-05.....	146
Figura 81. Cálculo del CBR para C-05.....	147
Figura 82. Capas del diseño de pavimento.....	149

RESUMEN

La presente tesis titulada “Diseño de pavimento flexible para mejorar las condiciones de serviciabilidad de la Vía Óvalo Tarapacá hasta Desvío a Calana, Tacna - 2022”, tiene como objetivo proponer un diseño de pavimento flexible en base a la Guía ASSHTO 93. La metodología para desarrollar esta tesis fue necesario analizar distintos estudios en el área mencionada, tales como estudio de tráfico, mediante fichas de conteo vehicular en la zona de estudio, estudio de mecánica de suelos, del cual se obtuvo el parámetro de CBR y la evaluación del estado de serviciabilidad actual del pavimento según la metodología PCI. Como resultados, se determinó un PCI promedio general de la vía de 45 con una calificación regular, lo cual indica que las condiciones de serviciabilidad actual de la vía Óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana son deficientes, respecto al PCI promedio general de la vía de 45 con una calificación regular es relativo, dado que las longitudes del tramo CD y UC-UD son de 2+289 km y 11+641 km respectivamente, siendo UC-UD con la longitud más larga y con un PCI promedio que varía entre 32 a 43 y siendo con una calificación Malo en un mayor porcentaje y también se observó que en varios sectores a lo largo de la vía se tiene un PCI muy bajo con una calificación de Fallado. Respectos a los parámetros de diseño se obtuvieron: índice medio diario promedio de 18318 vehículos por día, un factor de Cargas Equivalentes por eje (ESAL) de $1,18E+07$ con una proyección de 20 años y un CBR promedio obtenido al 95% de 11%. Finalmente, con los resultados obtenidos y empleando la metodología AASHTO 93, se establecieron las características del pavimento flexible el cual está compuesta por espesores de: Carpeta asfáltica de 6”, la base granular de 7” y la sub base granular de 8”, lo cual mejorara las condiciones de serviciabilidad de la vía, brindando confort a los usuarios.

Palabras clave: Método AASHTO 93, pavimento flexible, condiciones de serviciabilidad.

ABSTRACT

This thesis entitled "Design of flexible pavement to improve the serviceability conditions of the Vía Óvalo Tarapacá to Desvío a Calana, Tacna - 2022", aims to propose a flexible pavement design based on the AASHTO 93 Guide. The methodology for to develop this thesis, it was necessary to analyze different studies in the aforementioned area, such as a traffic study, through vehicle count cards in the study area, a soil mechanics study, from which the CBR parameter was obtained and the evaluation of the state of current serviceability of the pavement according to the PCI methodology. As a result, a general average PCI of the road of 45 with a regular rating was determined, which indicates that the current serviceability conditions of the Óvalo Tarapacá road up to the Calana detour are deficient, with respect to the general average PCI of the road. 45 with a regular rating is relative, given that the lengths of the CD and UC-UD section are 2+289 km and 11+641 km respectively, with UC-UD having the longest length and with an average PCI that varies between 32 to 43 and being with a Bad rating in a higher percentage and it was also observed that in several sectors along the road there is a very low PCI with a Failed rating. Regarding the design parameters, the following were obtained: average daily rate of 18,318 vehicles per day, an Equivalent Axle Load factor (ESAL) of $1.18E+07$ with a projection of 20 years and an average CBR obtained at 95% of 11 %. Finally, with the results obtained and using the AASHTO 93 methodology, the characteristics of the flexible pavement were established, which is composed of thicknesses of: 6" asphalt layer, the 7" granular base and the 8" granular sub-base, which which will improve the serviceability conditions of the road, providing comfort to users.

Keywords: AASHTO 93 method, flexible pavement, serviceability conditions.

INTRODUCCIÓN

Las vías de transporte en la ciudad de Tacna, promueven el desarrollo e integración, sin embargo, si no cuentan con un mantenimiento adecuado ni control de las patologías presentes en la infraestructura vial, va presentando deficiencia que limita su función. El tramo del Ovalo Tarapacá hasta el desvío a Calana involucra 3 principales avenidas como la Av. Collpa, Av. Circunvalación Sur las cuales se encuentran dentro del distrito de Tacna y Av. Celestino Vargas, que corresponde al distrito de Pocollay.

Es preciso mencionar que, en la estructuración de Anillos viales de Integración, la Av. Collpa y la Av. Circunvalación Sur se encuentran dentro del anillo vial N°03 (Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia De Tacna 2015 – 2025, Pág.170). Asimismo, la Av. Celestino Vargas, se encuentra dentro de los ejes de integración y articulación funcional, uniendo los Distritos de Palca, Pachía, Calana, Pocollay y el Valle Viejo Tacna. (Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia De Tacna 2015 – 2025, Pág. 77). Siendo así de considerable importancia para la Provincia de Tacna

El problema principal de la vía en cuestión es la condición actual de serviciabilidad, que afecta la accesibilidad, donde se considera esencial un diseño de pavimento apropiado con factores de vida útil apropiados; Por tal motivo, el diseño del pavimento flexible se realiza de acuerdo a la metodología AASHTO (1993).

Este trabajo de investigación presenta:

Capítulo I: Se expone el planteamiento de la investigación, planteamiento y formulación del problema, objetivo general, específico y la justificación.

Capítulo II: Se presentan los aspectos del marco teórico, teniendo en cuenta distintas metodologías que nos presentan los libros, tesis, entre otros para elaborar la investigación, así como los antecedentes nacionales e internacionales.

Capítulo III: Se desarrolla la metodología de la investigación, de acuerdo a los lineamientos de la investigación científica.

Capítulo IV: Se muestra los resultados e interpretación

Capítulo V: Se formula las discusiones, conclusiones, recomendaciones. Se considera también exponer las referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El transporte es un factor influyente que facilita el desplazamiento, asegura la accesibilidad a los territorios y tiene una importancia considerable en el desarrollo económico y social del país, tanto en las zonas urbanas como en las rurales. Por lo tanto, es necesario implementar una buena planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento del sistema de transporte en la construcción de pavimentos, sin embargo, no se garantiza que al paso del tiempo exista dificultad e inconvenientes. Actualmente, como las carreteras se utilizan para el transporte de personas y mercancías, muestran signos de deterioro, y si la red vial no se mantiene adecuadamente, el deterioro del pavimento puede ser extremo, pudiendo requerir una restauración o reconstrucción, parcial o total en relación a la vida útil.

El estado actual del tramo del Óvalo Tarapacá hasta el desvío de Calana, que viene a ser una vía longitudinal con calzadas, de dos carriles por sentido y tiene una longitud aproximada de 14 Km, en la actualidad debido a una alta demanda de transporte público y privado, se encuentra en pésimas condiciones, la vía no permite un buen tránsito, generando molestias a los usuarios de esta importante vía hacia Tacna. El conocimiento del tráfico en esta vía permite conocer el nivel de ocupación y el contexto en el que se encuentra.

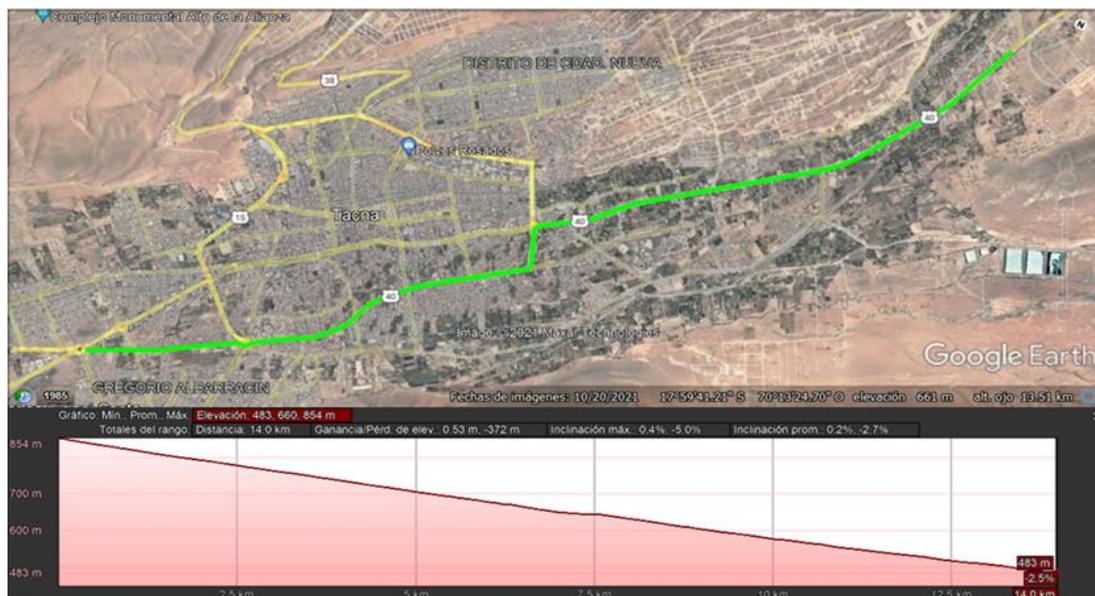
Realizando un análisis de su comportamiento nos permite definir las predisposiciones de incremento y el instante a partir del cual dejará de proporcionar las condiciones de serviciabilidad adecuadas, ante ello surge aumento de la demanda vehicular, la cual a su vez producirá fallas en la carpeta asfáltica, por ser una vía principal de ingreso y salida hacia el distrito de Tacna. Las evidencias se muestran visibles mediante fallas presentes en la carpeta asfáltica como son piel de cocodrilo, desprendimiento de material, peladuras, ahuellamiento, fisuras transversales y longitudinales, entre otros.

Por ello, el trabajo de investigación tuvo como objetivo desarrollar un diseño de pavimento flexible utilizando el enfoque AASHTO 93 para optimizar las condiciones de serviciabilidad y así promover la inclusión de los habitantes de la provincia de Tacna.

La Figura 1 muestra la zona de estudio de una longitud de 14 km, que corresponde a la ruta nacional PE-40.

Figura 1

Vía Óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, L= 14 Km



Nota. Google Earth.

La Figura 2 muestra el hito kilométrico 0, que es el inicio de la zona de investigación.

Figura 2

Inicio de la zona de investigación KM 0, Óvalo Tarapacá



La Figura 3 muestra el hito kilométrico 14, donde finaliza la zona de investigación que está ubicado por el desvío a Calana.

Figura 3

Final de la zona de investigación KM 14, Desvío de Calana



1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera el diseño de pavimento flexible contribuye a la mejora de las condiciones de serviciabilidad de la vía óvalo Tarapacá hasta desvío a Calana, Tacna - 2022?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿En qué condiciones de serviciabilidad se encuentra actualmente la vía óvalo Tarapacá hasta desvío a Calana, Tacna - 2022?
- b. ¿Cuáles son los parámetros necesarios para el diseño de pavimento de la vía óvalo Tarapacá hasta desvío a Calana, Tacna - 2022?

- c. ¿Cuáles son las características que debe tener el pavimento para mejorar las condiciones de serviciabilidad de la vía óvalo Tarapacá hasta desvío a Calana, Tacna - 2022?

1.3. Justificación e importancia de la investigación

La presente investigación nos permite utilizar procesos y metodologías para desarrollar el diseño estructural del pavimento flexible para la vía Óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, metodología práctica, pero con resultados confiables. Por otro lado, indicar que las normas y manuales a usar son de normativa vigente.

El estudio propuesto se basa en la aplicación del Manual AASHTO 93, que es técnicamente reconocido para el diseño de pavimentos flexibles, así como el Estándar de Suelos y Aceras para el cumplimiento de los estudios de suelos y tráfico comunicación, métodos de apoyo a la investigación explican los escenarios que producen bajos niveles de servicio al transitar por dicha vía, afectando así la comodidad y seguridad.

Por tanto, es necesario utilizar normas de circulación vigentes como la norma CE010 de Pavimentos Urbanos y el manual de mantenimiento o conservación vial de carreteras. Las técnicas de investigación, como el procesamiento de información, ayudan a determinar un diseño de pavimento preciso, cuyos resultados de investigación superan la importancia de contribuir a las mejoras propuestas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar el pavimento flexible para la mejora de las condiciones de serviciabilidad en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, Tacna – 2022.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar las condiciones de serviciabilidad actual de la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, Tacna - 2022.
- b. Establecer los parámetros de diseño del pavimento en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, Tacna - 2022.

- c. Establecer las características que debe tener el pavimento flexible para mejorar las condiciones de serviciabilidad en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, Tacna -2022.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

El diseño de pavimento flexible contribuye a mejorar las condiciones de serviciabilidad en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, Tacna - 2022.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a. Las condiciones de serviciabilidad actual de la vía Óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana son deficientes.
- b. Los parámetros de diseño están relacionados a la resistencia al esfuerzo de corte del suelo (CBR) y al índice medio diario (IMD) del pavimento en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana.
- c. La característica como el índice de rugosidad determinada en la vía del pavimento mejora las condiciones de servicio en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Según Díaz M (2021), “Diagnóstico y diseño de pavimento del segmento vial localizado en la calle 17 entre las carreras 55 y 56, localidad de puente Aranda” Una tesis desarrollada por Marlon Díaz Ruiz para el título de Ingeniero Civil de la Universidad Católica de Colombia, propuso tres diseños de pavimentación que podrían implementarse de acuerdo con el tráfico actual y las condiciones globales de pavimentación. Se constató que hubo daños estructurales como grietas, abolladuras, abolladuras y grietas de la “piel de cocodrilo”, así como daños estructurales (mayor porcentaje), manifestándose como principalmente por defectos sintéticos, “ojo de pez”, desaparición del papel adhesivo y pelado. Teniendo en cuenta lo anterior y responder a las necesidades de la comunidad.

Según Salamanca y Zuluaga (2014), “Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos INVIAS, AASHTO 93 e INSTITUTO DEL ASFALTO para la vía Ye - Santa Lucia Barranca Lebrija entre las abscisas k 19 +250 a k 25+750 ubicada en el departamento del Cesar”, el objetivo principal del proyecto, diseñado por María Angélica Salamanca Niño y Santiago Arturo Zuluaga Bautista, fue diseñar una estructura de pavimento flexible con el enfoque Invias para tráfico medio pesado, AASHTO 93 y la vía del Instituto de Plásticos para la calle La Ye - Santa. abscisas K 19 250 A K25 750 está en la división Cesar. Como resultado se llegó a las siguientes conclusiones: El suelo del tramo de 6,5 km de la carretera La Ye-Santa Lucía-Barranca-Lebrija es mayoritariamente arcilloso-calcáreo y arena aluvial. La estructura del pavimento determinada por el método se evalúa con base en un cálculo decenal del pavimento flexible o su equivalencia en el tiempo, hasta apilar un número equivalente de fustes hasta 8.2 toneladas. La estructura de pavimento diseñada para la carretera Ye Santa Lucia Barranca Lebrija puede soportar el movimiento esperado de 0.51 millones de ejes, o 8.2 toneladas en las propiedades arcilla-limo y arena-aluvión, durante el período de diseño de 10 años. a partir de 2014 de acuerdo a los requerimientos de cada método.

Según Conde y Rodríguez (2019), “Diseño de Pavimento Flexible Sector Barrio Ifa a Carretera Nacional en el Municipio de el Guamo Tolima”, desarrollado por Claudia Ximena Conde Restrepo y Alexander Rodríguez Gil, presentaron los

resultados de la prueba de carretera en la comuna de Guama en 2017. Subordina a través de pruebas de laboratorio para diseñar una estructura flexible de la superficie de la carretera en el área de IFA frente a la carretera nacional en Guama- Tolima. Para desarrollar un proyecto, el apoyo del alcalde de la ciudad de Guama ha sido apoyado, a través de la secretaría del plan para proporcionar distribuidores de vehículos dentro de los dos días y dentro de las 24 horas, en las que los cálculos siguen el tipo de vehículo (moto, moto, automóvil, autobús, camión), geotextil, realizado utilizando APIX abierto para determinar importantes propiedades físicas mecánicas la mayor parte de las capas de grano o fugas desde el costado. Para complementar la información recibida, un documento sobre el territorio de la comuna (PBOT Guama 2004), una guía flexible para diseñar la superficie de la carretera para el volumen en movimiento y el método bajo para determinar el espesor de la estructura. Los resultados nos permiten clasificar la investigación mediante el número equivalente de ejes en un proyecto de 15 años, como T1 <150,000 , con una estructura de suelo compuesta por arenas limosas no plásticas o ligeramente plásticas y arenas mal graduadas con presencia de limos, se descartó el potencial expansivo de la subrasante y se establece un CBR de diseño según los ensayos in situ de 3.3% con el que se diseña una estructura de pavimento compuesta de subbase, base ,mezcla asfáltica.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Según Horna J (2021), "Diseño del pavimento de la Av. Tupac Katari, del sector San Luis, distrito de Bagua Grande, provincia de Utcubamba, región Amazonas", desarrollado por Jhosmer Ivan Horna Arévalo, tuvo por finalidad diseñar el pavimento de la Av. Tupac Katari, del sector San Luis para mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal. Este estudio se realizó en un estudio transversal cuantitativo y aplicado, con la muestra de la población total de veredas de la zona de Bagua Grande y Avenida Tupac Katari de la zona de San Luis, ubicadas en la zona de Bagua Grande. Como resultado de los ensayos primarios realizados antes de diseñar la superficie dura, obtuvieron que el terreno de estudio fue un área plana con el uso de 9 BM auxiliares, mientras que, en los ensayos de mecánica de suelos, arcilla con baja plasticidad (CL), índice de plasticidad de 15.75 con una densidad seca máxima de 1.8375 g/cm³, humedad óptima media de 14.32 % y CBR de 7.37 %. Los vehículos IMD 391 y ESSAL 364 196.05 fueron sometidos a las pruebas de tránsito. Finalmente, se encontró que, basado en consideraciones en el área de prueba, un

diseño de pavimento rígido resultó en un espesor final de losa de concreto de 200 mm.

Según Macha R (2019), “Aplicación de metodología AASHTO 93 en diseño de pavimento flexible para optimizar la transitabilidad vehicular en la carretera Talavera – Andahuaylas, región Apurímac”, desarrollado por Macha Zulueta Ricardo Rafael, tuvo como finalidad analizar el pavimento flexible de la autopista en cuestión, analizar los parámetros más importantes que se tienen en cuenta en el método AASHTO 93, determinar el espesor de la estructura del pavimento y destacar las propiedades del proceso abrasivo. El tema elegido para esta tesis es de suma importancia debido a que las dos provincias de Talavera y Andahuaylas en Andahuaylas-Apurímac reclaman ahora la superficie de la carretera Talavera-Andahuaylas para facilitar el transporte de sus productos agrícolas por el bien de su gente. actualmente en el nivel aprobado. Por lo tanto, la tesis propondrá la opción de diseño del pavimento blando AASHTO 93 construido en esta autopista para optimizar el tráfico, promover el comercio y mejorar la calidad de vida de los habitantes de Talavera y Andahuaylas.

Según Huertas y Torres (2020), “Diseño estructural del pavimento flexible para mejorar la transitabilidad tramo 0+000 km – 4+000 km entre Pedregal Chico y Lateral 50 en Tambo grande – Piura. 2020”, desarrollada por Cristian Omar Huertas Mendoza y Diana Carolina Torres Palacios, el mal estado de la Vía Expresa Pedregal-Chico (km 0.000) - Lado 50 (4000 km) fue el problema y un desafío general fue un proyecto de diseño de pavimento no rígido para mejorar la flotabilidad en el tramo 0+00 – 4+000 km entre Pedregal Chico y Party 50 en Tambo Grande. Para ello se utilizó el método AASHTO 93, el cual se aplica en el campo antes mencionado, el cual es un intento en nuestra investigación. La investigación utiliza métodos como la observación y el análisis de documentos, y herramientas como los archivos de documentos que permiten el procesamiento posterior de la información recopilada. Se realizó un levantamiento de terreno para determinar el estado actual del área de levantamiento, de lo que se puede afirmar que actualmente se trata de una autopista, con muchos inconvenientes que impiden el paso de vehículos. De igual forma se realizó un estudio de tránsito para determinar el tipo y número de vehículos que circulan por el terreno para determinar la carga que actúa sobre el pavimento, dando como resultado un ESAL de 23.611.108,85 EE. El método permite las características actuales del área de la plataforma, que realiza 12 calibración, desde las cuales las muestras se transfieren al laboratorio para pruebas apropiadas, determinando el 5.37%de CBR, por lo que es necesario reemplazarlo por 65 cm. El uso del método

de aprendizaje AASHTO 93, se ha determinado el grosor, la persona arrojó la carpeta de asfalto 4. " Base de 6" y suela de 6". Finalmente, se estima el costo y presupuesto de la obra, resultando un posible costo de 2.313.950. 18 dos millones trescientos trece mil novecientos cincuenta 18/100.

2.1.3. Antecedentes locales

Según Serrano y Montoya (2021), "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", desarrollada por Joel Jesús Montoya Supo y Ronny Ricardo Serrano Paye, tuvo como finalidad determinar el índice de rugosidad internacional y adoptar una propuesta de diseño para mejorar la condición elástica del pavimento de la avenida Tarapacá, tramo Ovalo Cusco a la avenida Gustavo Pinto, con base en el método IRI y AASHTO 93. Utilizando la rugosidad MERLIN del metro, la rugosidad se calcula en la banda por 6,08 m/km y en el carril derecho por 6,26 m/km, tomando el IRI medio de la pista de prueba en 6,17 m/km, teniendo en cuenta la superficie como resultado de las pruebas en la condición "POBRE". Luego de obtener los resultados de la condición de la superficie de la carretera, propusieron mejorar la construcción de nueva infraestructura vial mediante el diseño de pavimentos flexibles utilizando el método AASHTO 93, lo que requirió determinar la capacidad de carga vehicular en el sitio y la secuencia de excavación para que se pueda determinar el CBR y Se puede continuar con los cálculos de diseño y finalmente obtener el espesor de la capa asfáltica, subestructura y subestructura haciendo que el pavimento sea más resistente que la demanda automotriz actual en la región.

Según Valverde y Calisaya (2019), "Diseño estructural del pavimento flexible para la carretera Panamericana sur- tramo km 1300+00 a km 1330+00 de la ciudad de Tacna", desarrollada por los Bach. Evert Rubén Valverde Villares y Williams Calisaya Musaja, el objetivo fue diseñar la estructura flexible de la superficie de la carretera para la carretera Panamericana Sur, parte de KM de 1300 00 a Km 1330 00, que es un tipo utilizado con un método cuantitativo para el diseño de la investigación, operación con una muestra de 30 km de prueba de superficie de carretera flexible. La investigación se centra en la investigación en carretera, CBR Land Studio y la estructura estructural de la superficie de la carretera flexible, determinada en promedio diariamente, igual a 800 automóviles por día, el proyecto es el mismo proyecto $4,5 \times 10^6$ CBR, igual a 9.1 %, igual permanentemente igual a

12 603 libras por pulgada cuadrada, el último número de estructura 3.88 tiene el grosor del diseño, la carpeta de asfalto 6 valor de la superficie de la carretera de 73 cm.

Según Pari y Chipana (2019), “Diseño de pavimento flexible por método AASHTO 93 para mejorar la transitabilidad vial en el camino vecinal, tramo Río Seco – límite Calana, distrito de Pocollay, Tacna – 2019”, desarrollada por los Bach. Luis Marlon Chipana Jiménez y Spencer David Pari Jiménez, tuvo como razón principal la implementación de una superficie blanda según el método AASHTO 93, que mejorará la accesibilidad vial de las carreteras locales, incluida la sección del río Seco hasta la frontera con Calana. Se ha estimado y determinado el flujo de automóviles y peatones en la sección adyacente de la carretera, el río poco profundo. Al recopilar datos utilizando el método del Índice Promedio Diario (IMD), establecen el IMD semanal en 114 y el IMD anual en 153 y concluyen que aumentará 62.09% sobre el año base para 2039; De igual forma se realizó la prueba Proctor “A” Modificado y prueba CBR para obtener las propiedades del suelo arrojando un CBR de 12% y un método Proctor Modificado de 1.836% y 11.0% gr. /cm³, respectivamente. Finalmente, con base en los resultados obtenidos, parece posible diseñar un pavimento flexible en una vía adyacente en un tramo de río poco profundo ubicado en el distrito de Pocollay de Tacna.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Pavimento

Estructura formada por una capa de material granular, generalmente estabilizado por un agente externo, y una capa superior de pavimento de diferentes materiales y propiedades, actuando como superficie de rodadura (Manual de Carreteras MTC, 2014, p.331).

2.2.2. Pavimento flexible

Este tipo se caracteriza por estar conformado en la superficie por una capa de material bituminoso o mezcla asfáltica que se apoya sobre capas de material granular, las cuales generalmente van disminuyendo su calidad conforme se acercan más a la subrasante. Esto se debe a que los esfuerzos que se producen por el tránsito van disminuyendo con la profundidad y por razones económicas (Huang, Y. 2004. Pág. 8).

2.2.3. Capa de rodadura

Es la parte superior del pavimento, que puede ser bituminoso (plástico) o de Portland (rígido) o de adoquín, su función es soportar directamente el tráfico (SNIP, 2015, p.13).

2.2.4. Base

Es la capa debajo de la laminación cuya función principal es soportar, distribuir y transmitir las cargas provocadas por el tráfico. Esta capa deberá ser de material drenante granular ($\text{CBR} \geq 80\%$) o revestida con asfalto, cal o cemento (SNIP, 2015, p.13).

2.2.5. Subbase

Es una capa de material de un espesor determinado y está calculada para soportar el contrapiso y la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y para regular la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, estructura y tamaño del pavimento, se puede omitir esta capa. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o revestida de asfalto, cal o cemento (SNIP, 2015, p.13).

2.2.6. Subrasante

Es la superficie de la carretera terminada a nivel de excavación y relleno (excavación y terraplén) sobre la que se ubica el pavimento o estructura de pavimento.

La capa superior del terraplén o la capa inferior de la base excavada en despeje natural soportará la estructura de pavimento consistente en suelos seleccionados con propiedades aceptables y compactados en capas de manera que formen una masa estable en condiciones óptimas, no afectado por las cargas de tráfico de diseño.

Su capacidad de carga en uso, junto con la flotabilidad y las propiedades constructivas de la superficie de la vía, son las principales variables en el diseño del pavimento sobre el que se pavimenta (Manual de Carreteras MTC, 2014).

2.2.7. Serviciabilidad

La serviciabilidad del pavimento es la percepción del usuario sobre el nivel de mantenimiento del pavimento. Por lo tanto, sus opiniones deben tenerse en cuenta

al evaluar la calidad del pavimento. Medir la calidad del pavimento es conceptualmente difícil, porque la evaluación determina si la condición estructural o funcional de su superficie es de interés. Incluso si se resuelve el problema, a menos que se utilicen herramientas o métodos de evaluación estandarizados, los resultados no serán comparables con las mediciones realizadas por otros o entre este rango y el otro.

De acuerdo con los conceptos desarrollados por la unidad de ingeniería de Inspección de Carreteras de AASHTO en 1957, la confiabilidad de las carreteras se evalúa utilizando un parámetro llamado Índice de Serviciabilidad Actual (PSI). El valor PSI se califica en una escala de 0 a 5 como se muestra en la Tabla 1, donde el valor máximo corresponde al estado óptimo (Pomasonco de la Cadena, 2010).

Tabla 1

Escala de Índice de serviciabilidad

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

Nota. La Tabla 1 que muestra el nivel de calidad de acuerdo al índice de serviciabilidad (Guía AASHTO, 1993).

2.2.8. Evaluación de daños (Método PCI)

La metodología de recolección de datos consistió en recorrer la vía caminando y registran todos los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registró en los formatos apropiados (Figura 4) para cada ítem evaluado. La condición superficial del pavimento se determinó mediante el “Procedimiento estándar para la inspección del índice de condición del pavimento en caminos y estacionamientos” (ASTM D6433-03) o mejor conocido como “Método

PCI" (Pavement Condition Index) para carreteras pavimentadas; a través de la inspección visual se puede determinar el estado de la vía en función del tipo, cantidad y gravedad de los defectos existentes.

En el manual del PCI se identifican 19 daños a inventariar, sus características individuales y las severidades que a cada uno le corresponde. En la Tabla 2 se observan los deterioros que pueden presentarse en el pavimento flexible y sus respectivas unidades (Manual PCI, 2002).

Tabla 2

Daños a relevar método PCI

Código	Nombre Falla	Unidad
1	Piel de cocodrilo	m ²
2	Exudación	m ²
3	Agrietamiento en bloque	m ²
4	Abultamientos (Bumps) y Hundimientos (Sags)	m
5	Corrugación	m ²
6	Depresión	m ²
7	Grieta de borde	m
8	Grieta de reflexión de juntas (De losas de concreto)	m
9	Desnivel Carril / Berma	m
10	Grietas Longitudinales y Transversales	m
11	Parcheos	m ²
12	Pulimiento de Agregados	m ²
13	Huecos	Unidades
14	Cruce de vía Férrea	m ²
15	Ahuellamiento (Rutting)	m ²
16	Desplazamiento (Shoving)	m ²
17	Grietas Parabólicas (Slippage Cracking)	m ²
18	Hinchamiento (Swell)	m ²
19	Meteorización / Desprendimiento de agregados	m ²

Nota. Código, Nombres y Unidad de Medición de los daños y/o fallas a revelar según el Método PCI (Manual de Suelos y Geotecnia).

2.2.8.1. Formatos de campo.

La Figura 4 muestra los formatos de campo usados para el relevamiento consisten de plantillas las cuales simulan la calzada en la cual se identifican y dibujan los daños correspondientes de cada muestra.

Figura 4

Formato 01 de campo

RELEVAMIENTO DE FALLAS SUPERFICIALES - MÉTODO PCI (NORMA ASTM D6433)				
PAVIMENTO FLEXIBLE				
1. Fiel de coque (m ²)	5. Corrugación (m ²)	9. Deriva Cantillera (m)	13. Huecos (unidades)	17. Grieta parabólica (m ²)
2. Escudación (m ²)	6. Depresión (m ²)	10. Grieta Longi. y Transversal (m)	14. Cruce de vía forma (m ²)	18. Hinchamiento (m ²)
3. Agrietamiento en Bloque (m ²)	7. Grieta de Bordo (m)	11. Parcheo (m ²)	15. Ahueflamiento (m ²)	19. Desprendimiento de agregados (m ²)
4. Abultamientos y hundimientos (m)	8. Grieta de reflexión de Junta (m)	12. Pulverizado de agregados (m ²)	16. Desplazamiento (m ²)	

TRAMO	
PROG INICIAL	
PROG FINAL	
Unidad	

Nota. Formato de campo para carreteras pavimentadas.

Los cálculos de PCI se basan en los resultados del Inventario visual de seguridad en las aceras, que determina el tipo, la gravedad y el alcance de cada daño. PCI indica la integridad estructural del pavimento y la condición operativa del pavimento.

Como medida numérica, PCI varía de 0 para un caso fallado a 100 para un caso excelente como se muestra en la Tabla 3 (Manual PCI, 2002).

Tabla 3

Rangos de clasificación

Rango	Clasificación-PCI
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Buena
70 – 55	Buena
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 - 0	Fallado

Nota. Rangos de clasificación según Metodología PCI (Manual de Suelos y Geotecnia).

2.2.9. Índice de rugosidad internacional (IRI)

El Índice Internacional de Rugosidad (IRI) es un parámetro estándar que representa las características de rugosidad superficial de un pavimento a partir de una sección longitudinal obtenida mediante la medición de la altura de la calzada. Durante muchos años, el IRI ha sido el índice de rugosidad aceptado mundialmente para determinar la calidad de un suelo en términos de comodidad y conveniencia para el usuario. Al igual que en otros países, el umbral IRI en Colombia ha sido identificado como uno de los criterios más importantes para evaluar el nivel de servicio requerido en las concesiones de vehículos automotores y carreteras de contrato.

El estándar E867 de la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM) define la rugosidad como la desviación de la superficie de la carretera con

respecto al plano que afecta la dinámica del vehículo, la calidad de conducción, las cargas dinámicas y el sistema de escape del país. La rugosidad también se puede definir como la distorsión de la superficie del pavimento, lo que provoca una aceleración vertical no deseada, lo que contribuye a la incomodidad en la conducción (Perera & Kohn, 2002).

IRI es una medida de la uniformidad de la superficie de la carretera, propuesta por el Banco Mundial como una estadística de rugosidad estándar que cuantifica el efecto de las líneas longitudinales de la carretera en la calidad de rodadura, expresada en metros por metro cuadrado por kilómetro (Sayers y Karamihas, 1998).

Escalas y características del IRI

Se presenta en unidades de mm/m, m/km o pulgadas/milla y también varía de 0 a 20 m/km o de 0 a 126 pulgadas/milla m/km lo que significa casi imposible de manejar. La Tabla 4 muestra las escalas y características utilizados en distintos países.

Tabla 4

Valores de IRI (m/km) utilizados internacionalmente

País	Bueno	Regular	Malo	Rechazo	Recepción
EE, UU	< 2,4	2,4 – 4,7	> 4,7		
España	0-2,5	2,5 – 4,0	> 5,0	2,85	1,85
Chile	0-3,0	3,0 – 3,6	> 4,0	2,50	2,50
Honduras	< 3,5	3,5 – 6,0	> 6,0		
Uruguay	< 3,9	4,0 – 6,0	> 4,6		

Nota. La tabla nos muestra los valores de IRI en m/km (Alvarenga, 2002).

2.2.10. Estudio de tráfico

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2018), en su guía sobre suelos y pavimentos muestra que el estudio de tráfico como tal debe proveer información relacionada al Índice medio diario anual conocido por la abreviatura IMDA, para saber

cuál es la demanda volumétrica actual y también cuál es la clasificación por tipo de vehículo. Para hallar el IMDA es necesario contar con los índices de variación cada mes, información que suele ser brindada por el MTP. El estudio de tráfico está compuesto por muestreos que están orientados al cálculo del IMDA del tramo, en base al conocimiento de las necesidades de transporte existentes de los vehículos en cada sentido de circulación (MTC, 2018).

2.2.10.1. Volumen de tránsito

Se refiere al número de vehículos que pasan por un punto o carril por unidad de tiempo. Su unidad es veh/día; veh/ hora u otros (MTC, 2018).

2.2.10.2. Índice medio diario, IMD

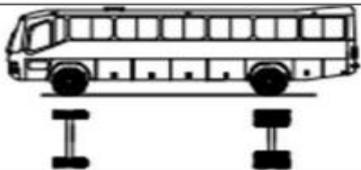
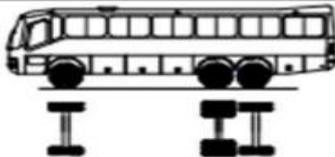
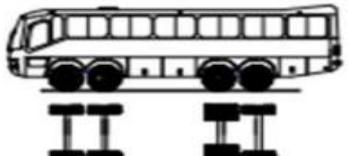
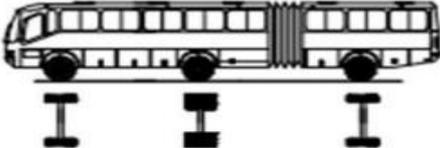
Es el promedio del número de vehículos que pasan por un cierto punto en un tiempo dado según periodo de análisis por ciclo para medición de volumen, puede ser considerado como índice medio diario anual (IMDA), índice medio diario mensual (IMDM) o índice medio diario semanal (IMDS) (MTC, 2018).

2.2.10.3. Pesos y medidas máximas permitidas

La Tabla 5 muestra la descripción grafica de buses según su peso y medida, la Tabla 6 muestra la descripción grafica de camiones según su peso y medida, la Tabla 7 muestra la descripción grafica de camiones de carga pesada y semitrailers según su peso y medida, la Tabla 8 muestra la descripción grafica de camión remolque mayor o igual a 4 ejes según su peso y medida, la Tabla 9 muestra la descripción grafica de camión remolque mayor o igual a 5 ejes según su peso y medida, la Tabla 10 muestra la descripción grafica de camión remolque mayor o igual a 5 ejes según su peso y medida (MTC, 2018).

Tabla 5

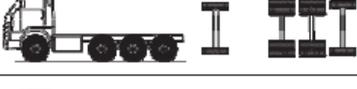
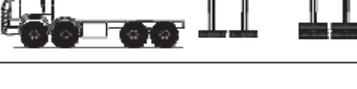
Pesos y medidas de buses

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
B2		13,20	7	11	---	---	---	18
B3-1		14,00	7	16	---	---	---	23
B4-1		15,00	7+7 ⁽¹⁾	16	---	---	---	30
BA-1		18,30	7	11	7	---	---	25

Nota. Reglamento nacional de vehículos MTC (2018).

Tabla 6

Pesos y medidas de camiones

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS										
Nº	Config. vehicular	Nº de ejes	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
					Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
						1º	2º	3º		4º
1	C2	2		12,30	7	11	---	---	---	18
2	C3	3		13,20	7	18	---	---	---	25
3	C4	4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	---	---	---	30
4	8x4	4		13,20	7+7 ⁽¹⁾	18	---	---	---	32

Nota. Reglamento nacional de vehículos MTC (2018).

Tabla 7

Pesos y medidas de camiones de carga y semitrailers

5	T2S1	3		20,50	7	11	11	---	---	29
6	T2S2	4		20,50	7	11	18	---	---	36
7	T2Se2	4		20,50	7	11	11	11	---	40
8	T2S3	5		20,50	7	11	25	---	---	43
9	T2Se3	5		20,50	7	11	11 ^(a)	18	---	48 ^(a)
10	T2Se3-a	5		20,50	7	11	11	11	11	48 ^(a)

Nota. Reglamento nacional de vehículos MTC (2018).**Tabla 8**

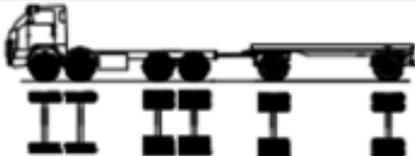
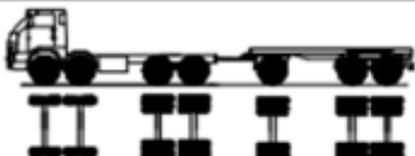
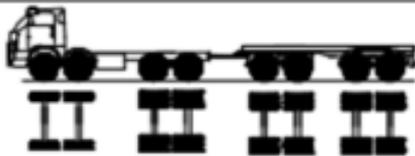
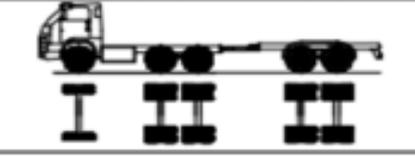
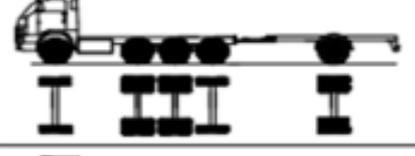
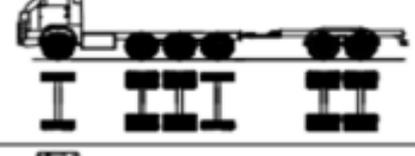
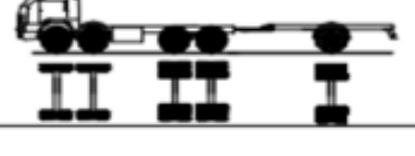
Pesos y medidas camión remolque menor o igual a 4 ejes

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant.	Conjunto de ejes posteriores				
			1º	2º	3º	4º		
C2RB2		20,50	7	11	18	---	---	36
C3RB1		20,50	7	18	11	---	---	36
C2R2		23,00	7	11	11	11	---	40
C2RB1		20,50	7	11	11	---	---	29

Nota. Reglamento nacional de vehículos MTC (2018).

Tabla 9

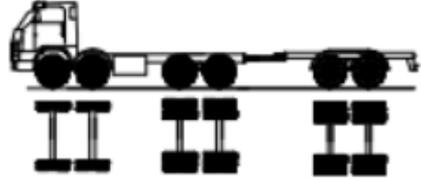
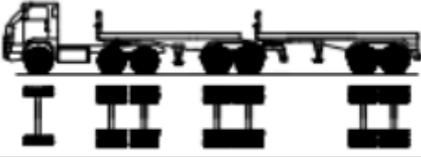
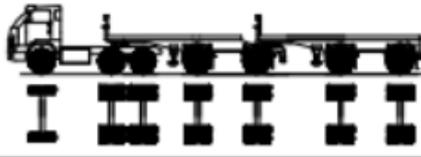
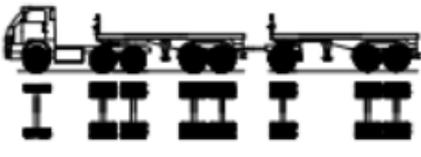
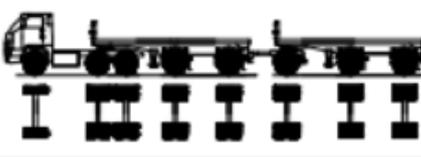
Pesos y medidas, camión remolque mayor o igual a 5 ejes

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1°	2°	3°		4°
C4R2		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	11	---	48 ⁽²⁾
C4R3		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	18	---	48 ⁽²⁾
Bx4R2		23,00	7+7 ⁽²⁾	18	11	11	---	48 ⁽²⁾
Bx4R3		23,00	7+7 ⁽²⁾	18	11	18	---	48 ⁽²⁾
Bx4R4		23,00	7+7 ⁽²⁾	18	18	18	---	48 ⁽²⁾
C3RB2		20,50	7	18	18	---	---	43
C4RB1		20,50	7	23 ⁽¹⁾	11	---	---	41
C4RB2		20,50	7	23 ⁽¹⁾	18	---	---	48
Bx4RB1		20,50	7+7 ⁽²⁾	18	11	---	---	43

Nota. Reglamento nacional de vehículos MTC (2018).

Tabla 10

Pesos y medidas, tráiler y camión remolque de más de 5 eje

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
Bx4 RB2		20,50	7+7 ⁽²⁾	18	18	---	---	48 ⁽²⁾
T3S2 S2		23,00	7	18	18	18	---	48 ⁽²⁾
T3Se2 Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽²⁾	11 + 11 ⁽²⁾	---	48 ⁽²⁾
T3S2 S1S2		23,00	7	18	18	11	18	48 ⁽²⁾
T3Se2 S1Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽²⁾	11	11 + 11 ⁽²⁾	48 ⁽²⁾

Nota. Reglamento nacional de vehículos MTC (2018).

2.2.10.4. Periodo de diseño

Se diseña el pavimento para soportar el impacto acumulativo que tiene el tránsito en un lapso de tiempo determinado. El periodo se calcula en años, a este se conoce como periodo de diseño (AASHTO, 1993).

2.2.10.5. Carril de diseño

Esto corresponde a la cantidad de vehículos que circulan en uno o ambos sentidos, normalmente el tráfico es el mismo en ambos sentidos, en algunos casos podemos notar más tráfico en un sentido que en el otro sentido (Manual de Carreteras MTC, 2014).

La Tabla 11 muestra las recomendaciones del Instituto de asfalto y AASHTO de los porcentajes de camiones en el carril de diseño en función al número de carriles en dos direcciones y la Figura 5 muestra la descripción gráfica del carril de diseño.

Tabla 11

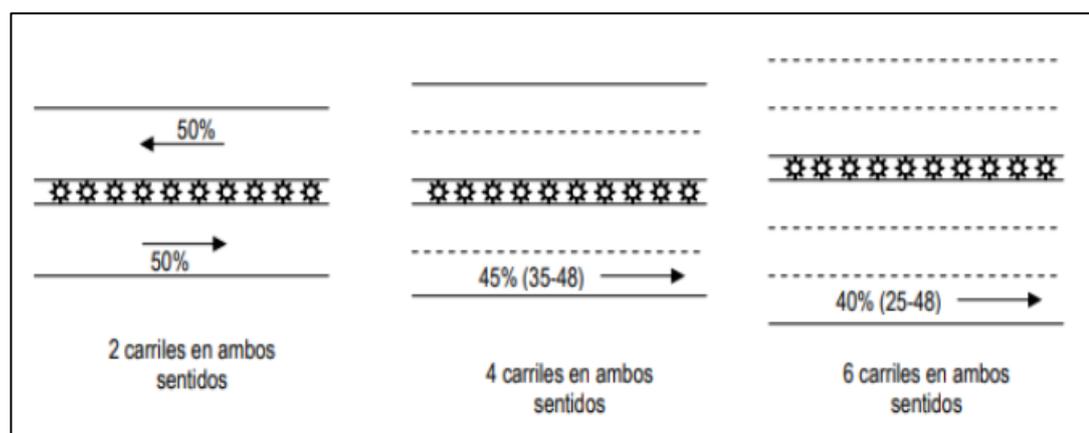
Carril de diseño

N° de carriles (2 direcciones)	% de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45 (35 -48)
6 o más	40 (25-48)

Nota. Adaptado del Instituto del asfalto Manual MS-1 (1991).

Figura 5

Carril de diseño



Nota. Instituto del asfalto Manual MS-1 (1991).

La Tabla 12 muestra el porcentaje de camiones en el carril de diseño en función al número de carriles en una dirección.

AASHTO recomienda que, al contar en ambas direcciones, el coeficiente de dirección debe ser del 50 % y puede oscilar entre el 30 % y el 70 %. El tráfico unidireccional para el carril de diseño recomendado (Instituto del asfalto Manual MS-1, 1991).

Tabla 12*ESAL (Equivalent single axle load)*

N° de carriles en 1 dirección	% de ESAL en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Nota. Adaptado del Instituto del asfalto Manual MS-1, 1991.

La Tabla 13 se utiliza para determinar el tráfico en función del número de carriles en el carril de diseño, que muestra coeficientes de dirección ponderados y coeficientes de carril.

Tabla 13*Factores de distribución direccional y de carril*

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1,00	1,00	1,00
	1 sentido	2	1,00	0,80	0,80
	1 sentido	3	1,00	0,60	0,60
	1 sentido	4	1,00	0,50	0,50
	2 sentidos	1	0,50	1,00	0,50
	2 sentidos	2	0,50	0,80	0,40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0,50	1,00	0,50
	2 sentidos	2	0,50	0,80	0,40
	2 sentidos	3	0,50	0,60	0,30
	2 sentidos	4	0,50	0,50	0,25

Nota. Factores de distribución direccional y de carril en función al número de calzadas (Manual de carreteras MTC, 2014).

2.2.10.6. Cálculo de tasa de crecimiento y proyección

Utilizando fórmulas para determinar el crecimiento del tráfico.

$$T_n = T_0(1 + r)^{n-1} \quad (1)$$

Donde:

$$T_n = \text{Tránsito proyectado al año } n \text{ en } \frac{\text{veh}}{\text{dia}}$$

$$T_0 = \text{Tránsito actual (año base 0) en veh/dia}$$

$$n = \text{Número de años del periodo de diseño}$$

$$r = \text{Tasa anual de crecimiento de tránsito}$$

2.2.10.7. Estimación de ESAL

Después de obtener el número de vehículos en el carril que tomará el diseño y en el tiempo, se utilizará la siguiente fórmula:

$$ESAL = \sum_{i=1}^{i=m} \text{FACTOR CAMION}_i * \text{IMD}_i * \text{Fca} * \text{Fd} * \text{Fc} * 365 \quad (2)$$

2.2.10.8. Factores de crecimiento acumulado (Fca)

$$\text{Factor de crecimiento} = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad (3)$$

Donde:

$$r = \text{Tasa de crecimiento anual, \%}$$

$$n = \text{Periodo de diseño en años}$$

La Tabla 14 muestra los factores de distribución direccional y de carril a considerar según el número de periodo de análisis (el crecimiento acumulado (Fca)).

Tabla 14*Factores de distribución direccional y de carril (Fca)*

Periodo de Análisis (años)	Factor de crecimiento	Tasa anual de crecimiento (r)							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	2,00	2,02	2,03	2,04	2,05	2,06	2,07	2,08	2,10
3	3,00	3,06	3,09	3,12	3,15	3,18	3,21	3,25	3,31
4	4,00	4,12	4,18	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,64
5	5,00	5,20	3,19	5,42	5,53	5,64	5,75	5,87	6,11
6	6,00	6,31	6,47	6,63	6,80	6,98	7,15	7,34	7,72
7	7,00	7,43	7,66	7,90	8,14	8,39	8,65	8,92	9,49
8	8,00	8,58	8,89	9,21	9,55	9,90	10,26	10,64	11,44
9	9,00	9,75	10,16	10,58	11,03	11,49	11,98	12,49	13,58
10	10,00	10,95	11,46	12,01	12,58	13,18	13,82	14,49	15,94
11	11,00	12,17	12,81	13,49	14,21	14,97	15,78	16,65	18,53
12	12,00	13,41	14,19	15,03	15,92	16,87	17,89	18,98	21,38
13	13,00	14,68	15,62	16,63	17,71	18,88	20,14	21,50	24,52
14	14,00	15,97	17,09	18,29	19,16	21,01	22,55	24,21	27,97
15	15,00	17,29	18,60	20,02	21,58	23,28	25,13	30,32	31,77
16	16,00	18,64	20,16	21,82	23,66	25,67	27,89	33,75	35,95
17	17,00	20,01	21,76	23,70	25,84	28,21	30,84	33,75	40,55
18	18,00	21,41	23,41	25,65	28,13	30,91	34,00	37,45	45,60
19	19,00	22,84	25,12	27,67	30,54	33,76	37,38	41,45	51,16
20	20,00	24,30	29,78	29,78	33,06	36,79	41,00	45,76	57,28

Nota. Adaptado del Manual de carreteras MTC (2014).

2.2.11. Estudio de mecánica de suelos

El en Manual de Carreteras MTC (2014), indica que este estudio permite conocer las diversas propiedades físicas y mecánicas y su composición en las capas de la tierra en profundidad; Sin embargo, para la exploración es necesario un reconocimiento de terreno preliminar para identificar los diferentes tipos de suelos que allí se pueden encontrar, lo que ayuda a identificar los cortes (naturales o artificiales), mediante las cuales se pretende identificar alguno de ellos, delimitando las zonas que constan de características similares y las que deberían ser consideradas de riesgo, a fin de realizar el trazo de la vía.

2.2.11.1. Ensayos de laboratorio

a) Contenido de humedad

Se expresa como un porcentaje, que es la relación entre la masa de humedad en la muestra de suelo y la masa de sólidos en la muestra (Manual de Carreteras MTC, 2017).

Este estudio se basa en lo señalado en la NTP 339.127.

Equipos y materiales:

- Horno (105° - 115°C).
- Balanza eléctrica con aprox. al 0.001 gr.
- Espátula.
- Contenedor.

Procedimiento:

- La tara utilizada se pesa en una balanza eléctrica, la cual también es precalibrada y registrada.
- Las muestras tomadas se llenan con un blanco y se pesan.
- Dejar las muestras por lo menos 18 horas o más a una temperatura de 110°C.
- Transcurrido el tiempo de secado, se retiró la muestra y se dejó enfriar a temperatura ambiente.
- Cuando las muestras se enfrían, se pesan y se registran en el registro.
- Finalmente, la fórmula se usa para calcular el contenido de humedad.

Cálculos:

La humedad está determinada por la fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100 \quad (4)$$

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 = \frac{M_W}{M_S} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

W = contenido de humedad (%)

M_{CWS} = peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos

M_{CS} = peso del contenedor mas el suelo secado en horno, en gramos

M_C = peso del contenedor, en gramos

M_W = peso del agua, en gramos

M_S = peso de las partículas sólidas, en gramos

b) Limite Liquido

Es la humedad que exhibe el suelo a medida que pasa de un estado semilíquido y finalmente se comporta como un material plástico (Manual de Carreteras MTC, 2017).

Equipos y materiales:

- Horno (105° - 115°C).
- Balanza eléctrica con aprox. al 0.001 gr.
- Agua destilada.
- Copa Casagrande.
- Acanalador, taras y espátula.
- Recipiente para mesclado.

Procedimiento:

- La muestra se pasa por un tamiz de 40 para obtener unos 250 gr.
- Humedecer la mezcla y mezclar bien con una espátula hasta obtener una mezcla homogénea.
- Vierta un poco de la mezcla en el vaso Casagrande y use un cuchillo para mezclar la superficie.

- Tome la ranura, pásela por el centro y corte la mezcla en dos partes. Luego gire la perilla para contar los golpes donde se junta $\frac{1}{2}$ pulgada de la distancia de mezcla y se toma la muestra.
- Las muestras recolectadas se colocan en el horno de secado; se repite el procedimiento y se toman muestras entre 15-40 golpes.

c) Limite plástico

Es la humedad generada cuando el suelo cambia de un estado plástico a un estado semisólido y es probable que se produzcan grietas (Manual de Carreteras MTC, 2017, p.72).

Equipos y materiales:

- Horno (105° - 115°C).
- Balanza eléctrica con aprox. al 0.001 gr.
- Agua destilada.
- Placa de vidrio.
- Acanalador, taras y espátula.
- Recipiente.

Procedimiento:

- Usamos el material preparado y tomamos unos 20 gramos.
- Amasar la muestra en forma de bola para escurrir la muestra.
- A continuación, amase la esfera en un cilindro sobre una placa de vidrio hasta obtener una esfera con un diámetro de 3,2 mm.
- La prueba comienza a agrietarse y continúa hasta que finalmente se rompe.
- Finalmente, las muestras se colocan en trozos numerados, se pesan y luego se colocan en el horno.

d) Análisis granulométrico

El instrumento utilizado para desarrollar esta prueba son mallas o tamices. Podemos encontrar dos doctrinas que se diferencian claramente en la forma del tamiz: la doctrina germánica y la doctrina norteamericana. El alemán es una hoja de metal con agujeros, mientras que, en América del Norte, la rejilla consiste en hilos de metal dispuestos en una malla.

En la doctrina norteamericana podemos encontrar dos tipos de tamices: Fila de Tyler: donde cada celda tiene el número de divisiones celulares posteriores y su conteo de agujeros se calcula por pulgada lineal. En la serie American Standard: los números establecidos para cada pantalla serán inversamente proporcionales al tamaño de los agujeros.

A través del análisis granulométrico se determinará el grado de distribución del grano; El ensayo consiste en separar la muestra de ensayo por medio de un juego de tamices con orificios de diámetro decreciente (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales ASTM C 136-01).

El método de lavado se aplicará a materiales más pequeños que no puedan ser acomodados por el tamiz 200 (Manual de Carreteras MTC, 2017, p. 94). En cuanto a la prueba de granularidad, se basará en la Norma Técnica Peruana NTP 339.128, 1999. La Tabla 15 muestra los tamices utilizados.

Tabla 15

Juego de tamices

Tamices	Apertura (mm)
3"	75,000
1 1/2"	38,100
3/4"	19,000
3/8"	9,500
N°4	4,760
N°8	2,360
N°16	1,100
N°30	0,590
N°50	0,297
N°100	0,149
N°200	0,075

Nota. Apertura en mm según juego de tamices (Manual de Ensayo de materiales MTC E 107 – ASTM D422).

Equipos y materiales:

- Horno (105° - 115°C).
- Balanza eléctrica con aprox. al 0.001 gr.
- Juego de tamices.
- Recipiente.

Procedimiento:

- Se cuartea el material con una comba elástica y luego se coloca en el horno durante 24 horas.
- Las muestras se sacaron de la estufa, se secaron por 15 min, se pesaron y luego se lavaron con malla 200. El material retenido se devuelve a la estufa, se vuelve a secar y después de retirar y enfriar las muestras, se procede a su secado, obteniendo así el peso del lavado y secado en la estufa.
- Finalmente, el material se coloca en el juego de tamices, se pesa el material restante en cada tamiz y se registran los resultados.

Cálculos:

El porcentaje restante por tamiz se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{Retenido} = \frac{W_{\text{malla}}}{M_1} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

W_{malla} = Peso retenido por malla

M_1 = Peso de la muestra secada al horno

e) Clasificación de suelos

Los suelos con propiedades similares se pueden dividir en grupos y subgrupos. Actualmente existen dos sistemas de clasificación y separación de suelos según plasticidad y granularidad. Los cuales son:

Clasificación AASHTO

El sistema se desarrolló en 1929, tiene una serie de evaluaciones que se han mejorado y modificado por el Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads of the Highway Research Board en 1945 (Braja, 2001). El suelo se divide en dos grupos:

- Suelo grueso con menos del 35% que pasa el tamiz número 200.
- Suelos finos con más del 35% de paso por el tamiz número 200.

De acuerdo con el método se clasifica en 7 grupos (A1 – A7), y 8 subgrupos.

- Índice de grupo (IG)

Los suelos que se comportan parecido los hallamos dentro del mismo grupo. El Índice de Grupo permite conocer la cantidad de suelo y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$(IG) = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd \quad (7)$$

Donde:

a: Lo que pasa en porcentaje que pasa por el tamiz #200 es la grilla más pequeña con valores mínimos de 35% y valor máximo de 75%. Expresado como un número entero (0 a 40)

b: porcentaje de paso por el tamiz #200, con un mínimo de 15% y un máximo de 55%. Se expresa como un número entero (de 0 a 40).

c: La densidad del índice de plasticidad, que consta de un valor mínimo de 10% y un valor máximo de 30%. Se expresa como un número entero (0 a 20). Índice de grupo de 0 a 20 o más.

Cuando un índice agrupado devuelve valores negativos, se establece cero. La Tabla 16 muestra la clasificación del suelo basada en los hallazgos de AASHTO.

Tabla 16*Clasificación de suelos - método AASHTO*

Clasificación General	Materiales Granulares							Materiales Arcillosos			
Grupos	A-1		A3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub grupos	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Porcentaje que pasa por el tamiz											
N°10	50 máx.										
N°40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N°200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min	36 min	36 min	36 min
Características del material que pasa por el tamiz N°40											
Límite Líquido (LI)				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidad (Ip)	0	0	0	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.
Índice de grupo						4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de material	Fragmento de piedra grava o arena		Arena Fina	Grava, arena limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Terreno de Fundación	Excelente a bueno						Regular a deficiente				

Nota. Clasificación general de suelos en grupos y subgrupos (Guía AASHTO).

- **Descripción de los grupos de clasificación**

Materiales granulares

Lo conforma un 35% o menos del material que logra pasar por la red 200.

Grupo A – 1:

Consiste en una mezcla de grava o roca triturada, cemento sin plastificar y arena fina de granulometría fina. El grupo se sub divide en dos:

- **Subgrupo A-1-a:** Materiales constituidos por roca o grava, con o sin material granular fino de buena adherencia.
- **Subpartida A-2-b:** Son materiales constituidos por arena gruesa, que pueden contener o no cemento de grano fino.

Grupo A – 2:

Se compone de varios materiales granulares. Este grupo se divide en subgrupos:

- **Subgrupo A – 2 – 4 y A – 2 – 5,** Está compuesto por materias granulares que pasan por el tamiz N° 200 el 35% o menos.
- **Subgrupo A – 2 – 6 y A – 2 – 7** Estos materiales son similares a las subpartidas A-2-4 y A-2-5 mencionadas anteriormente, excepto que la última parte contiene arcilla plástica.

Materiales arcillosos

Lo que pasa por la rejilla 200 es más del 35%. Incluye los siguientes grupos:

Grupo A – 4:

Consiste en un suelo medio plástico o limoso o pulverulento que pasa por un tamiz de 0,075 mm 75% o más.

Grupo A – 5:

El material que conforma el grupo es similar al del grupo A-5, con la diferencia de que sus propiedades materiales son diatomeas de alto rendimiento o mica.

Grupo A – 6:

Se clasifican en esta partida las materias arcillosas dúctiles, en las que el 75% o más pase por tamiz de 0,075 mm. En este grupo también se encuentran las arcillas de grano fino, y gracias a su malla de 0,075 mm contiene un 64% de arena y grava.

Grupo A – 7:

Los materiales compuestos de este grupo son similares a los del grupo anterior, la única diferencia es que el límite líquido de este grupo es cercano al punto de fusión del grupo A-5, y su ductilidad también es buena. Este grupo incluye los siguientes subgrupos:

- **Subgrupo A – 7 – 5:** su índice de plasticidad es considerado en relación con el límite líquido y es sumamente elástico.
- **Subgrupo A – 7 – 6:** su índice de plasticidad es alto con el límite líquido y puede variar ampliamente en masa.

Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Un sistema introducido por Casagrande en 1942 en aeródromos por ingenieros militares estadounidenses en el apogeo de la Segunda Guerra Mundial. Fue revisado y modificado en 1952 y todavía lo utilizan los ingenieros (Braja, 2001). El sistema divide la tierra en dos categorías:

El primer grupo está formado por suelo arenoso con grava gruesa que pasa por el tamiz número 200 por debajo del 50%. Sus comodines están marcados de la siguiente manera: Grava o suelos gravosos: GW, GC, GP, GM

Arenas o suelos arenosos: SW, SC, SP, SM

En el segundo grupo, encontramos un 50% o más de suelos de grano fino que pasan el tamiz 200. Sus símbolos están marcados de la siguiente manera:

- Limo inorgánico: M
- Arcilla inorgánica: O

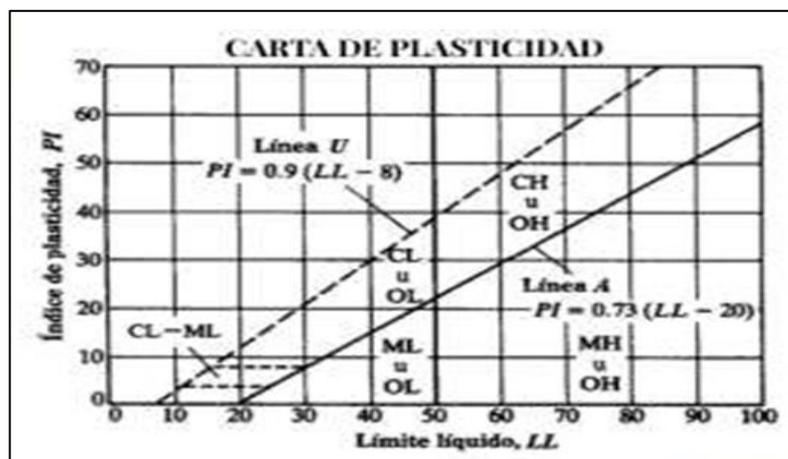
Otros símbolos utilizados:

- W: bien graduado
- P: mal graduado
- L: baja plasticidad ($LL < 50$)
- H: alta plasticidad ($LL > 50$)

La figura 6 a continuación muestra un gráfico para determinar la plasticidad.

Figura 6

Carta de plasticidad SUCS



Nota. Gráfico de la carta de plasticidad en función del índice de plasticidad y el límite líquido (Norma ASTM D2487).

Las tablas 17 y 18 se utilizan para clasificar los suelos según el método SUCS:

Tabla 17

Sistema Unificado

Símbolo de grupo	Criterios
SW	< 5% pasa la malla N°200; $C_u = D_{60}/D_{10} \geq 6$; $C_z = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ entre 1 y 3
SP	< de 5% pasa la malla N°200; no cumple ambos criterios para SW
SM	Más de 12 % pasa la malla N°200; los límites de Atterberg se grafica debajo de la línea A (Figura 2.12); o índice de plasticidad < 4.
SC	Más de 12 % pasa la malla N°200; los límites de Atterberg se grafica debajo de la línea A (Figura 2.12); o índice de plasticidad > 4.
SC - SM	Más de 12 % pasa la malla N°200; los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la figura 2.12.
SW - SM	Porcentaje que pasa la malla N°200 entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM.
SP - SM	Porcentaje que pasa la malla N°200 entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM.
SP - SC	Porcentaje que pasa la malla N°200 entre 5 y 12; cumple los criterios para SW y SM.

Nota. Adaptado de Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (2001).

Tabla 18*Sistema unificado*

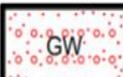
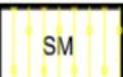
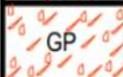
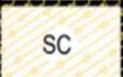
Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico; $LL < 50$; $PI > 7$; se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la figura 2.12)
ML	Inorgánico; $LL < 50$; $PI > 7$; se grafica debajo de la línea A (véase zona ML en la figura 2.12)
OL	Orgánico; (LL- seco en horno) / (LL – sin secar); < 0.75 ; $LL < 50$ (véase zona OL en la figura 2.12)
CH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI ; se grafica sobre o arriba de la línea A (véase zona CH en la figura 2.12)
MH	Inorgánico; $LL \geq 50$; PI ; se grafica debajo de la línea A (véase zona CH en la figura 2.12)
OH	Orgánico; (LL- seco en horno) / (LL – sin secar); < 0.75 ; $LL \geq 50$ (véase zona OH en la figura 2.12)
CL-ML	Inorgánico; se grafica en la zona sombreada en la figura 2.12.
Pt	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

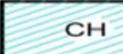
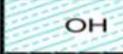
Nota. Criterios para el sistema unificado para suelos limosos y arcillosos. Fundamentos de Ingeniería Geotécnico (2001).

La Figura 7 muestra la descripción de los signos convencionales para el perfil de calcatas según la clasificación SUCS.

Figura 7

Signos convencionales para perfil de calicatas – Clasificación SUCS

	Gravas bien mezcla arena, grava con poco o nada de material fino, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy baja.
	Grava mal graduadas, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arenas arcillosas, mezcla de arena arcillosa.
	Gravas limosas mezclas de gravas arena limosas		Limos orgánicos y arenas muy finos, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas o limos arcillosos con ligera plasticidad.
	Grava arcillosa, mezcla de grava-arena-arcilla, gravas con material fino, cantidad apreciable de material fino.		Arcillas inorgánicas de plasticidad baja, arcillas gravas, arcillas arenosas, arenas limosas, arcillas negras.
	Arena bien graduadas, arena con grava, poco o nada de material fino. Arenas limpias poco o nada, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaño intermedios.		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas, baja plasticidad.
	Arena mal graduadas, con grava, poco o nada de material fino. Arenas limpias poco o nada, un tamaño predominante a una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedias.		Limos inorgánicos suelos finos gravosos o limosos, limos plásticos.

	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad, arcillas gravosas.
	Arcillas orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limos orgánicos.
	Turbe, suelos considerablemente orgánicos.

Nota. Manual de ensayos de materiales, norma MTC E 101.

f) Sales

Es un método de ensayo para la determinación de sales disueltas en aguas subterráneas y suelos. Para adquirir el contenido total de sales disueltas de una muestra de suelo, se puede determinar utilizando una mezcla agua-materia con una relación suelo-agua de 1:5 (NTP 339.152, 2015).

Equipos y materiales:

- Horno (105° - 115°C).
- Balanza eléctrica con aprox. al 0.001 gr.
- Agua destilada.
- Papel de filtro.
- Recipiente.

Procedimiento:

- Pesar 100 g de la muestra de suelo analizada y mezclar con 500 ml de agua destilada.

- Después de mezclar, agitar mecánicamente durante 1 hora y reservar.
- Luego filtramos la muestra, necesitamos papel de filtro y un embudo.
- El resto de la muestra se coloca en un recipiente y luego se coloca en el horno. Finalmente, se pesa la muestra resultante.

Cálculos:

Para los resultados del contenido de sales, usamos la siguiente fórmula:

$$SS = \frac{(m_2 - m_1) \times D}{E} \times 10^6 \quad (8)$$

Donde:

SS = total, de sales solubles, en mg/kg.

$(m_2 - m_1)$ = peso de la diferencia de evaporación, en gr

D = Relación de la mezcla suelo y agua.

E = Volumen de la mezcla acuosa evaporada, en ml.

g) Compactación del suelo (Proctor Modificado)

Nace de Standard Proctor a través del desarrollo de rodillos y su aplicación en compactación. Su propósito es investigar las propiedades de compresión, resistencia y deformación del suelo (ASTM E 155, 2000).

Objetivo:

Este método está diseñado para determinar una relación única entre el peso seco y el contenido de humedad al comprimir una muestra en un molde de 4" a 6" de espesor usando un compactador de 10 libras que se deja caer desde una altura de 18", donde produce una energía de compactación de 56 000 lb-pie/pie³.

Métodos:

Se cuenta con los siguientes métodos:

- Método A: Molde de 4" de espesor. Se utiliza el material que pasa el tamiz N° 4 (25 golpes por capa).
- Método B: Molde de 4" de espesor. Se emplea el material que pasa el tamiz de 3/8" (25 golpes por capa).

- Método C: Molde de 6" de diámetro. Se utiliza el material que pase por un tamiz de ¾" (56 golpes por capa).

Equipos:

- Molde de forma cilíndrica, con un diámetro de 6".
- Pisón de 10 lb (4.54 Kg)
- Balanza.
- Horno, para una temperatura de más o menos 110 °C.

Procedimiento:

- Para el método A se toma una muestra, previamente se seca al aire, se utiliza una muestra de 15 kg, y se tamiza por el tamiz número 4.
- Mezclar la muestra con 2% de agua para que se hidrate toda la muestra.
- La muestra se compacta en 5 capas, cada capa son 25 golpes, esta cantidad de muestra debe distribuirse uniformemente en toda la superficie de compactación.

Cálculos:

Después de compactar la capa final, se retira el manguito, cerrando los espacios restantes en la superficie compactada.

El resultado es el peso del molde más una muestra, y la muestra se extrae del interior del molde para determinar el contenido de humedad. Cuando se conocen el volumen y la masa de la muestra y el contenido de humedad (W), el punto de la curva de compresión se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad Humeda} = \frac{W_{\text{MOLDE+SUELO}} - W_{\text{SUELO}}}{\text{Volumen de molde}} \quad (9)$$

$$\text{Densidad Seca} = \frac{\text{Densidad Humeda}}{(1+W)} \quad (10)$$

h) CBR

Determina el índice de estabilidad del suelo. El ensayo fue desarrollado en suelo con una densidad y relación de humedad específicas; se puede obtener como con muestras de suelo intactas (Manual de Materiales de Ensayo MTC, 2016).

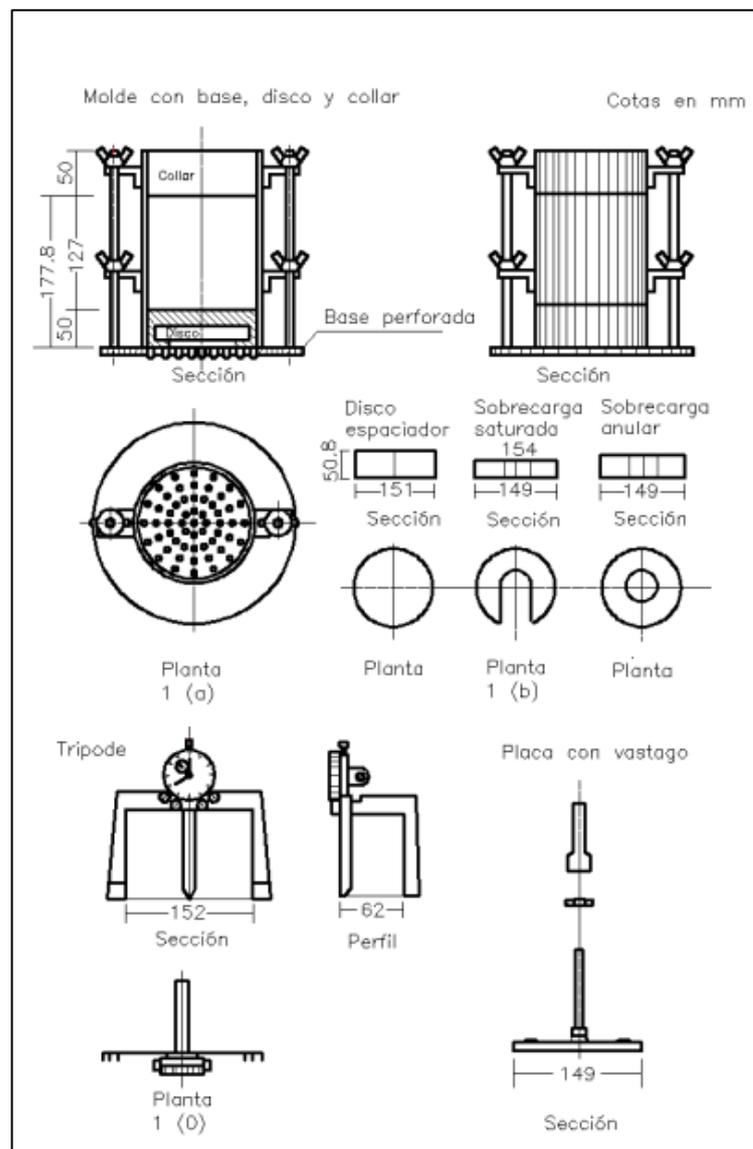
Equipos y materiales:

Compactación

- Molde de tipo cilíndrico, con un diámetro de 6".
- Molde metálico, que cuenta con una forma cilíndrica con diámetro de 6" y 8" de altura.
- Collarín, con un diámetro de 2", cuya base esta perforada.
- Disco espaciado de metal con forma circular, de 5 15/16" de diámetro y 2.5" de altura.
- Pisón de compactación (compresor) de 10 lb, con una altura de caída de 18".

Figura 8

Equipo del CBR.



Nota. Manual de ensayos de materiales MTC (2016).

Aparato para medir la expansión del suelo:

- Placas de metal perforadas de 5 7/8", el diámetro del orificio no debe exceder 1/16".
- El trípode tiene una base que se apoya en el borde del molde para que pueda medir la expansión con una precisión de 0,001 pulgadas.

En caso de pruebas de penetración:

- El pistón de metal es redondo de 19,35 cm² y lo suficientemente largo para penetrar.
- Cargue el medicamento tópico a una velocidad de 0,05 pulgadas/min.

Equipo mixto:

- El tanque tiene capacidad suficiente para empotrar el molde. El horno tiene una temperatura superior a 110°C.
- Pesos de 20 kg y 1000 gramos con sensibilidades de 1 gramo y 0,1 gramo.
- Tamices de ¾".

Procedimiento:

- Se compra una muestra modificada por cada pozo perforado en el campo.
- La muestra modificada se entregó al laboratorio, se dejó secar al aire libre, se extrajo una cuarta parte de la muestra (5 kg), la muestra se tamizó con un tamiz de ¾" por cada molde.

Como conocemos el valor de la humedad y el contenido de humedad de la muestra que representa en un momento dado, determinaremos el agua según la fórmula:

$$\text{Agua}_{\text{CBR}} = \left(\frac{W_{\text{MUESTRA}}}{1+\text{HH}} \right) \times \left(\frac{\text{OH}-\text{HH}}{100} \right) \quad (11)$$

Donde:

W_{MUESTRA} = Peso de la muestra.

OH = Contenido óptimo de humedad.

HH = Contenido de humedad de la muestra.

- De acuerdo con la fórmula anterior, mezclamos la muestra con agua diseñada para formar una mezcla homogénea. Primero colocamos el

disco con el papel filtro y lo compactamos creando 5 capas, con un martillo damos 56 golpes por cada capa; Al final de todas las capas, se retira el anillo de sellado y la base de la muestra y los huecos de la superficie se rellenan con el mismo material.

- Pesar la muestra con el molde sabiendo el volumen de la muestra en el molde y la masa del molde, la densidad húmeda se determina por la fórmula:

$$Y_{\text{HUMEDA}} = \frac{W_{\text{MOLDE+MUESTRA}} - W_{\text{MOLDE}}}{V_{\text{MUESTRA}}} \quad (12)$$

- Se definen curvas para 55, 26 y 12 trazos en cada capa.
- Sobre el material compactado se coloca el papel filtro, sobre el cual se coloca una placa perforada con una varilla y además dos anillos de 2,27 kg cada uno, que constituirán una sobrecarga.
- Se monta un trípode en la sonda, se registra la primera lectura. Usando el método anterior, el molde se sumerge en agua donde se realizan la prueba de expansión y la medición de la deformación cada 24 horas. Con este 52, calculamos el coeficiente de dilatación dividiendo lo mismo que pasó en 24 horas, dividiendo por la altura, y multiplicando por 100.
- Luego de remojar la muestra, tomar el extensómetro y conectar el molde.
- Lo dejamos reposar por 15 minutos. Sacamos la placa, pesamos y filtramos el papel, y luego procedemos a pesar el molde con todo y la muestra. Realizamos pruebas de penetración, damos forma a la prensa y colocamos el pistón en una muestra de 4,5 kg.

Cálculo del espesor del pavimento

De acuerdo con el Manual de Carreteras MTC (2018), este método se basa en un modelo basado en las características del pavimento, la carga del vehículo y la resistencia de la cimentación, todo para calcular el espesor.

2.2.12. Metodología AASHTO 93

La metodología AASHTO 93 para diseño de pavimentos asfálticos emplea un modelo o ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro denominado número estructural (SN) el cual es fundamental para la determinación de los espesores de las capas que conforman el pavimento las cuales son la capa asfáltica, la capa de

base y la capa de subbase. Como se dijo anteriormente, esta ecuación está en función de unas variables de diseño tales como el tránsito, la desviación estándar, la confiabilidad y el índice de serviciabilidad entre otros (Manual AASHTO, 1993).

a) Procedimiento de diseño

De acuerdo con los lineamientos de AASHTO (1993), se debe seguir el siguiente procedimiento para el diseño de un pavimento no rígido:

- Cálculo de tráfico en el periodo de diseño (W_{18}).
- Determine la desviación estándar total (S) y el nivel de confianza (R).
- Configurar el módulo de la resistencia de la subrasante M_r .
- Se determina la pérdida de Serviciabilidad.
- Obtener el número estructural SN .
- Establecer los espesores del SN .

Confiabilidad y variabilidad

La confiabilidad resulta ser la probabilidad de cruzar el pavimento en función prevista.

- Variabilidad (S_o), es el cambio en las mediciones de los parámetros.
- El valor aceptado para tener en cuenta los cambios de tráfico esperados para pavimento flexible es 0,44.
- El rango de valores para pavimento no rígido es de 0,40 a 0,50.

La Tabla 19 muestra los valores del nivel de confiabilidad recomendado para las distintas carreteras (Manual AASHTO, 1993).

Tabla 19

Niveles de confiabilidad para las diferentes carreteras

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopista interestatal	85-99.9	80.99
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras de tránsito	80-95	75-95
Carreteras locales	50-80	50-80

Nota. Adaptado de la Guía AASHTO (1993).

b) Criterios de comportamiento

Serviciabilidad

La Serviciabilidad que se encuentra en un pavimento, se define como el confort de conducción. Se califica por el índice de servicio actual, que puede tomar valores de 0 a 5. Para pavimento se determina el valor de serviciabilidad final (P_t), que depende de las condiciones del tráfico y la serviciabilidad inicial (P_o) depende de la estructura vial. Después de determinar los valores de P_o y P_t , se utiliza la siguiente fórmula para determinar el índice del servicio (Manual AASHTO, 1993).

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (13)$$

c) Propiedades de materiales

Módulo resiliente (M_r)

El módulo de elasticidad se determinó a partir de otras pruebas. CBR en el laboratorio se utiliza para el cálculo de acuerdo con la fórmula a continuación.

$$M_r (\text{Psi}) = 1500 \text{ CBR} \quad (14)$$

d) Características estructurales del pavimento

Drenaje (m_i)

En el diseño de pavimentos resilientes, el drenaje se refiere a la remoción de agua de las capas que componen el acero y su efecto sobre ellas.

Según AASHTO, proporciona diversos grados de drenaje dependiendo de cuánto tiempo se necesite la capa de drenaje.

La Tabla 20 muestra los valores recomendados para el cambio de tasa de subbase en función del porcentaje de tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a la humedad (Manual AASHTO, 1993).

Tabla 20*Calidad de drenaje y sub base*

Calidad de drenaje	Término para remoción del agua
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Aceptable	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	(el agua no drena)

Nota. Adaptado de la Guía AASHTO (1993).

La Tabla 21 muestra valores de “mi” recomendados para modificar los coeficientes de capas de base y sub base granular, indicando así la calidad de drenaje (Manual AASHTO, 1993).

Tabla 21*Valores de "mi" recomendados*

Calidad de drenaje	Valores de “mi” recomendados para modificar los coeficientes de capas de base y sub base granular			
	% de tiempo de exposición de la estructura de pavimento a nivel de humedad próxima a la saturación			
	< 1%	1 – 5 %	5 - 25 %	> 25 %
Excelente	1.4 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Buena	1.35 -1.25	1.25 -1.15	1.15 – 1.00	1.00
Aceptable	1.25 -1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 - 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Nota. Adaptado de la Guía AASHTO (1993).

e) Diseño estructural del pavimento

AASHTO (1993) indica que este método de diseño es adecuado para vías rápidas con un volumen de tráfico superior a 8,2 toneladas y la fórmula para pavimento blando es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r S_0 + 9.36 \log_{10} (SN_i + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{1094} \right)}{0.4 + \frac{1}{(SN_i + 1)}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07 \quad (15)$$

Donde:

W_{18} : Es el número de aplicaciones de ejes equivalentes durante el periodo de diseño.

Z_r : Parámetro estadístico asociado a la incertidumbre del índice de servicio.

S_0 : Es la desviación estándar total de la distribución normal de errores en variables de diseño.

ΔPSI : Es la diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

M_R : Es el módulo de la resiliencia en psi.

SN_i : Número estructural del espesor total del pavimento requerido:

$$SN_i = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 \quad (16)$$

Donde:

a_i : Coeficiente de la capa "i"

D_i : Espesor de la capa (pulgadas) "i"

m_i : Coeficiente de drenaje de la capa "i"

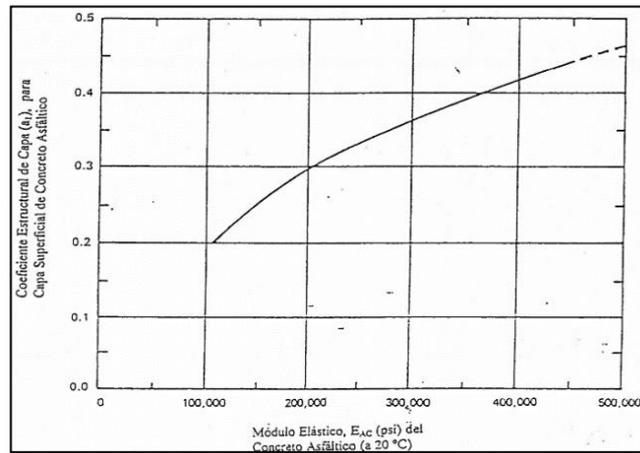
Análisis de diseño por capas

Para determinar el espesor de las capas individuales que componen el pavimento no rígido, se deben tener en cuenta los factores anteriores y determinar algunos valores sobre la base de los diagramas a continuación.

La Figura 9 se utiliza para encontrar el coeficiente estructural a_1 como módulo elástico. La grafica es para hallar el valor de a_1 , en función al valor del módulo elástico del concreto asfaltico (Manual AASHTO, 1993).

Figura 9

Grafica para hallar a1

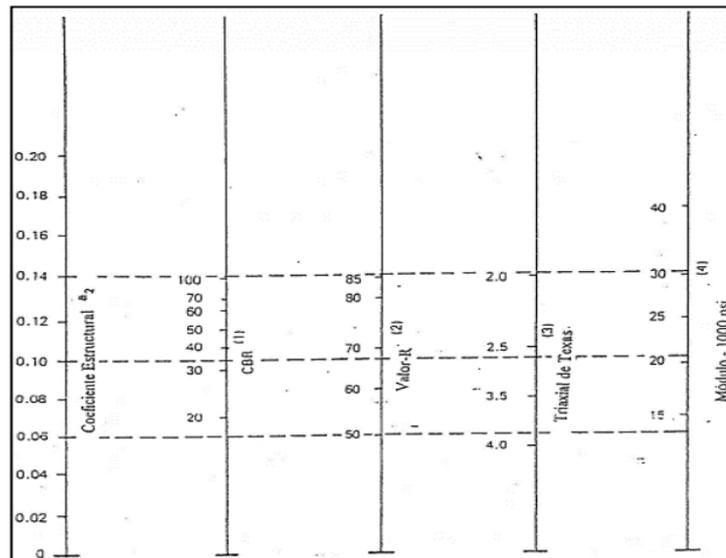


Nota. Guía AASHTO (1993).

La Figura 10 se utiliza para determinar el elemento estructural en la capa a2 utilizando el nomograma propuesto en AASHTO (1993). La grafica muestra la variación del coeficiente de capa de base granular, a2, con parámetros diferentes.

Figura 10

Variación del coeficiente de capa de base granular, a2

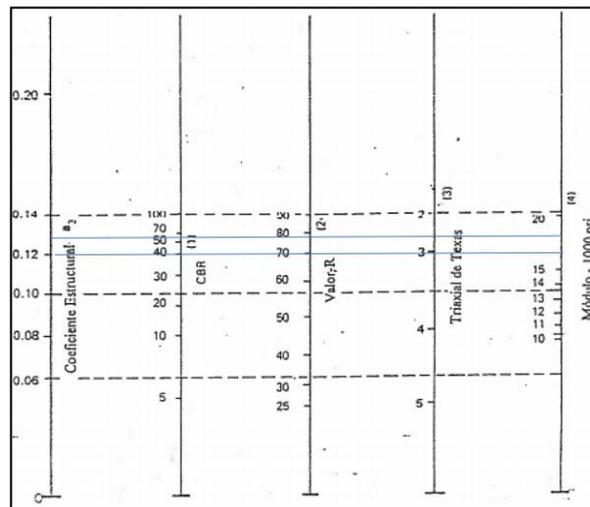


Nota. Guía AASHTO (1993).

La Figura 11 se utiliza para definir el elemento estructural en la capa subbase granular a3 utilizando el nomograma recomendado en la guía AASHTO (1993).

Figura 11

Variación del coeficiente a3

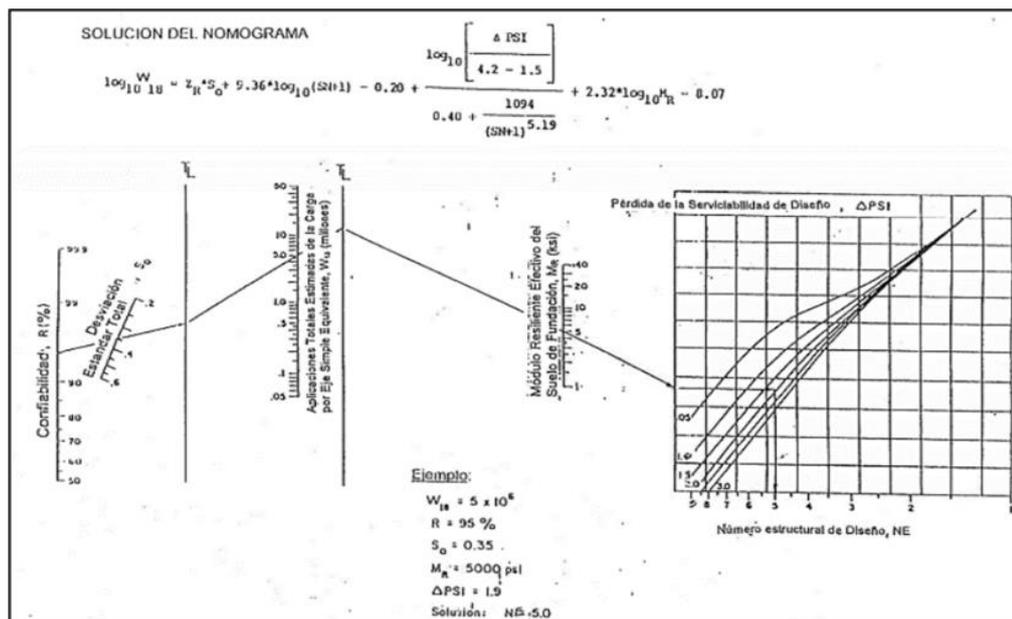


Nota. Guía AASHTO (1993).

La Figura 12 muestra el nomograma para pavimentos flexibles usando valores medios para cada dato, el nomograma se usa para cuantificar el diseño de una estructura en términos de confiabilidad, desviación estándar, carga axial equivalente, módulo de elasticidad y pérdida de función (Manual AASHTO, 1993).

Figura 12

Nomograma de diseño para pavimentos flexibles



Nota. Guía AASHTO (1993).

2.3. Definición de términos

2.3.1. *Serviciabilidad*

Es un indicador que refleja el nivel de comodidad y seguridad que el suelo aporta al usuario. Este índice se deriva de juicios subjetivos y luego se puede correlacionar con aspectos objetivamente medibles de la superficie de la carretera (Programa de Infraestructura del Transporte – PITRA, 2013, p.6).

2.3.2. *Evaluación*

Es el acto de considerar, calcular o mostrar el valor de algo. Este es un proceso que determina la medida en que se han logrado los objetivos presuntos (La evaluación en el proceso de aprendizaje perspectivas, 2007, p.19).

2.3.3. *Conservación vial*

Es un conjunto de medidas técnicas encaminadas a mantener constantemente el buen estado de la infraestructura vial con el fin de brindar un excelente servicio al conductor, ya sea frecuente (Manual de Carreteras, 2018, p.1-C1 13).

2.3.4. *Desintegración*

Esta es la separación de partículas de partículas en la acera, que va de la superficie a la parte inferior. Una de las razones causadas por la distribución puede estar relacionada con la falta de compresión (“Glosario de términos” de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2018, p.D-10).

2.3.5. *SUCS*

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS)) es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo (Editor Geoxnet, 2019).

2.3.6. *Pavimento*

Es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículo (Ingeniarc, 2020).

2.3.7. Superficie de rodadura

Es este plano superior el que soporta directamente la carga de la carretera (“Glosario de términos” de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2018, p.S-21).

2.3.8. Fisura

Representa una ranura delgada a la que generalmente se le asigna un ancho de ≤ 3 mm (“Glosario de términos” de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2018, p.F-12).

2.3.9. Grieta

Abertura alargada con un espacio muy pequeño entre sus bordes, hecho en tierra o de material sólido, generalmente natural (“Glosario de términos” de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2018, p.G-13).

2.3.10. Rehabilitación

Es necesaria la ejecución de determinadas obras para restaurar la infraestructura vial a sus propiedades originales (“Glosario de términos” de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial, 2018, p.R-19).

2.3.11. Inventario Vial:

Es un conjunto de documentos oficiales de información técnica que se elaboran y sistematizan a partir de los datos obtenidos durante las mediciones de campo, identificando y registrando las características y estado de las vías del Sistema Nacional de Carreteras. (Manual de Inventarios Viales, 2014).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de la investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Este estudio es por definición correlacionado porque mide el grado de asociación entre las variables dependientes. Asimismo, requiere el uso de pruebas estadísticas como pruebas de laboratorio.

3.1.2. Diseño de investigación

Se elaboró un plan de estudio de campo, cuyo estudio incluyó la planificación, ejecución y análisis de los resultados, incluyendo el uso de los métodos de recolección de datos empleados en la metodología estadística. El estudio recopila datos de pruebas de suelo para determinar el espesor apropiado para el diseño de pavimento flexible.

3.2. Población y/o muestra de estudio

3.2.1. Población

Vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana.

- Tramo I: Vía Collpa
- Tramo II: Av. Circunvalación Sur
- Tramo III: Av. Celestino Vargas

3.2.2. Muestra

La zona de estudio comprende los distritos de Tacna y Pocollay, cabe señalar que el sector fue delimitado acorde a los planos de ubicación y zonificación.

Para la obtención de las muestras se realizaron 5 excavaciones con una profundidad promedio de 2 metros, se recogieron muestras de cada calicata para llevarlas laboratorio de suelos y realizar los ensayos correspondientes. Se ubicó los puntos de investigación y se tomó como referencia la Norma E.050, ASTM, Guía AASHTO 93, Manual de Carreteras, Manual de Inventarios Viales y Manual de Ensayo de Materiales.

3.3. Operacionalización de las variables

3.3.1. Variable independiente

Diseño de pavimento flexible.

3.3.2. Variable dependiente

Condiciones de serviciabilidad.

Tabla 22

Operacionalización de variables

Variables	Definición operacional	Dimensión	Indicadores
Independiente: Diseño de pavimento flexible	Se orienta en las características de cada estudio de acuerdo a las necesidades que requiere el pavimento.	Conocimiento teórico de los parámetros de Diseño.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aforo vehicular. ▪ ESAL de Diseño. ▪ CBR.
Dependiente: Condiciones de serviciabilidad	Se determina en base a los estudios realizados.	Discernimiento de las condiciones óptimas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impacto positivo.

3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

3.4.1. Plan de recolección de datos

Se presentó una solicitud al Consorcio Vial Grupo Tripartito, que como parte Servicio de Gestión y Conservación por Niveles de Servicio de Corredor Vial: “Ilo – Tacna – Tripartito y Óvalo tripartito – Collpa”, realizó levantamiento de información en campo y evaluación de las vías en los meses Octubre, Noviembre y Diciembre del 2021, de las Rutas PE-1SD, PE-40 y PE-40A, las cuales están seccionadas en VIII tramos como parte del Plan de Gestión Vial, en tal sentido, se solicitó acceso a dicha información para poder desarrollar la presente tesis, la información referida es de la Ruta PE-40 del Tramo III que inicia en el Óvalo Tarapacá y finaliza en el desvío de Calana que consta de 14 kilómetros, que corresponde al proyecto de tesis.

3.4.2. Técnica

Los ensayos físicos y mecánicos del suelo se realizaron en un laboratorio bajo la supervisión de técnicos utilizando la American Society for Testing and Materials (ASTM) y las Normas Técnicas del Perú (NTP).

3.4.3. Instrumentos y equipos

Los instrumentos y equipos para el estudio de suelo de la vía Ovalo Tarapacá hasta desvío a Calana son:

Instrumentos y equipos utilizados en campo:

- Cámara fotográfica.
- Libreta de campo.
- Flexómetro.
- Lampa.
- Sacos.

En laboratorio:

Materiales y equipos utilizados en el laboratorio de mecánica de suelos:

- Set de tamices.
- Horno.
- Balanza.
- Pisón.
- Cilindros.
- Prensa.
- Accesorios y otros.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

La fase de campo comenzó con el reconocimiento de la vía, posteriormente la ubicación de las calicatas donde se realizarían las excavaciones. Se realizaron 5 calicatas, ubicados en puntos estratégicos.

Por otro lado, se realizó la recopilación de datos, del cual se procede a realizar los cálculos matemáticos mediante cuadros y dibujos, que nos ayuden a calcular los valores del ESAL de diseño y el CBR para identificar también el tipo de vía.

Con los resultados obtenidos de ESAL y el CBR, se procede a realizar el diseño del pavimento asfáltico con la metodología AASHTO 93 de acuerdo a los parámetros de la Norma Técnica CE.010 Pavimentos urbano.

Finalmente, se calculan los espesores de la estructura del pavimento asfáltico para garantizar las condiciones de serviciabilidad de la Vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, de acuerdo a los estudios y condiciones que presenta el terreno a investigar.

3.5.1. Definición de calzadas y carriles

La definición de calzadas se realizó de acuerdo al manual de inventarios viales, que es creciente y decreciente (CD), únicamente creciente (UC) y únicamente decreciente (UD), definiendo la trayectoria: ubicación inicio y fin con sus respectivas longitudes y designando sus respectivos carriles para cada uno de los escenarios que se presenten como se muestran en la Tabla 23 y Tabla 24.

Tabla 23

Descripción de Inicio y Fin de las Calzadas

N°	Ubicación Inicio	Ubicación Fin	Longitud (m)
1	Emp. Pe-1s (Ovalo Tarapacá)	Ovalo Cusco	2289
2	Ovalo Cusco	Dv. Calana	11641
3	Ovalo Cusco	Dv. Calana	11641

Tabla 24

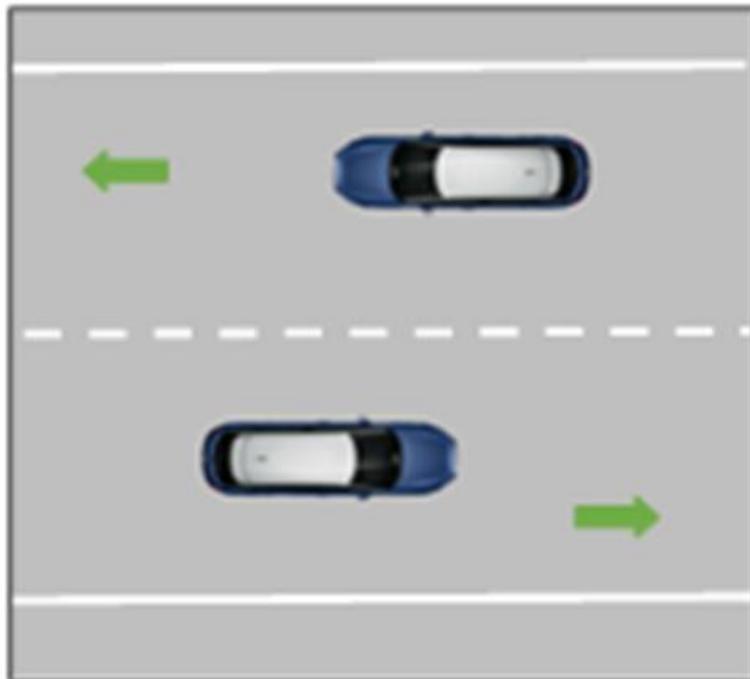
Definición de las Calzadas y Carriles con sus Respectivas Progresivas

N°	Calzada	Progresiva Inicio (km)	Progresiva Fin (km)	Carril
1	CD	0+000	2+289	2
2	UC	2+289	13+930	2
3	UD	2+289	13+930	2

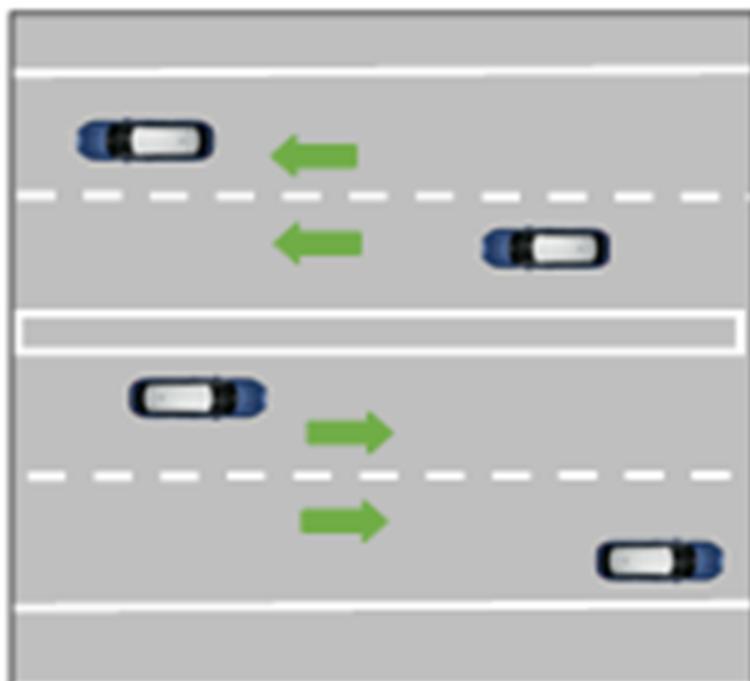
Los escenarios encontrados en el área de estudio del proyecto se detallan en la Figura 13 y Figura 14.

Figura 13

Escenario 1, representa 2 carriles, 1 por sentido

**Figura 14**

Escenario 2 y 3, representa 4 carriles, 2 por sentido



3.5.2. Evaluación de daños (Método PCI)

La primera etapa es el trabajo de campo, en el que se determina visualmente el daño, teniendo en cuenta el tipo, la gravedad y la extensión del daño. Esta información se guarda en los formatos PCI apropiados.

Se registra todo lo observado durante la inspección, anotando todos los signos de daño. De esta forma, se determinará el estado del pavimento y/o de la red vial, determinando así la política para la implementación inmediata de programas de mantenimiento vial. Los tipos de daños encontrados a lo largo de la vía en estudio se muestran desde la Figura 15 hasta la Figura 34.

Figura 15

Grietas longitudinales



Nota. Se observa grietas abiertas y ramificadas con un ancho mayor a 3mm.

Figura 16

Piel de cocodrilo y desprendimiento de agregados



Nota. Se observa peladura y desprendimiento superficial. Asimismo, se visualiza formación de piel de cocodrilo.

Figura 17

Ahuellamiento



Nota. Se puede observar ahuellamiento con una profundidad sensible al usuario pero menor a 6 mm.

Figura 18

Reparaciones o parchados



Nota. En la av. Collpa paralelo al CEA III UNJBG " FUNDO LOS PICHONES" se observa reparación de piel de cocodrilo o de fisuras longitudinales, en mal estado.

Figura 19

Parchado y desprendimiento de agregados



Nota. En la vía de av. Collpa paralelo al CEA III UNJBG " FUNDO LOS PICHONES" se observa parchado de fisuras continuas, en mal estado. Así como desprendimiento de agregado superficial.

Figura 20*Desprendimiento de agregados*

Nota. Finalizando la av. Collpa, paralelo al mercado de Productores La Agronómica se visualiza desgaste superficial y desprendimiento de la carpeta de rodadura del pavimento.

Figura 21*Abultamiento*

Nota. Al inicio de la de av. Circunvalación Sur (Ovalo Cusco), se observa abultamiento y deformación del pavimento.

Figura 22

Grietas transversales



Nota. Av. Circunvalación Sur, se observan grietas transversales con un ancho mayor a 6 mm.

Figura 23

Desprendimiento de agregados



Nota. Av. Circunvalación Sur, se visualiza desprendimiento de agregados, y fisuras longitudinales y transversales.

Figura 24*Piel de cocodrilo*

Nota. En el pavimento correspondiente a la Av. Circunvalación Sur, se observa piel de cocodrilo de malla mediana (entre 0.3 y 0.5 m) con material suelto.

Figura 25*Desprendimiento de agregados*

Nota. Distrito de Pocollay, en la Av. Circunvalación Sur, paralelo a la Universidad Privada de Tacna, la via presenta desprendimiento superficial de agregados.

Figura 26

Pulimiento de agregados



Nota. Distrito de Pocollay, en la Av. Circunvalación Sur, paralelo a la Universidad Privada de Tacna, se visualiza desprendimiento superficial de agregados.

Figura 27

Pulimiento de agregados



Nota. Distrito de Pocollay, en la Av. Circunvalación Sur, paralelo a la Universidad Privada de Tacna, se visualiza desprendimiento superficial de agregados.

Figura 28

Piel de cocodrilo



Nota. Distrito de Pocollay, en la Av. Circunvalación Sur, se visualiza formación de piel de cocodrilo de malla grande (> 0.5 m) sin material suelto.

Figura 29

Piel de cocodrilo



Nota. Distrito de Pocollay, en la Av. Circunvalación Sur, se visualiza formación de piel de cocodrilo de malla grande (> 0.5 m) sin material suelto. Asimismo, se visualiza deformación en la vía.

Figura 30

Grietas longitudinales



Nota. Distrito de Pocollay, en la Av. Circunvalación Sur, presencia de grietas longitudinales extensas en la vía.

Figura 31

Grietas longitudinales



Nota. Distrito de Pocollay, en la Av. Circunvalación Sur, el carril derecho presenta grietas longitudinales en la vía.

Figura 32

Agrietamiento en bloque



Nota. Distrito de Pocollay, en la Av. Circunvalación Sur (Ovalo Pocollay), se visualiza agrietamiento en bloque, así como parchado de grietas y fisuras.

Figura 33

Fisuras transversales



Nota. Presencia de fisuras transversales en la Av. Celestino Vargas en el Distrito de Pocollay.

Figura 34*Bache*

Nota. En el Km 14, Desvió a Calana se observa bache con diámetro > 0.5 m.

3.5.3. Estudio de tráfico

3.5.3.1. Identificación de tramos

En base a la inspección de campo realizada, los trabajos de conteo se realizaron en 03 estaciones, distribuidos como se muestra en la Tabla 25.

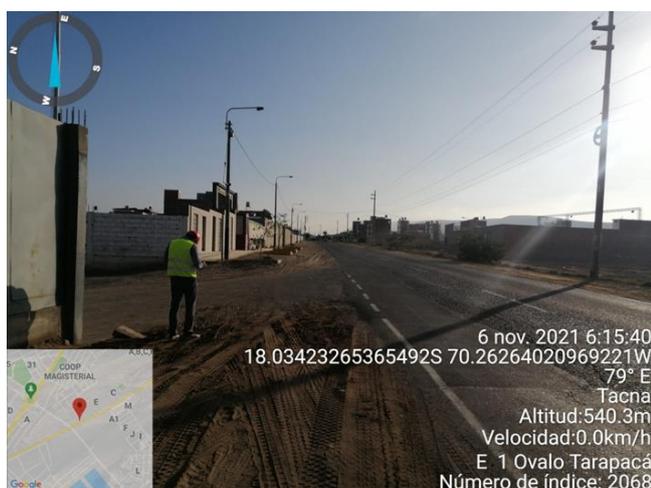
Tabla 25*Distribución de estaciones*

Nombre de Estación	Ubicación Kilométrica	Ubicación	Coordenada UTM		Trayectoria	
			Este	Norte	Inicio	Fin
Ovalo Tarapacá	KM. 0+700	Ovalo Tarapacá	366308,00 (m)	8005536,00 (m)	Ovalo Tarapacá	Av. Municipal
Ovalo Pocollay	KM. 6+900	Ovalo Pocollay	370333,00 (m)	8009509,00 (m)	Av. Municipal	Ovalo Pocollay
Dv. Calana	KM.13+600	Dv. Calana	374740,00 (m)	8014418,00 (m)	Ovalo Pocollay	Dv. Calana

Los trabajos de conteo y clasificación vehicular se efectuaron durante 07 días continuos, de la siguiente manera: Desde el día sábado 6 de noviembre hasta el viernes 12 de noviembre del 2021, los resultados forman parte de la recolección de datos, los resultados que se muestran son parte del Plan De Gestión Vial realizada por el Consorcio Vial Grupo Tripartito, dicho consorcio nos brindó el acceso a dicha información.

Figura 35

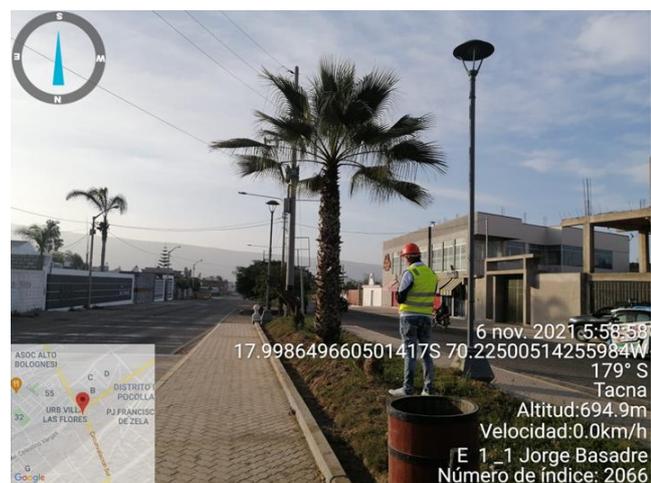
Estación E1



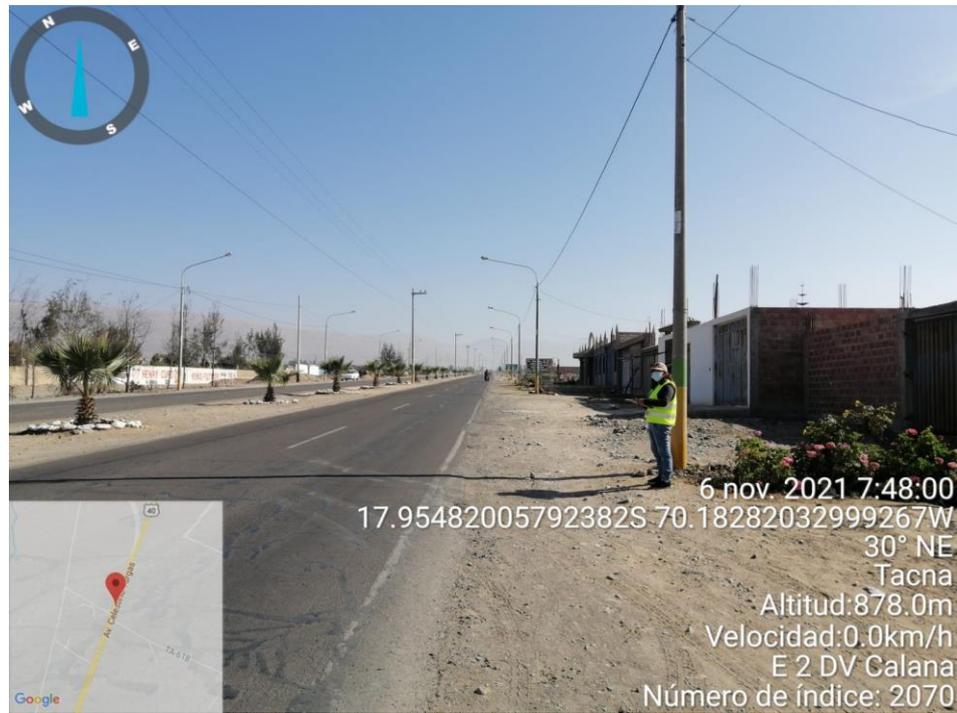
Nota. Se ubicó en el Ovalo Tarapacá km 0+700.

Figura 36

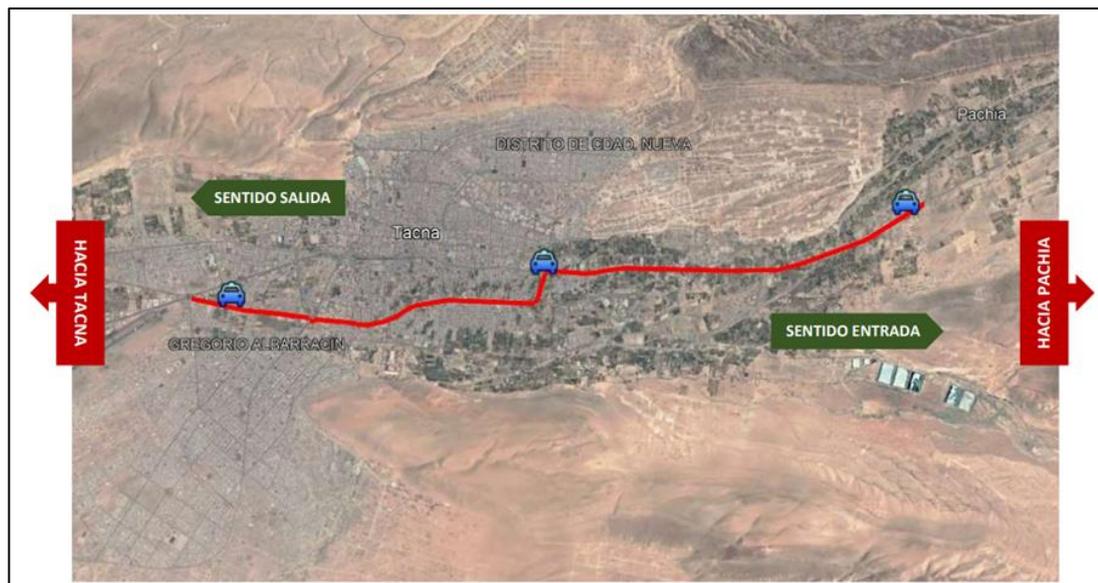
Estación E1.1



Nota. Se ubicó en el Ovalo Pocollay km 6+900.

Figura 37*Estación E2*

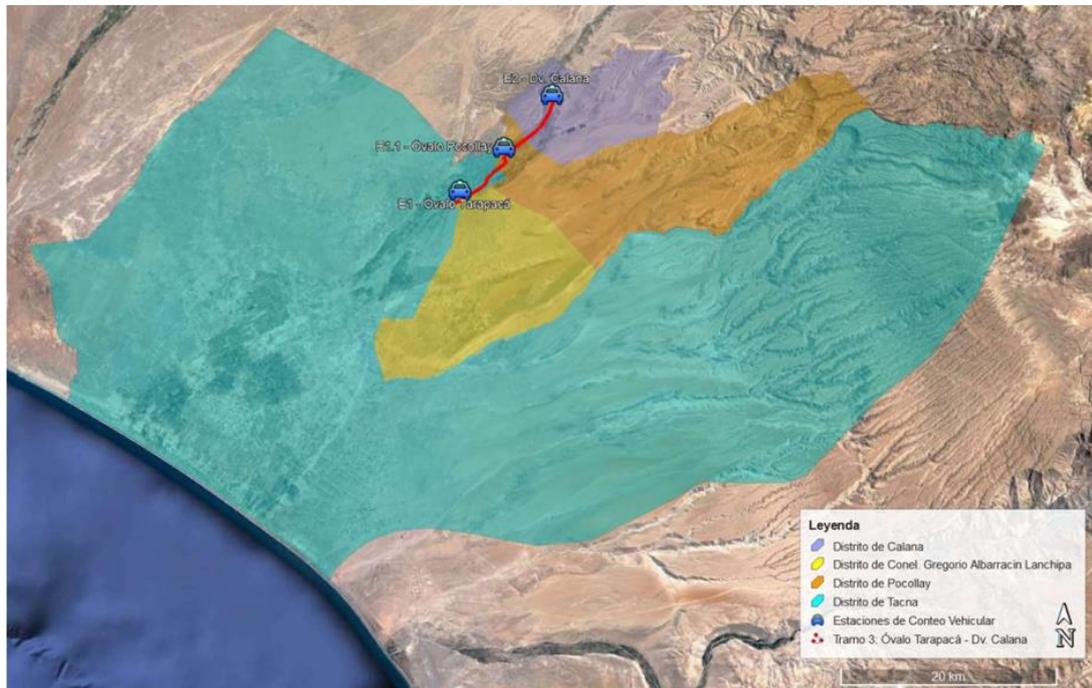
Nota. Se ubicó en el desvío de Calana km 13+600.

Figura 38*Sentido de direccionalidad*

Nota. Google Earth.

Figura 39

Ubicación de las estaciones de conteo vehicular



Nota. Google Earth.

3.5.3.2. Conteo y clasificación vehicular

Se utilizaron formatos de campo establecidos por el Departamento de Planificación y Presupuesto del Departamento de Transporte. Estos formatos contienen la siguiente información:

- Tramo
- Estación
- Ubicación de la Estación
- Fecha
- Sentido
- Hora
- Sentido de circulación
- Tipo de vehículo: Automóvil, Camioneta, Camioneta rural, Microbús, Ómnibus: 2E, 3E, Camión simple, 2E, 3E, 4E, Camiones articulados: Semi-Tráiler de 2S2, 2S3, 3S2, 3S3 y Tráileres de 2T2, 2T3, 3T2, 3T3.

3.5.3.3. Metodología

Los datos obtenidos del conteo y la clasificación del vehículo se han confirmado y procesado en el formato de Excel, lo que confirma el tráfico de acuerdo con el tipo de vehículo, tiempo y dirección para cifrarlos y luego cavar. Después de obtener los resultados promedio del volumen de tránsito de acuerdo con el tipo de vehículo, tiempo y dirección, tiempo de cambio, clasificación de vehículos, Índice Medio Diario Semanal (IMD) e Índice Medio Diario Anual (IMDA), determinados por las siguientes fórmulas:

$$IMD_A = FC * IMD_S \quad (17)$$

Donde:

IMD_S = Volumen clasificado promedio de la semana

FC = Factor de corrección estacional

IMD_S = Índice medio diario anual

3.5.3.4. Determinación del factor de corrección

Los factores de corrección estacional son valores destinados a corregir los cambios en el comportamiento vial a lo largo del año, abarcan todo tipo de eventos como festivos, temporadas escolares, y en general eventos anuales y anuales. Los factores de ajuste estacional se calculan utilizando la serie histórica anual completa de los años más recientes con el período más reciente adoptado, y fue conveniente para este estudio incluir los próximos años para los que se dispone de información completa. desglosado por peajes en la red vial nacional.

Dado que no es posible recopilar datos de forma continua todos los días del año en todas las estaciones numeradas, los datos de muestra deben recopilarse de las estaciones clasificadas por red de carreteras y el volumen de tráfico anual estimado calculado periódicamente.

Esto incluye determinar el tamaño mínimo de la muestra (número de estaciones) para el nivel requerido y determinar los factores de expansión diarios, mensuales, estacionales o de toda la red vial.

El factor de corrección estacional (también conocido como coeficiente de dispersión) se utiliza para corregir el conteo periódico determinado en las estaciones de conteo continuo o en las estaciones de conteo de verificación, como las

estaciones de peaje. Para determinar el factor de corrección estacional (FC) se utiliza el volumen de vehículos recogidos en los peajes cercanos, similar al del peaje de *pozo redondo* como se muestran en la Tabla 26 y se le designa a las estaciones de conteo como se muestran en la Tabla 27, para los años con mayor factor de ajuste estacional. El factor de ajuste estacional para vehículos livianos se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$FC = \frac{IMD_{AÑO}}{IMD_{MES}} \quad (18)$$

Luego se determinó el IMDA como el producto del Índice Medio Diario por el Factor de Corrección Estacional para el periodo mensual.

Tabla 26

Factor de corrección – peaje Pozo Redondo

Mes de Noviembre		
Año	Ligero	Pesado
Promedio (2010 - 2016)	1,0052	0,9479

Nota. Datos obtenidos de la Ficha Técnica Estándar - Oficina de Programación Multianual de Inversiones – OPMI.

Tabla 27

Factor de corrección – peaje Pozo Redondo

Ruta	Estación	Tramo	Factor de Corrección (Promedio 2010 - 2016)	
			Ligero	Pesado
PE-40	E1 - Óvalo Tarapacá	Óvalo Tarapacá - Av. Municipal	1,0052	0,9479
PE-40	E1.1 - Óvalo Pocollay	Av. Municipal - Óvalo Pocollay	1,0052	0,9479
PE-40	E2 - Dv. Calana	Óvalo Pocollay - Dv. Calana	1,0052	0,9479

3.5.4. Estudio de mecánica de suelos

La La etapa de este estudio consistió en identificar los hitos kilométricos del tramo de estudio. Dicho proceso se realizó el 19 de abril del 2022, el propósito fue definir los puntos para realizar las calicatas para extraer las muestras para los ensayos de laboratorio.

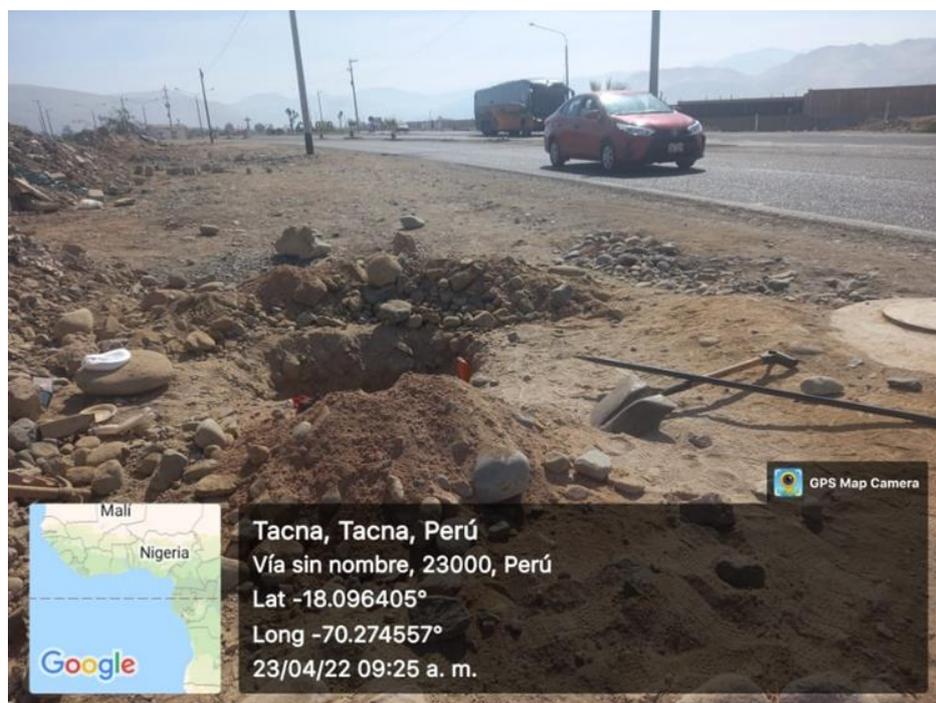
Las calicatas se realizaron el 23 de abril del 2022, con un frente de dos cuadrillas con dos integrantes cada una, desde las 7 am hasta las 5 pm.

La profundidad de cada calicata fue de 1.5 m tal como indica en el manual de ensayo de materiales (MTC, 2017).

El tramo consiste de 14 kilómetros y se definieron 7 puntos para realizar las calicatas, las calicatas realizadas se muestran en las Figuras 40, 41, 42 y 43.

Figura 40

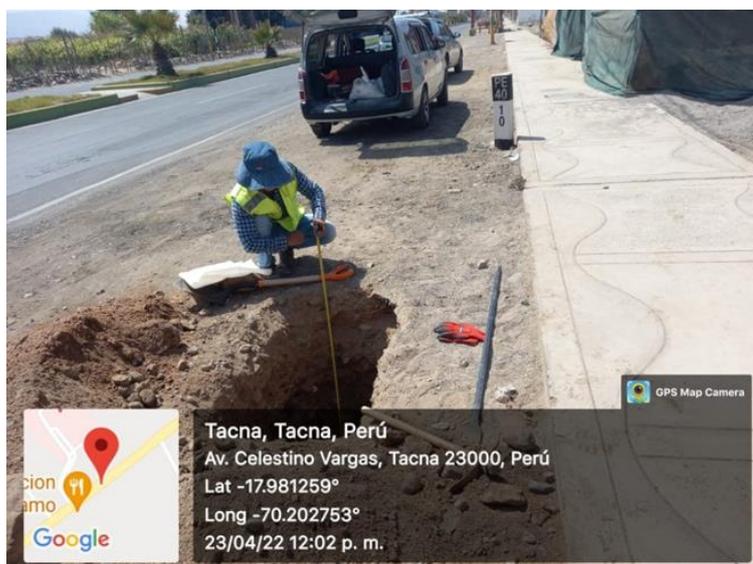
Calicata C-01



Nota. La Calicata C-01 corresponde al Km 14, ubicado en el desvío a Calana, se visualizó material suelto.

Figura 41*Calicata C-02*

Nota. La Calicata C-02 corresponde al Km 12 de la Ruta Nacional PE-40, ubicado en el distrito de Pocollay. Asimismo, se visualizó material granular.

Figura 42*Calicata C-03*

Nota. La Calicata C-03 corresponde al Km 10 de la Ruta Nacional PE-40. Asimismo, de la muestra extraída se visualizó material suelto.

Figura 43*Calicata C-04*

Nota. La Calicata C-04 corresponde al Km 6 de la Ruta Nacional PE-40. Asimismo, de la muestra extraída se visualizó material en su mayoría granular.

Procesamiento y análisis de laboratorio

Luego se realizaron pruebas a cada muestra tomada, es decir:

- Análisis granulométrico
- Proctor modificado
- Ensayo de CBR

Procesamiento y análisis de gabinete

En la investigación se realizaron 5 excavaciones (calicatas), para la elaboración de los ensayos y se estableció la clasificación de SUCS (ASTM D – 2487) y AASHTO, los resultados obtenidos se encuentran en el ítem 4.3.

- Unidad Experimental: Suelo de la vía Ovalo Tarapacá hasta el desvío a Calana - Distrito de Tacna y Pocollay
- Tratamientos: Ensayos de laboratorio.
- Factores fijos: Normas técnicas correspondientes (RNE).

- Variable de Respuesta: Determinación de los parámetros de diseño.

3.5.5. Método ASSHTO

Del estudio de tráfico obtenemos que se proyectan que pasen durante el periodo de diseño como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28

Resumen de ESAL por estaciones

ESAL	E1: Ovalo Tarapacá - Av. Municipal	E1.1: Av. Municipal- Ovalo Pocollay	E2: Ovalo Pocollay- Dv. Calana
2024	3,98E+05	2,22E+05	3,40E+04
2028	2,15E+06	1,20E+06	1,84E+05
2033	4,76E+06	2,65E+06	4,06E+05
2038	7,92E+06	4,41E+06	6,57E+05
2043	1,18E+07	6,54E+06	1,00E+06

Nota. En este caso, procedemos a tomar el valor mayor de ESAL, para un proyectado de 20 años.

ESAL: 1,18E + 07

Del estudio de suelos, se realizó el ensayo de CBR y se obtuvo un valor de:

CBR: 11%

Para establecer el nivel de confiabilidad en el Capítulo 2, en la página 2-9 del manual de diseño de ASSHTO en la tabla 2.2, que nos indica los niveles de confiabilidad para las distintas carreteras. La Tabla 29 muestra los niveles de confiabilidad recomendados (R), en nuestro caso la vía en estudio es una ruta nacional por lo que consideramos como arterias principales y urbano que tiene valores de niveles de confiabilidad de 80 – 99 como se muestra en la Tabla 29. Asimismo, tomaremos el promedio del rango:

Tabla 29*Nivel de confiabilidad*

Clasificación funcional	Nivel de confiabilidad recomendado (R)					
	Urbano			Rural		
Autopista y carreteras interestatales, y otras vías	85	-	99.9	80	-	99.9
Arterias principales	80	-	99	75	-	95
Colectoras	80	-	95	75	-	95
Locales	50	-	80	50	-	80

Nota. Nivel de confiabilidad (R): 90.

A cada nivel de confiabilidad le corresponde un Z_r (parámetro estadístico asociado a la incertidumbre del índice de servicio), la selección de un nivel apropiado de confiabilidad para el diseño de una vialidad particular, depende primariamente del uso del proyectado y de las consecuencias (riesgos), tal como se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30*Desviación normal estándar (ZR)*

Confiabilidad (R%)	Desviación normal estándar (ZR)
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Nota. Manual de ASSHTO.

$$Z_r : -1,282$$

Desviación estándar, la norma ASSHTO considera que para pavimento flexible S_0 varia en un rango de 0.40 – 0.50.

$$S_0 = 0,45$$

En la página 2 -10 de la norma, nos indica que para un pavimento flexible el nivel de serviciabilidad inicial (P_i) es equivalente a 4.0 y para la serviciabilidad final se tiene en cuenta el tipo de vía que tenemos, es decir una vía principal y flujo constante entonces el valor corresponde a 2.5.

$$\Delta PSI = P_i - P_f$$

$$\Delta PSI = 4,0 - 2,5$$

$$\Delta PSI = 1,5$$

Ya que nuestro proyecto no fue posible realizar en ensayo para la determinación del módulo resiliente, y contamos con los resultados del ensayo de CBR, procederemos a usar la del concilio sudafricano de investigaciones científicas e industriales, la cual se aplica cuando se tiene CBR mayores a 7% y menores a 20 %.

$$MR = 3000 \times CBR^{0.65}$$

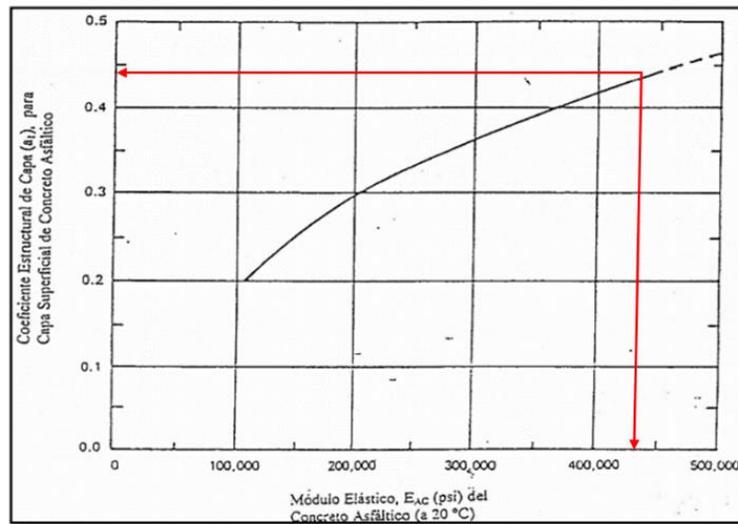
$$MR = 14257 \text{ PSI}$$

Determinación de los coeficientes estructurales de las capas, los cuales son una medida de la capacidad relativa del material para funcionar como parte del pavimento. Los coeficientes estructurales se determinan por capa, para la determinación de cada uno se emplearán los gráficos consignados en el manual.

$$SN_i = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

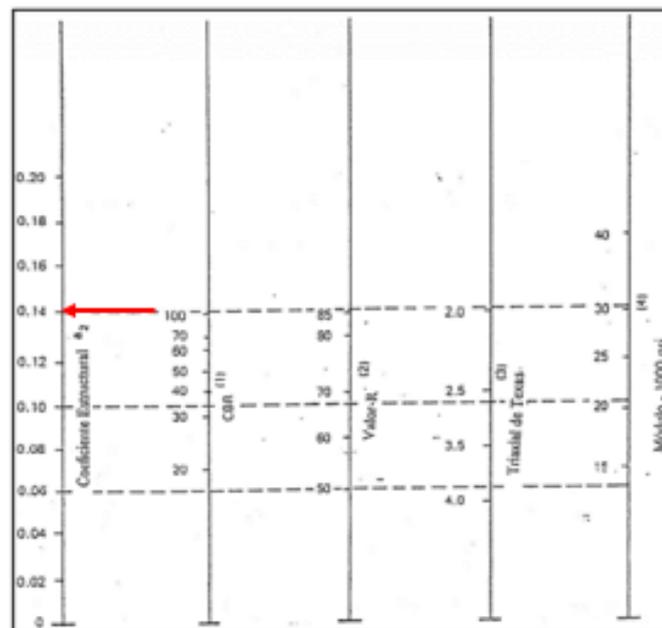
Determinación del coeficiente estructural de la capa de rodadura a_1 , requerimos conocer el módulo resiliente.

Interceptamos y obtenemos el valor de a_1 como se muestra en la Figura 44.

Figura 44*Coefficiente estructural a_1* 

$$a_1 = 0,44$$

Para un diseño óptimo el manual considera un CBR mínimo de 100%. En la figura 2.6 del manual en la página 2-19, trazamos un guion perpendicular al valor de CBR como se muestra en la Figura 45 y el valor interceptado es:

Figura 45*Coefficiente estructural a_2* 

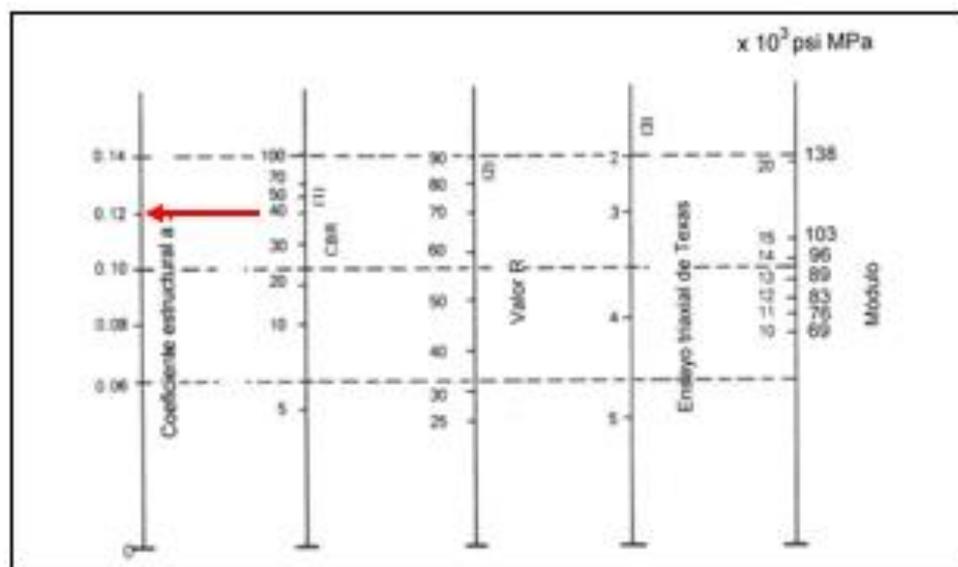
$$a_2 = 0,14$$

Para el caso de a_3 que es el coeficiente estructural de la capa de subbase granular. Ingresaremos con el valor de CBR mínimo exigido que es de 40%. Se realizará el mismo procedimiento del caso anterior, pero en este caso en la figura 2.7 consignada en la página 2-21 del manual en la página 2-19, trazamos un guion perpendicular al valor de CBR como se muestra en la Figura 46.

El valor interceptado es:

Figura 46

Coeficiente estructural a_3



$$a_3 = 0,12$$

Es importante conceder un adecuado drenaje a nuestro pavimento. La metodología ASSHTO lo incluye mediante el uso de coeficientes de drenaje, entonces:

Para la capa de rodadura el cual se denomina m_1 se considera = 1

Para la capa de base y sub base se deben seleccionar los coeficientes considerando las características de material, la calidad de drenaje y el porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento estará expuesta próxima a los niveles de saturación.

Para la vía en estudio se considera una capacidad de drenaje bueno, y que la cantidad de agua ser evacuada en un día como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31*Calidad de drenaje y el porcentaje del tiempo*

Calidad de drenaje	Agua removida en:
Excelente	½ día
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	Nunca

Nota. Adaptado de la Guía ASSHTO (1993).

Consideramos la relación de números de días de lluvia en nuestra zona entre la cantidad de días al año y sacamos el porcentaje:

El mes con el mayor número de días lluviosos es febrero (8,13 días). El mes con el número más bajo es noviembre (0,53 días) datos obtenidos según Clima Silpay (Perú). Consideramos la relación de números de días de lluvia en nuestra zona entre la cantidad de días al año y sacamos el porcentaje:

$$\% \text{ tiempo} = \frac{8,66}{365} \times 100 = 2,37\%$$

Luego en la Tabla 32 consideramos las características descritas, Interpolamos y/o consideramos el medio de rango.

Tabla 32*Coefficientes de drenaje para pavimentos flexibles*

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos 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	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60
Muy pobre	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

Nota. Adaptado de la Guía ASSHTO (1993).

Por tanto, los coeficientes de drenaje son:

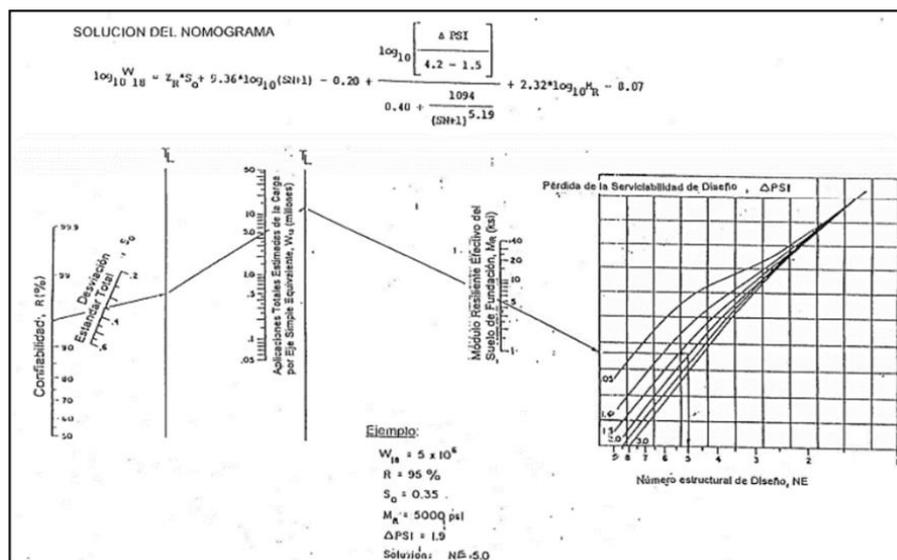
$$m_2 = m_3 = 1,20$$



Con los datos anteriores podemos calcular el número estructural. Para calcularlo podemos despejarlo de la ecuación, mediante el nomograma del manual ASSHTO (Figura 47) u Excel.

Figura 47

Nomograma ASSHTO 93



Nota. Manual ASSHTO (1993).

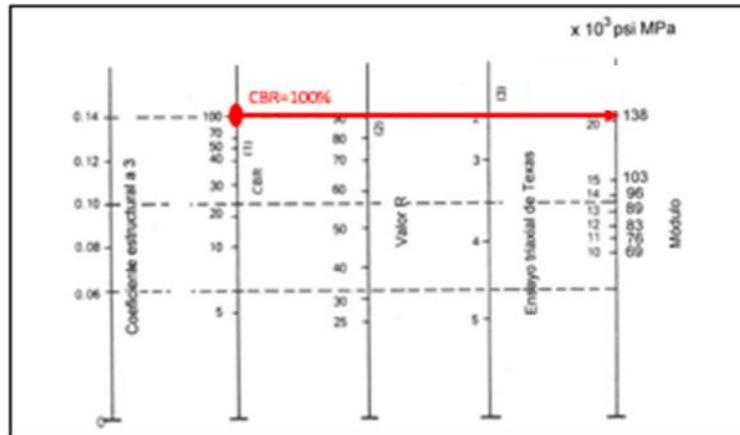


Determinamos el máximo espesor permisible de cada capa.

Para ello usamos la Figura 47. Utilizamos entonces la Figura 48 con el valor de CBR de la base para determinar el módulo resiliente para la carpeta asfáltica.

Figura 48

Módulo resiliente para la carpeta asfáltica

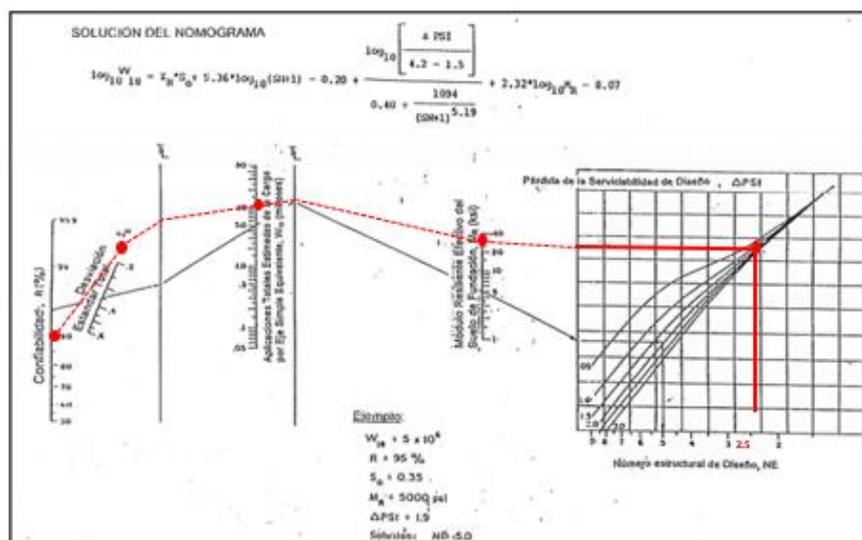


Nos da un valor de 34.6 KSI.

Con dicho valor, en la figura 3.1 del manual y partimos desde la segunda barra de control hasta interceptar la barra del módulo resiliente de suelo, en este caso de la base, y procedemos a calcular el SN normal como se muestra en la Figura 49.

Figura 49

Cálculo del número estructural para la carpeta asfáltica



$$SN_1 = 2,5$$

$$SN_1 = a_1 \times D_1^*$$

$$D_1^* = \frac{2,5}{0,44}$$

$$D_1 = 5,68'' \cong 6''$$

Con este valor recalculamos el SN_1^* .

$$SN_1^* = a_1 \times D_1^*$$

$$SN_1^* = 0,44 \times 6'' = 2,64$$

$$SN_1^* \geq SN_1 \rightarrow 2,64'' \geq 2,5 \text{ OK}$$

Sin embargo, además de cumplir con los requerimientos estructurales, la norma indica que una adecuada selección de espesores incluye el análisis de los costos de construcción y mantenimiento para que nuestro diseño sea viable. Por lo que la norma recomienda espesores mínimos para la capa de rodadura y base considerando el número de ejes equivalente. La norma indica que se deben considerar las condiciones locales, por lo que estos valores pueden ser modificados.

$$D_1^* = 5,68'' \cong 6''$$

La Tabla 33 muestra los espesores mínimos para la carpeta asfáltica y base granular con respecto al ESAL proyectado.

Tabla 33

Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular

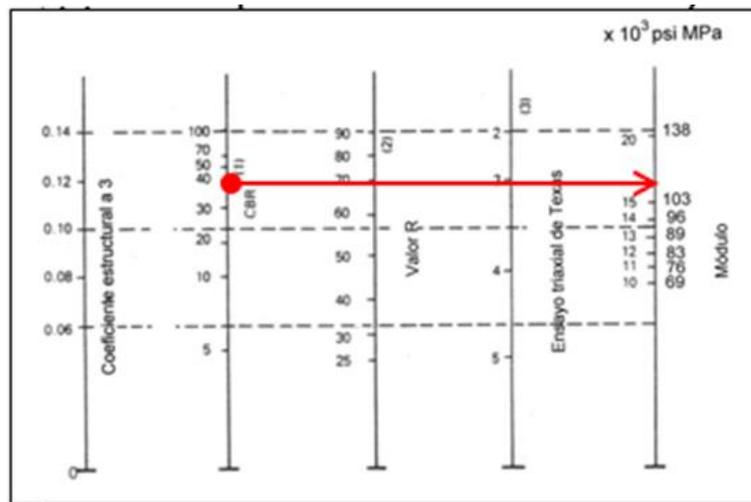
Número de ESALs	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50 000	2,5 (cm)	10 (cm)
50 000-15 000	5,0 (cm)	10 (cm)
150 000-500 000	6,5 (cm)	10 (cm)
500 000-2,000 000	7,5 (cm)	15 (cm)
2 000 000-7 000 000	9,0 (cm)	15 (cm)
Más de 7 000 000	10,0 (cm)	15 (cm)

Nota. Manual ASSHTO.

Para determinar el espesor que debe tener la base granular procedemos de la misma manera que el paso anterior. Determinamos primeramente el módulo resiliente de la subbase a partir del valor de CBR y empleando la figura 2.7 del manual y como se muestra en la Figura 50 nos da que es igual a 17,3 ksi.

Figura 50

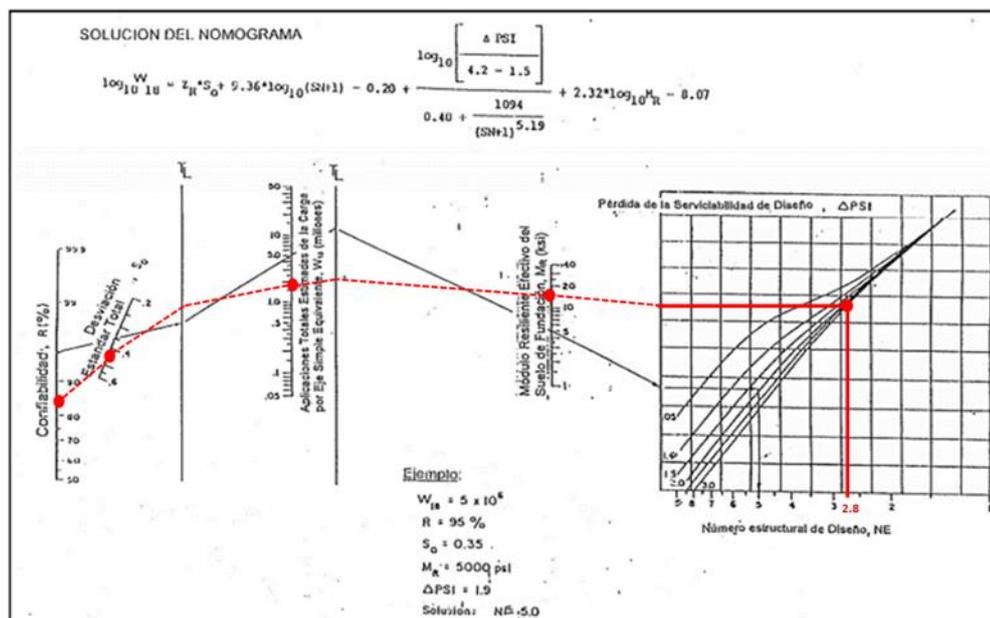
Módulo resiliente para la base



Ingresamos con dicho valor a la Figura 51 y nos da que el volumen estructural que aporta a la base granular y al concreto asfáltico al cual se denomina SN_2^* .

Figura 51

Cálculo del número estructural para la base



$$SN_2^* = 3,7$$

Por lo tanto, el número estructural de la base se obtiene como la diferencia de SN_1^* y SN_2^* por consiguiente este será igual a 1.06.

$$SN_2^* = SN_2 - SN_1^*$$

$$SN_2^* = 3,7 - 2.64 = 1,06$$

Sabemos que numero estructural de la base granular será igual a:

$$SN_2^* = a_2 \times D_2^* \times m_2$$

Despejando el espesor y asignando los valores correspondientes nos queda que el espesor de la base granular.

$$D_2^* = \frac{SN_2^*}{a_2 \times m_2} \rightarrow \frac{1,06}{0,14 \times 1,20}$$

$$D_2^* = 6,31" \approx 6,5"$$

Procedemos a redondear lo que nos da un espesor igual a 6,5", recalculando el número estructural nos queda:

$$SN_2^* = 0,14 \times 6,5" \times 1,20 + 2,64 = 3,732$$

Considerando la tabla 34 de espesores mínimas recomendados por ASSHTO:

Tabla 34

Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular

Número de ESALs	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50 000	2,5 (cm)	10 (cm)
50 000-15 000	5,0 (cm)	10 (cm)
150 000-500 000	6,5 (cm)	10 (cm)
500 000-2 000 000	7,5 (cm)	15 (cm)
2 000 000-7 000 000	9,0 (cm)	15 (cm)
Más de 7 000 000	10,0 cm	15 cm

Nota. Manual ASSHTO.

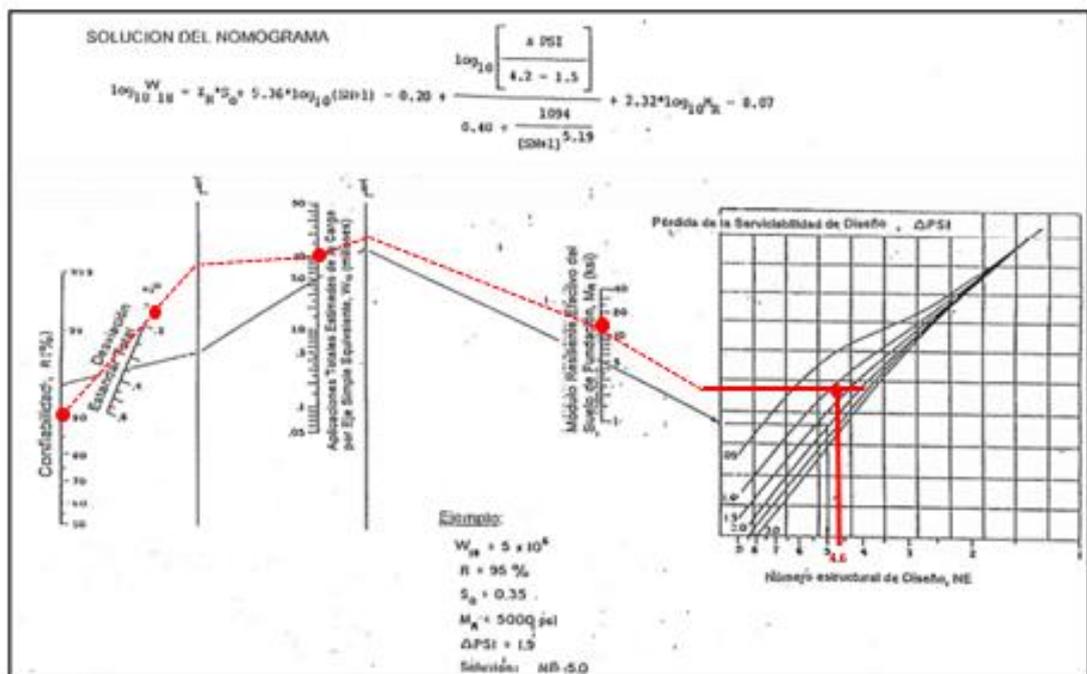
Notamos que el espesor se encuentra por encima del rango.

Para determinar el espesor que debe tener la subbase granular, determinamos primeramente el módulo resiliente de la subbase a partir del valor de CBR y nos da que es igual a 14,2 ksi.

Ingresamos con dicho valor a la figura 52 y nos da que el volumen estructural que aporta a la subbase granular y al concreto asfáltico al cual se denomina SN_3^* .

Figura 52

Cálculo del número estructural para la subbase



Por lo tanto, el número estructural de la base se obtiene de la siguiente forma:

$$SN_3^* = SN - (SN_1^* + SN_2^*)$$

$$SN_3^* = 4,6 - (3,732)$$

$$SN_3^* = 0,868$$

De la ecuación del número estructural de la subbase granular:

$$SN_3^* = a_3 \times D_3^* \times m_3$$

Despejamos el espesor y asignamos los valores correspondientes:

$$D_3^* = \frac{SN_3^*}{a_3 \times m_3} \rightarrow \frac{0,868}{0,12 \times 1,20}$$

$$D_3^* = 6,03'' \approx 6,5''$$

Procedemos a redondear y a recalcular el número estructural:

$$SN_3^* = 0,12 \times 6,5'' \times 1,20 = 0,936$$

Verificando que se cumplan los requerimientos mínimos, tenemos que el número estructural global es mayor al número estructural requerido.

$$SN_T^* \geq SN_0$$

$$2,64 + 1,092 + 0,936 \geq 4,6$$

$$4,668 \geq 4,6$$

$$4,7 \geq 4,6$$

OK

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Resultados del primer objetivo específico (Método PCI)

El tramo 3 se encuentra en la ruta PE-40, cuenta con una trayectoria que inicia en el Ovalo Tarapacá en el km 0+000 y finaliza en el km 13+935.

Las Tablas 35, 37, 39, 41, 43 y 45 muestran los resultados de los tipos de daños encontrados a lo largo de la vía en cantidad según severidad. Las Tablas 36, 38, 40, 42, 44 y 46 muestran los resultados de PCI calculados y sus calificaciones.

4.1.1. Tramo de una calzada

Tabla 35

Resumen de cuantificación carril izquierdo – sentido descendente

Tipo de Daño	Área Dañada por Severidad			
	1 - Baja	2 - Media	3 - Alta	Total
1 - Piel de cocodrilo (m ²)	334,42	116,40	494,10	944,92
2 - Exudación (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
3 - Agrietamiento en bloque (m ²)	0,00	0,00	961,85	961,85
4 - Abultamientos y hundimientos (m)	1,30	0,00	0,00	1,30
5 - Corrugación (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
6 - Depresión (m ²)	0,00	0,00	2,40	2,40
7 - Grieta de borde (m)	2,00	0,00	0,00	2,00
8 - Grieta de reflexión de junta (m)	1264,00	0,00	0,00	1264,00
9 - Desnivel carril / berma (m)	0,00	0,00	0,00	0,00
10 - Grietas long y transversal (m)	555,06	121,07	0,00	676,13
11 - Parcheo (m ²)	152,79	12,02	53,00	217,81
12 - Pulimento de agregados (m ²)	2548,15	0,00	0,00	2548,15
13 - Huecos (unidad)	3,00	1,00	3,00	7,00
14 - Cruce de vía férrea (m ²)	0,00	8,65	0,00	8,65
15 - Ahuellamiento (m ²)	44,60	23,40	18,90	86,90
16 - Desplazamiento (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
17 - Grieta parabólica (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
18 - Hinchamiento (m ²)	9,70	0,00	0,00	9,70
19 - Desprendimiento de agregados (m ²)	1549,60	0,00	1473,20	3022,80

Tabla 36

PCI carril izquierdo – sentido descendente

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
193,5	1	11+655	11+700	3,1	100	0	Fallado
210,0	2	11+700	11+750	2,2	100	0	Fallado
250,0	3	11+750	11+800	3,1	100	0	Fallado
260,0	4	11+800	11+850	3,1	100	0	Fallado
260,0	5	11+850	11+900	2,7	91	9	Fallado
171,5	6	11+900	11+950	0,0	34	66	Bueno
170,0	7	11+950	12+000	0,0	25	75	Muy Bueno
170,0	8	12+000	12+050	4,8	70	30	Malo
170,0	9	12+050	12+100	5,7	70	30	Malo
170,0	10	12+100	12+150	0,0	57	43	Regular
174,0	11	12+150	12+200	4,9	69	31	Malo
174,0	12	12+200	12+250	5,1	58	42	Regular
172,5	13	12+250	12+300	0,0	28	72	Muy Bueno
172,5	14	12+300	12+350	0,0	35	65	Bueno
170,0	15	12+350	12+400	8,9	16	84	Muy Bueno
167,5	16	12+400	12+450	7,8	28	72	Muy Bueno
167,5	17	12+450	12+500	5,3	57	43	Regular
167,5	18	12+500	12+550	0,0	30	70	Muy Bueno
167,5	19	12+550	12+600	0,0	0	100	Excelente
167,5	20	12+600	12+650	0,0	10	90	Excelente
170,0	21	12+650	12+700	8,1	32	68	Bueno
170,0	22	12+700	12+750	0,0	26	74	Muy Bueno
172,5	23	12+750	12+800	8,7	18	82	Muy Bueno
172,5	24	12+800	12+850	7,6	36	64	Bueno
172,5	25	12+850	12+900	0,0	16	84	Muy Bueno
172,5	26	12+900	12+950	7,6	50	50	Regular
175,0	27	12+950	13+000	7,2	46	54	Regular
175,0	28	13+000	13+050	8,4	33	67	Bueno
175,0	29	13+050	13+100	0,0	28	72	Muy Bueno
175,0	30	13+100	13+150	0,0	16	84	Muy Bueno
177,5	31	13+150	13+200	0,0	34	66	Bueno
177,5	32	13+200	13+250	0,0	23	77	Muy Bueno
177,5	33	13+250	13+300	0,0	30	70	Muy Bueno
177,5	34	13+300	13+350	6,3	54	46	Regular
180,0	35	13+350	13+400	4,6	78	22	Muy Malo
180,0	36	13+400	13+450	7,6	39	61	Bueno
180,0	37	13+450	13+500	6,6	49	51	Regular
180,0	38	13+500	13+550	8,9	19	81	Muy Bueno
180,0	39	13+550	13+600	7,1	40	60	Bueno
180,0	40	13+600	13+650	0,0	28	72	Muy Bueno
180,0	41	13+650	13+700	0,0	20	80	Muy Bueno
180,0	42	13+700	13+750	0,0	0	100	Excelente
180,0	43	13+750	13+800	0,0	0	100	Excelente
180,0	44	13+800	13+850	0,0	25	75	Muy Bueno
306,0	45	13+850	13+935	5,2	57	43	Regular
PCI Promedio						58	Bueno

Tabla 37*Resumen de cuantificación carril derecho – sentido ascendente*

Tipo de Daño	Área Dañada por Severidad			
	1 - Baja	2 - Media	3 - Alta	Total
1 - Piel de cocodrilo (m ²)	413,67	205,85	51,80	671,32
2 - Exudación (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
3 - Agrietamiento en bloque (m ²)	12,50	0,00	0,00	12,50
4 - Abultamientos y hundimientos (m)	1,00	6,20	0,00	7,20
5 - Corrugación (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
6 - Depresión (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
7 - Grieta de borde (m)	29,00	9,00	0,00	38,00
8 - Grieta de reflexión de junta (m)	1,00	0,00	0,00	1,00
9 - Desnivel carril / berma (m)	0,00	0,00	0,00	0,00
10 - Grietas long y transversal (m)	130,58	32,07	4,00	166,65
11 - Parcheo (m ²)	158,89	6,30	0,00	165,19
12 - Pulimento de agregados (m ²)	1880,00	0,00	0,00	1880,00
13 - Huecos (unidad)	6,00	1,00	0,00	7,00
14 - Cruce de vía férrea (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
15 - Ahuellamiento (m ²)	19,80	20,20	7,60	47,60
16 - Desplazamiento (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
17 - Grieta parabólica (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
18 - Hinchamiento (m ²)	4,30	0,00	0,00	4,30
19 - Desprendimiento de agregados (m ²)	1638,40	320,00	0,00	1958,40

Tabla 38

PCI carril derecho – sentido ascendente

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
180,0	1	00+000	00+050	0,0	18	82	Muy Bueno
180,0	2	00+050	00+100	6,6	50	50	Regular
180,0	3	00+100	00+150	0,0	25	75	Muy Bueno
180,0	4	00+150	00+200	0,0	0	100	Excelente
180,0	5	00+200	00+250	0,0	0	100	Excelente
180,0	6	00+250	00+300	0,0	0	100	Excelente
180,0	7	00+300	00+350	0,0	-1	101	Excelente
180,0	8	00+350	00+400	6,1	60	40	Regular
180,0	9	00+400	00+450	7,8	41	59	Bueno
180,0	10	00+450	00+500	0,0	20	80	Muy Bueno
180,0	11	00+500	00+550	0,0	0	100	Excelente
180,0	12	00+550	00+600	0,0	16	84	Muy Bueno
177,5	13	00+600	00+650	0,0	2	98	Excelente
177,5	14	00+650	00+700	6,2	52	48	Regular
177,5	15	00+700	00+750	6,1	47	53	Regular
177,5	16	00+750	00+800	7,5	38	62	Bueno
175,0	17	00+800	00+850	6,9	50	50	Regular
175,0	18	00+850	00+900	7,1	58	42	Regular
175,0	19	00+900	00+950	7,8	44	56	Bueno
175,0	20	00+950	01+000	7,2	37	63	Bueno
172,5	21	01+000	01+050	0,0	38	62	Bueno
172,5	22	01+050	01+100	0,0	16	84	Muy Bueno
172,5	23	01+100	01+150	8,2	29	71	Muy Bueno
172,5	24	01+150	01+200	8,3	29	71	Muy Bueno
170,0	25	01+200	01+250	0,0	8	92	Excelente
170,0	26	01+250	01+300	8,0	29	71	Muy Bueno
167,5	27	01+300	01+350	0,0	0	100	Excelente
167,5	28	01+350	01+400	0,0	0	100	Excelente
167,5	29	01+400	01+450	0,0	30	70	Muy Bueno
167,5	30	01+450	01+500	5,6	52	48	Regular
167,5	31	01+500	01+550	0,0	23	77	Muy Bueno
170,0	32	01+550	01+600	8,8	20	80	Muy Bueno
172,5	33	01+600	01+650	0,0	0	100	Excelente
172,5	34	01+650	01+700	8,3	29	71	Muy Bueno
174,0	35	01+700	01+750	0,0	12	88	Excelente
174,0	36	01+750	01+800	4,1	75	25	Malo
170,0	37	01+800	01+850	7,7	29	71	Muy Bueno
170,0	38	01+850	01+900	0,0	64	36	Malo
170,0	39	01+900	01+950	4,1	84	16	Muy Malo
170,0	40	01+950	02+000	6,7	50	50	Regular
171,5	41	02+000	02+050	6,3	53	47	Regular
162,5	42	02+050	02+100	5,3	88	12	Muy Malo
160,0	43	02+100	02+125	9,0	15	85	Excelente
160,0	44	02+125	02+150	6,8	39	61	Bueno
160,0	45	02+150	02+175	0,0	28	72	Muy Bueno
160,0	46	02+175	02+200	7,2	46	54	Regular
160,0	47	02+200	02+225	6,2	56	44	Regular
160,0	48	02+225	02+250	6,2	60	40	Regular
210,0	49	02+250	02+280	7,1	45	55	Bueno
PCI Promedio						67	Bueno

4.1.2. Tramo doble faja carril izquierdo

Tabla 39

Resumen de cuantificación faja 1 (carril izquierdo)

Tipo de Daño	Área Dañada por Severidad			
	1 - Baja	2 - Media	3 - Alta	Total
1 - Piel de cocodrilo (m ²)	6,00	32,20	861,89	900,09
2 - Exudación (m ²)	0,30	0,00	0,00	0,30
3 - Agrietamiento en bloque (m ²)	52,52	76,50	1257,84	1386,86
4 - Abultamientos y hundimientos (m)	0,00	2,00	5,00	7,00
5 - Corrugación (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
6 - Depresión (m ²)	1,00	0,90	9,34	11,24
7 - Grieta de borde (m)	0,00	3,30	9,00	12,30
8 - Grieta de reflexión de junta (m)	202,11	0,00	0,00	202,11
9 - Desnivel carril / berma (m)	0,00	0,00	0,00	0,00
10 - Grietas long y transversal (m)	73,56	251,29	101,50	426,35
11 - Parcheo (m ²)	128,77	174,28	339,90	642,94
12 - Pulimento de agregados (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
13 - Huecos (unidad)	6,00	7,00	11,00	24,00
14 - Cruce de vía férrea (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
15 - Ahuellamiento (m ²)	10,00	0,00	17,56	27,56
16 - Desplazamiento (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
17 - Grieta parabólica (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
18 - Hinchamiento (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
19 - Desprendimiento de agregados (m ²)	1345,00	10003,98	24385,36	35734,34

Tabla 40

PCI faja 1 (carril izquierdo)

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
145,0	1	00+000	00+050	7,3	38	62	Bueno
137,5	2	00+050	00+100	0,0	16	84	Muy Bueno
137,5	3	00+100	00+150	0,0	16	84	Muy Bueno
137,5	4	00+150	00+200	8,7	18	82	Muy Bueno
137,5	5	00+200	00+250	8,4	26	74	Muy Bueno
137,5	6	00+250	00+300	0,0	16	84	Muy Bueno
137,5	7	00+300	00+350	0,0	43	57	Bueno
140,0	8	00+350	00+400	6,2	46	54	Regular
140,0	9	00+400	00+450	0,0	43	57	Bueno
137,5	10	00+450	00+500	6,2	45	55	Bueno
137,5	11	00+500	00+550	0,0	43	57	Bueno
137,5	12	00+550	00+600	0,0	43	57	Bueno
137,5	13	00+600	00+650	6,2	58	42	Regular
137,5	14	00+650	00+700	0,0	43	57	Bueno
137,5	15	00+700	00+750	0,0	43	57	Bueno
137,5	16	00+750	00+800	6,2	48	52	Regular
136,0	17	00+800	00+850	6,2	45	55	Bueno
137,5	18	00+850	00+900	6,2	45	55	Bueno
137,5	19	00+900	00+950	0,0	43	57	Bueno
137,5	20	00+950	01+000	6,2	46	54	Regular
137,5	21	01+000	01+050	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	22	01+050	01+100	3,1	81	19	Muy Malo
137,5	23	01+100	01+150	3,2	78	22	Muy Malo
135,0	24	01+150	01+200	3,1	80	20	Muy Malo
136,5	25	01+200	01+250	3,1	79	21	Muy Malo
137,0	26	01+250	01+300	0,0	77	23	Muy Malo
137,0	27	01+300	01+350	3,1	79	21	Muy Malo
137,0	28	01+350	01+400	6,2	45	55	Bueno
137,5	29	01+400	01+450	0,0	43	57	Bueno
137,5	30	01+450	01+500	0,0	43	57	Bueno
138,0	31	01+500	01+550	3,1	79	21	Muy Malo
138,5	32	01+550	01+600	3,1	81	19	Muy Malo
137,5	33	01+600	01+650	3,1	83	17	Muy Malo
137,5	34	01+650	01+700	0,0	77	23	Muy Malo
135,0	35	01+700	01+750	0,0	77	23	Muy Malo
135,0	36	01+750	01+800	0,0	10	90	Excelente
137,5	37	01+800	01+850	3,1	81	19	Muy Malo
138,5	38	01+850	01+900	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	39	01+900	01+950	3,1	79	21	Muy Malo
139,0	40	01+950	02+000	6,2	49	51	Regular
139,0	41	02+000	02+050	3,3	79	21	Muy Malo
139,0	42	02+050	02+100	0,0	77	23	Muy Malo
139,0	43	02+100	02+150	3,1	81	19	Muy Malo
138,5	44	02+150	02+200	0,0	77	23	Muy Malo
138,0	45	02+200	02+250	6,2	47	53	Regular
139,0	46	02+250	02+300	3,1	81	19	Muy Malo

Tabla 41

PCI faja 1 (carril izquierdo), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
139,0	47	02+300	02+350	3,1	81	19	Muy Malo
139,0	48	02+350	02+400	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	49	02+400	02+450	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	50	02+450	02+500	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	51	02+500	02+550	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	52	02+550	02+600	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	53	02+600	02+650	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	54	02+650	02+700	0,0	43	57	Bueno
137,5	55	02+700	02+750	0,0	43	57	Bueno
137,5	56	02+750	02+800	0,0	43	57	Bueno
137,5	57	02+800	02+850	3,2	80	20	Muy Malo
137,5	58	02+850	02+900	6,3	44	56	Bueno
137,5	59	02+900	02+950	0,0	43	57	Bueno
137,5	60	02+950	03+000	6,2	47	53	Regular
139,0	61	03+000	03+050	5,5	69	31	Malo
137,5	62	03+050	03+100	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	63	03+100	03+150	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	64	03+150	03+200	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	65	03+200	03+250	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	66	03+250	03+300	3,1	81	19	Muy Malo
137,5	67	03+300	03+350	3,1	79	21	Muy Malo
137,0	68	03+350	03+400	6,2	60	40	Regular
136,5	69	03+400	03+450	3,1	79	21	Muy Malo
136,5	70	03+450	03+500	0,0	43	57	Bueno
136,5	71	03+500	03+550	6,2	45	55	Bueno
136,5	72	03+550	03+600	0,0	43	57	Bueno
136,5	73	03+600	03+650	6,2	47	53	Regular
136,5	74	03+650	03+700	0,0	43	57	Bueno
136,5	75	03+700	03+750	0,0	43	57	Bueno
136,5	76	03+750	03+800	0,0	43	57	Bueno
136,5	77	03+800	03+850	0,0	43	57	Bueno
136,5	78	03+850	03+900	0,0	43	57	Bueno
136,5	79	03+900	03+950	0,0	43	57	Bueno
136,5	80	03+950	04+000	0,0	43	57	Bueno
136,5	81	04+000	04+050	0,0	77	23	Muy Malo
136,5	82	04+050	04+100	3,3	91	9	Fallado
136,5	83	04+100	04+150	3,1	81	19	Muy Malo
136,5	84	04+150	04+200	3,1	81	19	Muy Malo
136,5	85	04+200	04+250	0,0	77	23	Muy Malo
136,5	86	04+250	04+300	0,0	77	23	Muy Malo
136,5	87	04+300	04+350	0,0	77	23	Muy Malo
136,5	88	04+350	04+400	0,0	77	23	Muy Malo
136,5	89	04+400	04+450	0,0	77	23	Muy Malo
136,5	90	04+450	04+500	0,0	77	23	Muy Malo
136,5	91	04+500	04+550	3,1	79	21	Muy Malo
136,5	92	04+550	04+600	3,1	81	19	Muy Malo

Tabla 42

PCI faja 1 (carril izquierdo), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
135,0	93	04+600	04+650	6,2	58	42	Regular
137,5	94	04+650	04+700	3,1	83	17	Muy Malo
137,5	95	04+700	04+750	0,0	43	57	Bueno
137,5	96	04+750	04+800	0,0	43	57	Bueno
139,0	97	04+800	04+850	0,0	43	57	Bueno
139,0	98	04+850	04+900	0,0	43	57	Bueno
139,0	99	04+900	04+950	4,4	74	26	Malo
139,0	100	04+950	05+000	3,1	85	15	Muy Malo
136,5	101	05+000	05+050	6,2	45	55	Bueno
136,5	102	05+050	05+100	6,2	54	46	Regular
136,5	103	05+100	05+150	6,2	45	55	Bueno
136,5	104	05+150	05+200	6,2	45	55	Bueno
136,5	105	05+200	05+250	6,2	45	55	Bueno
136,5	106	05+250	05+300	0,0	43	57	Bueno
136,5	107	05+300	05+350	6,2	46	54	Regular
136,5	108	05+350	05+400	6,2	45	55	Bueno
136,5	109	05+400	05+450	0,0	43	57	Bueno
136,5	110	05+450	05+500	6,2	47	53	Regular
136,5	111	05+500	05+550	6,2	47	53	Regular
136,5	112	05+550	05+600	3,1	81	19	Muy Malo
137,5	113	05+600	05+650	3,3	77	23	Muy Malo
137,5	114	05+650	05+700	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	115	05+700	05+750	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	116	05+750	05+800	3,1	79	21	Muy Malo
142,5	117	05+800	05+850	6,2	50	50	Regular
142,5	118	05+850	05+900	6,2	49	51	Regular
142,5	119	05+900	05+950	0,0	43	57	Bueno
150,0	120	05+950	06+000	0,0	42	58	Bueno
151,5	121	06+000	06+050	6,2	55	45	Regular
151,5	122	06+050	06+100	0,0	43	57	Bueno
152,5	123	06+100	06+150	6,2	46	54	Regular
152,5	124	06+150	06+200	6,2	45	55	Bueno
150,0	125	06+200	06+250	6,2	46	54	Regular
161,5	126	06+250	06+300	6,2	45	55	Bueno
162,5	127	06+300	06+350	0,0	43	57	Bueno
168,5	128	06+350	06+400	0,0	43	57	Bueno
163,0	129	06+400	06+450	0,0	43	57	Bueno
162,5	130	06+450	06+500	0,0	43	57	Bueno
162,5	131	06+500	06+550	3,1	81	19	Muy Malo
162,5	132	06+550	06+600	0,0	77	23	Muy Malo
165,0	133	06+600	06+650	0,0	77	23	Muy Malo
165,0	134	06+650	06+700	0,0	77	23	Muy Malo
165,0	135	06+700	06+750	3,1	79	21	Muy Malo
165,0	136	06+750	06+800	3,1	79	21	Muy Malo
165,0	137	06+800	06+850	3,1	79	21	Muy Malo
165,0	138	06+850	06+900	0,0	77	23	Muy Malo

Tabla 43

PCI faja 1 (carril izquierdo), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
165,0	139	06+900	06+950	0,0	77	23	Muy Malo
165,0	140	06+950	07+000	3,1	79	21	Muy Malo
315,0	141	07+000	07+050	3,1	79	21	Muy Malo
315,0	142	07+050	07+100	0,0	77	23	Muy Malo
315,0	143	07+100	07+150	3,1	79	21	Muy Malo
315,0	144	07+150	07+200	3,1	79	21	Muy Malo
157,5	145	07+200	07+250	3,1	79	21	Muy Malo
157,5	146	07+250	07+300	3,1	79	21	Muy Malo
157,5	147	07+300	07+350	0,0	77	23	Muy Malo
157,5	148	07+350	07+400	0,0	77	23	Muy Malo
156,5	149	07+400	07+450	3,1	79	21	Muy Malo
156,5	150	07+450	07+500	0,0	77	23	Muy Malo
156,5	151	07+500	07+550	3,1	79	21	Muy Malo
156,5	152	07+550	07+600	0,0	77	23	Muy Malo
156,5	153	07+600	07+650	3,1	79	21	Muy Malo
156,5	154	07+650	07+700	3,1	79	21	Muy Malo
156,5	155	07+700	07+750	3,1	79	21	Muy Malo
156,5	156	07+750	07+800	3,1	81	19	Muy Malo
157,5	157	07+800	07+850	0,0	77	23	Muy Malo
157,5	158	07+850	07+900	0,0	77	23	Muy Malo
157,5	159	07+900	07+950	3,1	81	19	Muy Malo
157,5	160	07+950	08+000	3,1	82	18	Muy Malo
154,0	161	08+000	08+050	3,7	82	18	Muy Malo
154,0	162	08+050	08+100	7,0	54	46	Regular
152,5	163	08+100	08+150	9,0	15	85	Excelente
152,5	164	08+150	08+200	3,4	78	22	Muy Malo
154,0	165	08+200	08+250	3,1	81	19	Muy Malo
154,0	166	08+250	08+300	0,0	77	23	Muy Malo
154,0	167	08+300	08+350	3,8	81	19	Muy Malo
154,0	168	08+350	08+400	0,0	77	23	Muy Malo
154,0	169	08+400	08+450	0,0	25	75	Muy Bueno
154,0	170	08+450	08+500	0,0	77	23	Muy Malo
153,0	171	08+500	08+550	3,1	96	4	Fallado
153,0	172	08+550	08+600	0,0	77	23	Muy Malo
152,5	173	08+600	08+650	3,1	81	19	Muy Malo
152,5	174	08+650	08+700	3,1	79	21	Muy Malo
153,0	175	08+700	08+750	3,1	87	13	Muy Malo
153,0	176	08+750	08+800	3,1	99	1	Fallado
152,5	177	08+800	08+850	2,9	100	0	Fallado
152,5	178	08+850	08+900	3,3	100	0	Fallado
152,5	179	08+900	08+950	3,1	94	6	Fallado
152,5	180	08+950	09+000	0,0	6	94	Excelente
152,5	181	09+000	09+050	3,1	97	3	Fallado
152,5	182	09+050	09+100	3,1	95	5	Fallado
152,5	183	09+100	09+150	3,1	99	1	Fallado
152,5	184	09+150	09+200	3,1	100	0	Fallado

Tabla 44

PCI faja 1 (carril izquierdo), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
152,5	185	09+200	09+250	3,1	92	8	Fallado
152,5	186	09+250	09+300	3,1	90	10	Muy Malo
152,5	187	09+300	09+350	3,1	100	0	Fallado
152,5	188	09+350	09+400	3,1	100	0	Fallado
152,5	189	09+400	09+450	3,1	96	4	Fallado
152,5	190	09+450	09+500	3,1	100	0	Fallado
152,5	191	09+500	09+550	3,1	96	4	Fallado
152,5	192	09+550	09+600	3,7	92	8	Fallado
152,5	193	09+600	09+650	3,1	79	21	Muy Malo
152,5	194	09+650	09+700	0,0	77	23	Muy Malo
152,5	195	09+700	09+750	3,1	100	0	Fallado
152,5	196	09+750	09+800	3,1	100	0	Fallado
152,5	197	09+800	09+850	3,1	98	2	Fallado
152,5	198	09+850	09+900	3,1	79	21	Muy Malo
152,5	199	09+900	09+950	3,1	93	7	Fallado
152,5	200	09+950	10+000	0,0	77	23	Muy Malo
152,5	201	10+000	10+050	3,1	87	13	Muy Malo
202,5	202	10+050	10+100	3,1	81	19	Muy Malo
250,0	203	10+100	10+150	3,1	88	12	Muy Malo
250,0	204	10+150	10+200	3,1	100	0	Fallado
255,0	205	10+200	10+250	3,1	81	19	Muy Malo
155,0	206	10+250	10+300	6,1	79	21	Muy Malo
155,0	207	10+300	10+350	0,0	77	23	Muy Malo
150,0	208	10+350	10+400	0,0	77	23	Muy Malo
150,0	209	10+400	10+450	6,2	58	42	Regular
150,0	210	10+450	10+500	3,1	81	19	Muy Malo
152,5	211	10+500	10+550	3,1	81	19	Muy Malo
152,5	212	10+550	10+600	3,1	82	18	Muy Malo
152,5	213	10+600	10+650	3,1	93	7	Fallado
152,5	214	10+650	10+700	3,1	79	21	Muy Malo
155,0	215	10+700	10+750	3,1	100	0	Fallado
155,0	216	10+750	10+800	3,1	92	8	Fallado
155,0	217	10+800	10+850	3,1	100	0	Fallado
155,0	218	10+850	10+900	2,7	89	11	Muy Malo
155,0	219	10+900	10+950	3,9	86	14	Muy Malo
155,0	220	10+950	11+000	3,0	94	6	Fallado
162,5	221	11+000	11+050	3,1	92	8	Fallado
162,5	222	11+050	11+100	3,1	89	11	Muy Malo
162,5	223	11+100	11+150	3,7	76	24	Muy Malo
162,5	224	11+150	11+200	0,0	0	100	Excelente
162,5	225	11+200	11+250	0,0	77	23	Muy Malo
162,5	226	11+250	11+300	3,1	81	19	Muy Malo
162,5	227	11+300	11+350	3,1	99	1	Fallado
162,5	228	11+350	11+400	3,0	100	0	Fallado
162,5	229	11+400	11+450	4,9	59	41	Regular
162,5	230	11+450	11+500	3,1	79	21	Muy Malo
162,5	231	11+500	11+550	0,0	16	84	Muy Bueno
187,5	232	11+550	11+600	8,3	29	71	Muy Bueno
286,0	233	11+600	11+655	0,0	77	23	Muy Malo
PCI Promedio						32	Malo

Tabla 45*Resumen de cuantificación faja 2 (carril izquierdo)*

Tipo de Daño	Área Dañada por Severidad			
	1 - Baja	2 - Media	3 - Alta	Total
1 - Piel de cocodrilo (m ²)	0,00	16,17	415,00	431,17
2 - Exudación (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
3 - Agrietamiento en bloque (m ²)	2,03	76,07	977,05	1055,15
4 - Abultamientos y hundimientos (m)	26,00	13,00	37,00	76,00
5 - Corrugación (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
6 - Depresión (m ²)	0,00	2,07	19,15	21,22
7 - Grieta de borde (m)	74,40	34,20	30,00	138,60
8 - Grieta de reflexión de junta (m)	1566,83	8,00	0,00	1574,83
9 - Desnivel carril / berma (m)	0,00	0,00	0,00	0,00
10 - Grietas long y transversal (m)	181,25	382,23	254,10	817,58
11 - Parcheo (m ²)	115,03	166,05	1233,90	1514,99
12 - Pulimento de agregados (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
13 - Huecos (unidad)	13,00	7,00	12,00	32,00
14 - Cruce de vía férrea (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
15 - Ahuellamiento (m ²)	12,30	0,00	12,40	24,70
16 - Desplazamiento (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
17 - Grieta parabólica (m ²)	2,10	0,00	0,00	2,10
18 - Hinchamiento (m ²)	0,00	0,00	1,80	1,80
19 - Desprendimiento de agregados (m ²)	1345,00	9982,27	21612,80	32940,07

Tabla 46

PCI faja 2 (carril izquierdo)

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
145,0	1	00+000	00+050	7,3	36	64	Bueno
137,5	2	00+050	00+100	0,0	15	85	Excelente
137,5	3	00+100	00+150	8,7	18	82	Muy Bueno
137,5	4	00+150	00+200	0,0	16	84	Muy Bueno
137,5	5	00+200	00+250	0,0	15	85	Excelente
137,5	6	00+250	00+300	0,0	15	85	Excelente
137,5	7	00+300	00+350	0,0	42	58	Bueno
137,5	8	00+350	00+400	6,2	44	56	Bueno
140,0	9	00+400	00+450	6,2	44	56	Bueno
137,5	10	00+450	00+500	6,2	47	53	Regular
137,5	11	00+500	00+550	0,0	43	57	Bueno
137,5	12	00+550	00+600	0,0	43	57	Bueno
137,5	13	00+600	00+650	6,2	49	51	Regular
137,5	14	00+650	00+700	0,0	43	57	Bueno
137,5	15	00+700	00+750	0,0	43	57	Bueno
137,5	16	00+750	00+800	6,2	49	51	Regular
136,0	17	00+800	00+850	6,2	45	55	Bueno
137,5	18	00+850	00+900	6,2	45	55	Bueno
137,5	19	00+900	00+950	6,2	45	55	Bueno
137,5	20	00+950	01+000	6,1	66	34	Malo
137,5	21	01+000	01+050	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	22	01+050	01+100	3,1	81	19	Muy Malo
137,5	23	01+100	01+150	3,2	81	19	Muy Malo
135,0	24	01+150	01+200	3,1	81	19	Muy Malo
136,5	25	01+200	01+250	3,1	79	21	Muy Malo
137,0	26	01+250	01+300	0,0	77	23	Muy Malo
137,0	27	01+300	01+350	0,0	77	23	Muy Malo
137,0	28	01+350	01+400	6,2	47	53	Regular
137,5	29	01+400	01+450	0,0	43	57	Bueno
137,5	30	01+450	01+500	6,2	45	55	Bueno
138,0	31	01+500	01+550	0,0	77	23	Muy Malo
138,5	32	01+550	01+600	3,1	81	19	Muy Malo
137,5	33	01+600	01+650	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	34	01+650	01+700	0,0	77	23	Muy Malo
135,0	35	01+700	01+750	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	36	01+750	01+800	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	37	01+800	01+850	3,1	81	19	Muy Malo
138,5	38	01+850	01+900	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	39	01+900	01+950	3,1	79	21	Muy Malo
139,0	40	01+950	02+000	6,2	47	53	Regular
139,0	41	02+000	02+050	3,3	77	23	Muy Malo
139,0	42	02+050	02+100	3,1	79	21	Muy Malo
139,0	43	02+100	02+150	3,1	81	19	Muy Malo
138,5	44	02+150	02+200	0,0	77	23	Muy Malo
138,0	45	02+200	02+250	6,2	47	53	Regular
139,0	46	02+250	02+300	3,1	81	19	Muy Malo
139,0	47	02+300	02+350	3,1	82	18	Muy Malo

Tabla 47

PCI faja 2 (carril izquierdo), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
139,0	48	02+350	02+400	0,0	76	24	Muy Malo
137,5	49	02+400	02+450	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	50	02+450	02+500	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	51	02+500	02+550	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	52	02+550	02+600	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	53	02+600	02+650	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	54	02+650	02+700	0,0	43	57	Bueno
137,5	55	02+700	02+750	0,0	43	57	Bueno
137,5	56	02+750	02+800	0,0	43	57	Bueno
137,5	57	02+800	02+850	3,2	80	20	Muy Malo
137,5	58	02+850	02+900	6,3	44	56	Bueno
137,5	59	02+900	02+950	0,0	43	57	Bueno
137,5	60	02+950	03+000	6,2	49	51	Regular
139,0	61	03+000	03+050	5,5	69	31	Malo
137,5	62	03+050	03+100	3,1	79	21	Muy Malo
137,5	63	03+100	03+150	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	64	03+150	03+200	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	65	03+200	03+250	3,1	81	19	Muy Malo
137,5	66	03+250	03+300	3,1	81	19	Muy Malo
137,5	67	03+300	03+350	3,1	100	0	Fallado
137,0	68	03+350	03+400	3,1	82	18	Muy Malo
136,5	69	03+400	03+450	3,1	78	22	Muy Malo
136,5	70	03+450	03+500	0,0	43	57	Bueno
136,5	71	03+500	03+550	6,2	47	53	Regular
136,5	72	03+550	03+600	6,2	49	51	Regular
136,5	73	03+600	03+650	6,2	49	51	Regular
136,5	74	03+650	03+700	6,2	50	50	Regular
136,5	75	03+700	03+750	6,2	44	56	Bueno
136,5	76	03+750	03+800	6,2	44	56	Bueno
136,5	77	03+800	03+850	6,2	44	56	Bueno
136,5	78	03+850	03+900	0,0	42	58	Bueno
136,5	79	03+900	03+950	6,2	46	54	Regular
136,5	80	03+950	04+000	6,2	48	52	Regular
136,5	81	04+000	04+050	3,1	81	19	Muy Malo
136,5	82	04+050	04+100	3,3	100	0	Fallado
136,5	83	04+100	04+150	3,1	85	15	Muy Malo
136,5	84	04+150	04+200	3,1	81	19	Muy Malo
136,5	85	04+200	04+250	3,1	79	21	Muy Malo
136,5	86	04+250	04+300	3,1	79	21	Muy Malo
136,5	87	04+300	04+350	0,0	77	23	Muy Malo
136,5	88	04+350	04+400	0,0	77	23	Muy Malo
136,5	89	04+400	04+450	0,0	43	57	Bueno
136,5	90	04+450	04+500	0,0	77	23	Muy Malo
136,5	91	04+500	04+550	3,1	79	21	Muy Malo
136,5	92	04+550	04+600	3,1	81	19	Muy Malo
135,0	93	04+600	04+650	6,2	57	43	Regular
137,5	94	04+650	04+700	3,1	81	19	Muy Malo

Tabla 48

PCI faja 2 (carril izquierdo), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
137,5	95	04+700	04+750	0,0	43	57	Bueno
137,5	96	04+750	04+800	0,0	43	57	Bueno
139,0	97	04+800	04+850	0,0	43	57	Bueno
139,0	98	04+850	04+900	0,0	43	57	Bueno
139,0	99	04+900	04+950	4,4	74	26	Malo
139,0	100	04+950	05+000	3,1	81	19	Muy Malo
136,5	101	05+000	05+050	6,2	45	55	Bueno
136,5	102	05+050	05+100	6,2	54	46	Regular
136,5	103	05+100	05+150	6,2	45	55	Bueno
136,5	104	05+150	05+200	6,2	45	55	Bueno
136,5	105	05+200	05+250	6,2	45	55	Bueno
136,5	106	05+250	05+300	0,0	43	57	Bueno
136,5	107	05+300	05+350	6,2	45	55	Bueno
136,5	108	05+350	05+400	6,2	45	55	Bueno
136,5	109	05+400	05+450	0,0	43	57	Bueno
136,5	110	05+450	05+500	6,2	47	53	Regular
136,5	111	05+500	05+550	3,1	81	19	Muy Malo
136,5	112	05+550	05+600	3,1	83	17	Muy Malo
137,5	113	05+600	05+650	0,0	75	25	Malo
137,5	114	05+650	05+700	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	115	05+700	05+750	0,0	77	23	Muy Malo
137,5	116	05+750	05+800	3,1	79	21	Muy Malo
142,5	117	05+800	05+850	0,0	43	57	Bueno
142,5	118	05+850	05+900	6,2	45	55	Bueno
142,5	119	05+900	05+950	0,0	43	57	Bueno
150,0	120	05+950	06+000	6,2	45	55	Bueno
151,5	121	06+000	06+050	6,2	45	55	Bueno
151,5	122	06+050	06+100	0,0	43	57	Bueno
152,5	123	06+100	06+150	6,2	47	53	Regular
152,5	124	06+150	06+200	6,2	45	55	Bueno
150,0	125	06+200	06+250	6,2	46	54	Regular
161,5	126	06+250	06+300	6,2	45	55	Bueno
162,5	127	06+300	06+350	0,0	43	57	Bueno
168,5	128	06+350	06+400	0,0	43	57	Bueno
163,0	129	06+400	06+450	6,2	45	55	Bueno
162,5	130	06+450	06+500	4,6	73	27	Malo
162,5	131	06+500	06+550	3,1	82	18	Muy Malo
162,5	132	06+550	06+600	3,1	79	21	Muy Malo
165,0	133	06+600	06+650	3,1	79	21	Muy Malo
165,0	134	06+650	06+700	0,0	0	100	Excelente
165,0	135	06+700	06+750	3,1	79	21	Muy Malo
165,0	136	06+750	06+800	3,1	79	21	Muy Malo
165,0	137	06+800	06+850	3,1	79	21	Muy Malo
165,0	138	06+850	06+900	0,0	77	23	Muy Malo
165,0	139	06+900	06+950	3,1	79	21	Muy Malo
165,0	140	06+950	07+000	3,1	87	13	Muy Malo
315,0	141	07+000	07+050	0,0	77	23	Muy Malo

Tabla 49

PCI faja 2 (carril izquierdo), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
315,0	142	07+050	07+100	3,1	81	19	Muy Malo
315,0	143	07+100	07+150	3,1	79	21	Muy Malo
315,0	144	07+150	07+200	3,1	84	16	Muy Malo
157,5	145	07+200	07+250	3,1	95	5	Fallado
157,5	146	07+250	07+300	3,1	95	5	Fallado
157,5	147	07+300	07+350	3,1	100	0	Fallado
157,5	148	07+350	07+400	3,1	95	5	Fallado
156,5	149	07+400	07+450	7,2	36	64	Bueno
156,5	150	07+450	07+500	3,1	89	11	Muy Malo
156,5	151	07+500	07+550	3,1	93	7	Fallado
156,5	152	07+550	07+600	3,1	94	6	Fallado
156,5	153	07+600	07+650	3,1	96	4	Fallado
156,5	154	07+650	07+700	3,1	96	4	Fallado
156,5	155	07+700	07+750	3,1	100	0	Fallado
156,5	156	07+750	07+800	3,1	95	5	Fallado
157,5	157	07+800	07+850	3,1	95	5	Fallado
157,5	158	07+850	07+900	3,1	96	4	Fallado
157,5	159	07+900	07+950	3,1	96	4	Fallado
157,5	160	07+950	08+000	3,0	96	4	Fallado
154,0	161	08+000	08+050	3,4	97	3	Fallado
154,0	162	08+050	08+100	3,1	81	19	Muy Malo
152,5	163	08+100	08+150	8,1	29	71	Muy Bueno
152,5	164	08+150	08+200	3,4	76	24	Muy Malo
154,0	165	08+200	08+250	0,0	77	23	Muy Malo
154,0	166	08+250	08+300	0,0	77	23	Muy Malo
154,0	167	08+300	08+350	3,8	73	27	Malo
154,0	168	08+350	08+400	3,1	81	19	Muy Malo
154,0	169	08+400	08+450	3,1	79	21	Muy Malo
154,0	170	08+450	08+500	3,1	87	13	Muy Malo
153,0	171	08+500	08+550	0,0	77	23	Muy Malo
153,0	172	08+550	08+600	3,1	86	14	Muy Malo
152,5	173	08+600	08+650	3,1	79	21	Muy Malo
152,5	174	08+650	08+700	0,0	77	23	Muy Malo
153,0	175	08+700	08+750	0,0	77	23	Muy Malo
153,0	176	08+750	08+800	3,1	81	19	Muy Malo
152,5	177	08+800	08+850	3,1	96	4	Fallado
152,5	178	08+850	08+900	3,3	100	0	Fallado
152,5	179	08+900	08+950	0,0	77	23	Muy Malo
152,5	180	08+950	09+000	3,1	79	21	Muy Malo
152,5	181	09+000	09+050	3,1	79	21	Muy Malo
152,5	182	09+050	09+100	3,1	82	18	Muy Malo
152,5	183	09+100	09+150	3,1	98	2	Fallado
152,5	184	09+150	09+200	3,1	100	0	Fallado
152,5	185	09+200	09+250	3,1	98	2	Fallado
152,5	186	09+250	09+300	3,1	81	19	Muy Malo
152,5	187	09+300	09+350	3,1	85	15	Muy Malo
152,5	188	09+350	09+400	3,1	100	0	Fallado

Tabla 50

PCI faja 2 (carril izquierdo), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
152,5	189	09+400	09+450	3,1	96	4	Fallado
152,5	190	09+450	09+500	3,1	98	2	Fallado
152,5	191	09+500	09+550	3,1	79	21	Muy Malo
152,5	192	09+550	09+600	3,1	93	7	Fallado
152,5	193	09+600	09+650	3,1	81	19	Muy Malo
152,5	194	09+650	09+700	0,0	77	23	Muy Malo
152,5	195	09+700	09+750	3,1	94	6	Fallado
152,5	196	09+750	09+800	3,1	91	9	Fallado
152,5	197	09+800	09+850	3,1	92	8	Fallado
152,5	198	09+850	09+900	3,1	79	21	Muy Malo
152,5	199	09+900	09+950	3,1	89	11	Muy Malo
152,5	200	09+950	10+000	0,0	77	23	Muy Malo
152,5	201	10+000	10+050	0,0	77	23	Muy Malo
202,5	202	10+050	10+100	0,0	77	23	Muy Malo
250,0	203	10+100	10+150	0,0	77	23	Muy Malo
250,0	204	10+150	10+200	3,1	79	21	Muy Malo
255,0	205	10+200	10+250	3,1	79	21	Muy Malo
155,0	206	10+250	10+300	0,0	43	57	Bueno
155,0	207	10+300	10+350	0,0	77	23	Muy Malo
150,0	208	10+350	10+400	0,0	77	23	Muy Malo
150,0	209	10+400	10+450	0,0	43	57	Bueno
150,0	210	10+450	10+500	3,1	79	21	Muy Malo
152,5	211	10+500	10+550	3,1	79	21	Muy Malo
152,5	212	10+550	10+600	8,6	24	76	Muy Bueno
152,5	213	10+600	10+650	3,1	94	6	Fallado
152,5	214	10+650	10+700	3,1	86	14	Muy Malo
155,0	215	10+700	10+750	3,1	100	0	Fallado
155,0	216	10+750	10+800	4,5	80	20	Muy Malo
155,0	217	10+800	10+850	3,1	100	0	Fallado
155,0	218	10+850	10+900	3,8	97	3	Fallado
155,0	219	10+900	10+950	4,4	85	15	Muy Malo
155,0	220	10+950	11+000	3,1	96	4	Fallado
162,5	221	11+000	11+050	6,1	55	45	Regular
162,5	222	11+050	11+100	3,1	84	16	Muy Malo
162,5	223	11+100	11+150	5,7	51	49	Regular
162,5	224	11+150	11+200	4,2	71	29	Malo
162,5	225	11+200	11+250	5,7	51	49	Regular
162,5	226	11+250	11+300	3,1	93	7	Fallado
162,5	227	11+300	11+350	3,7	80	20	Muy Malo
162,5	228	11+350	11+400	2,7	84	16	Muy Malo
162,5	229	11+400	11+450	0,0	0	100	Excelente
162,5	230	11+450	11+500	7,4	34	66	Bueno
162,5	231	11+500	11+550	7,1	40	60	Bueno
187,5	232	11+550	11+600	8,7	18	82	Muy Bueno
286,0	233	11+600	11+655	0,0	77	23	Muy Malo
PCI Promedio						32	Malo

4.1.3. Tramo doble faja carril derecho

Tabla 51

Resumen de cuantificación faja 1 (carril derecho)

Tipo de Daño	Area Dañada por Severidad			
	1 - Baja	2 - Media	3 - Alta	Total
1 - Piel de cocodrilo (m ²)	695,91	311,34	142,90	1150,15
2 - Exudación (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
3 - Agrietamiento en bloque (m ²)	132,11	12766,26	1623,93	14522,30
4 - Abultamientos y hundimientos (m)	7,00	4,00	0,00	11,00
5 - Corrugación (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
6 - Depresión (m ²)	8,70	1,20	4,69	14,59
7 - Grieta de borde (m)	25,00	0,00	0,00	25,00
8 - Grieta de reflexión de junta (m)	8,42	0,01	0,00	8,43
9 - Desnivel carril / berma (m)	0,00	0,00	0,00	0,00
10 - Grietas long y transversal (m)	279,55	44,77	11,11	335,43
11 - Parcheo (m ²)	336,08	346,38	132,26	814,72
12 - Pulimento de agregados (m ²)	447,10	0,00	0,00	447,10
13 - Huecos (unidad)	12,00	9,00	8,00	29,00
14 - Cruce de vía férrea (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
15 - Ahuellamiento (m ²)	0,80	1,75	21,10	23,65
16 - Desplazamiento (m ²)	157,50	0,00	0,00	157,50
17 - Grieta parabólica (m ²)	0,00	6,40	0,00	6,40
18 - Hinchamiento (m ²)	0,00	8,57	2,40	10,97
19 - Desprendimiento de agregados (m ²)	9504,81	18174,45	3337,29	31016,55

Tabla 52

PCI faja 1 (carril derecho)

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
224,0	1	02+280	02+350	5,1	84	16	Muy Malo
160,0	2	02+350	02+400	6,2	45	55	Bueno
165,0	3	02+400	02+450	8,0	33	67	Bueno
165,0	4	02+450	02+500	5,6	67	33	Malo
160,0	5	02+500	02+550	6,6	58	42	Regular
160,0	6	02+550	02+600	7,3	46	54	Regular
160,0	7	02+600	02+650	5,1	65	35	Malo
160,0	8	02+650	02+700	5,6	78	22	Muy Malo
160,0	9	02+700	02+750	6,7	42	58	Bueno
160,0	10	02+750	02+800	6,9	46	54	Regular
160,0	11	02+800	02+850	0,0	0	100	Excelente
160,0	12	02+850	02+900	6,0	48	52	Regular
160,0	13	02+900	02+950	7,7	34	66	Bueno
160,0	14	02+950	03+000	6,4	55	45	Regular
155,0	15	03+000	03+050	8,2	29	71	Muy Bueno
155,0	16	03+050	03+100	5,3	61	39	Malo
155,0	17	03+100	03+150	6,2	56	44	Regular
155,0	18	03+150	03+200	5,6	80	20	Muy Malo
156,5	19	03+200	03+250	6,4	57	43	Regular
157,5	20	03+250	03+300	3,9	93	7	Fallado
157,5	21	03+300	03+350	6,7	40	60	Bueno
157,5	22	03+350	03+400	6,2	45	55	Bueno
160,0	23	03+400	03+450	7,1	38	62	Bueno
160,0	24	03+450	03+500	0,0	16	84	Muy Bueno
160,0	25	03+500	03+550	7,6	34	66	Bueno
160,0	26	03+550	03+600	8,3	27	73	Muy Bueno
160,0	27	03+600	03+650	4,1	72	28	Malo
160,0	28	03+650	03+700	0,0	16	84	Muy Bueno
160,0	29	03+700	03+750	8,2	32	68	Bueno
160,0	30	03+750	03+800	6,0	58	42	Regular
159,0	31	03+800	03+850	7,3	48	52	Regular
159,0	32	03+850	03+900	6,8	41	59	Bueno
160,0	33	03+900	03+950	7,5	31	69	Bueno
160,0	34	03+950	04+000	0,0	16	84	Muy Bueno
160,0	35	04+000	04+050	8,3	27	73	Muy Bueno
160,0	36	04+050	04+100	8,7	24	76	Muy Bueno
160,0	37	04+100	04+150	8,0	37	63	Bueno
160,0	38	04+150	04+200	8,0	29	71	Muy Bueno
157,5	39	04+200	04+250	6,5	50	50	Regular
157,5	40	04+250	04+300	6,1	48	52	Regular
162,5	41	04+300	04+350	0,0	16	84	Muy Bueno
157,5	42	04+350	04+400	0,0	36	64	Bueno
159,5	43	04+400	04+450	0,0	43	57	Bueno
159,5	44	04+450	04+500	0,0	16	84	Muy Bueno
159,5	45	04+500	04+550	0,0	43	57	Bueno
157,5	46	04+550	04+600	6,2	45	55	Bueno
157,5	47	04+600	04+650	5,8	68	32	Malo
157,5	48	04+650	04+700	6,1	64	36	Malo

Tabla 53

PCI faja 1 (carril derecho), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
157,5	49	04+700	04+750	6,2	61	39	Malo
157,5	50	04+750	04+800	6,1	63	37	Malo
155,0	51	04+800	04+850	5,0	73	27	Malo
154,0	52	04+850	04+900	6,1	68	32	Malo
154,5	53	04+900	04+950	6,2	59	41	Regular
155,0	54	04+950	05+000	6,2	55	45	Regular
155,0	55	05+000	05+050	8,3	27	73	Muy Bueno
155,0	56	05+050	05+100	5,0	66	34	Malo
155,0	57	05+100	05+150	6,8	39	61	Bueno
154,0	58	05+150	05+200	6,8	39	61	Bueno
156,5	59	05+200	05+250	6,9	40	60	Bueno
156,5	60	05+250	05+300	6,7	40	60	Bueno
155,0	61	05+300	05+350	6,5	41	59	Bueno
155,0	62	05+350	05+400	6,8	39	61	Bueno
152,5	63	05+400	05+450	6,2	60	40	Regular
152,5	64	05+450	05+500	7,6	38	62	Bueno
154,5	65	05+500	05+550	8,4	28	72	Muy Bueno
154,0	66	05+550	05+600	6,2	45	55	Bueno
155,0	67	05+600	05+650	0,0	43	57	Bueno
155,0	68	05+650	05+700	7,2	37	63	Bueno
155,0	69	05+700	05+750	6,2	45	55	Bueno
155,5	70	05+750	05+800	0,0	44	56	Bueno
155,0	71	05+800	05+850	6,2	49	51	Regular
154,0	72	05+850	05+900	7,5	41	59	Bueno
154,0	73	05+900	05+950	7,8	31	69	Bueno
155,0	74	05+950	06+000	0,0	30	70	Muy Bueno
157,5	75	06+000	06+050	0,0	44	56	Bueno
152,5	76	06+050	06+100	0,0	43	57	Bueno
150,0	77	06+100	06+150	4,8	64	36	Malo
151,5	78	06+150	06+200	6,6	43	57	Bueno
160,0	79	06+200	06+250	0,0	16	84	Muy Bueno
160,0	80	06+250	06+300	6,2	45	55	Bueno
157,5	81	06+300	06+350	4,0	74	26	Malo
157,5	82	06+350	06+400	0,0	43	57	Bueno
151,5	83	06+400	06+450	5,7	67	33	Malo
151,5	84	06+450	06+500	0,0	43	57	Bueno
155,0	85	06+500	06+550	0,0	77	23	Muy Malo
152,5	86	06+550	06+600	6,5	42	58	Bueno
155,0	87	06+600	06+650	7,1	36	64	Bueno
155,0	88	06+650	06+700	0,0	16	84	Muy Bueno
155,0	89	06+700	06+750	0,0	43	57	Bueno
155,0	90	06+750	06+800	6,2	48	52	Regular
157,5	91	06+800	06+850	4,1	77	23	Muy Malo
157,5	92	06+850	06+900	0,0	76	24	Muy Malo
175,0	93	06+900	06+950	3,9	75	25	Malo
177,5	94	06+950	07+000	0,0	43	57	Bueno
170,0	95	07+000	07+050	0,0	43	57	Bueno
170,0	96	07+050	07+100	0,0	43	57	Bueno

Tabla 54

PCI faja 1 (carril derecho), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
170,0	97	07+100	07+150	6,2	45	55	Bueno
167,5	98	07+150	07+200	6,2	45	55	Bueno
168,0	99	07+200	07+250	0,0	43	57	Bueno
167,5	100	07+250	07+300	0,0	43	57	Bueno
167,5	101	07+300	07+350	0,0	43	57	Bueno
167,5	102	07+350	07+400	3,8	74	26	Malo
167,5	103	07+400	07+450	6,2	54	46	Regular
171,5	104	07+450	07+500	6,8	39	61	Bueno
169,0	105	07+500	07+550	4,4	75	25	Malo
169,0	106	07+550	07+600	4,4	75	25	Malo
169,0	107	07+600	07+650	4,0	72	28	Malo
167,5	108	07+650	07+700	0,0	43	57	Bueno
167,5	109	07+700	07+750	6,2	45	55	Bueno
166,5	110	07+750	07+800	6,9	40	60	Bueno
169,0	111	07+800	07+850	0,0	43	57	Bueno
167,5	112	07+850	07+900	0,0	43	57	Bueno
164,0	113	07+900	07+950	0,0	43	57	Bueno
162,5	114	07+950	08+000	0,0	43	57	Bueno
154,0	115	08+000	08+050	8,2	35	65	Bueno
135,0	116	08+050	08+100	7,8	35	65	Bueno
137,5	117	08+100	08+150	6,3	61	39	Malo
140,0	118	08+150	08+200	4,9	74	26	Malo
139,5	119	08+200	08+250	4,9	79	21	Muy Malo
139,0	120	08+250	08+300	6,2	60	40	Regular
141,0	121	08+300	08+350	3,1	94	6	Fallado
140,0	122	08+350	08+400	3,1	94	6	Fallado
260,0	123	08+400	08+500	6,2	76	24	Muy Malo
258,0	124	08+500	08+600	6,2	64	36	Malo
260,0	125	08+600	08+700	6,2	68	32	Malo
135,0	126	08+700	08+750	6,2	62	38	Malo
135,0	127	08+750	08+800	6,2	70	30	Malo
135,0	128	08+800	08+850	6,3	54	46	Regular
135,0	129	08+850	08+900	6,4	63	37	Malo
135,5	130	08+900	08+950	3,8	90	10	Muy Malo
135,0	131	08+950	09+000	6,3	50	50	Regular
135,0	132	09+000	09+050	6,2	64	36	Malo
135,0	133	09+050	09+100	6,2	69	31	Malo
135,0	134	09+100	09+150	6,2	62	38	Malo
135,0	135	09+150	09+200	6,2	62	38	Malo
135,0	136	09+200	09+250	6,2	78	22	Muy Malo
137,5	137	09+250	09+300	4,8	84	16	Muy Malo
137,5	138	09+300	09+350	4,1	85	15	Muy Malo
137,5	139	09+350	09+400	6,2	66	34	Malo
137,5	140	09+400	09+450	6,2	62	38	Malo
137,5	141	09+450	09+500	3,7	79	21	Muy Malo
137,5	142	09+500	09+550	3,1	94	6	Fallado
137,5	143	09+550	09+600	3,1	87	13	Muy Malo
137,5	144	09+600	09+650	3,7	98	2	Fallado

Tabla 55

PCI faja 1 (carril derecho), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
140,0	145	09+650	09+700	3,7	79	21	Muy Malo
140,0	146	09+700	09+750	3,7	94	6	Fallado
140,0	147	09+750	09+800	3,8	90	10	Muy Malo
140,0	148	09+800	09+850	4,4	80	20	Muy Malo
139,0	149	09+850	09+900	6,3	58	42	Regular
139,0	150	09+900	09+950	6,2	62	38	Malo
139,0	151	09+950	10+000	6,2	62	38	Malo
142,5	152	10+000	10+050	6,2	62	38	Malo
140,0	153	10+050	10+100	6,2	62	38	Malo
140,0	154	10+100	10+150	6,2	62	38	Malo
140,0	155	10+150	10+200	6,2	62	38	Malo
140,0	156	10+200	10+250	6,2	68	32	Malo
140,0	157	10+250	10+300	6,3	58	42	Regular
137,5	158	10+300	10+350	6,2	67	33	Malo
137,5	159	10+350	10+400	6,2	64	36	Malo
140,0	160	10+400	10+450	6,2	64	36	Malo
140,0	161	10+450	10+500	6,4	69	31	Malo
140,0	162	10+500	10+550	5,5	75	25	Malo
140,0	163	10+550	10+600	6,2	64	36	Malo
140,0	164	10+600	10+650	6,2	83	17	Muy Malo
142,5	165	10+650	10+700	6,3	65	35	Malo
142,5	166	10+700	10+750	6,2	64	36	Malo
142,5	167	10+750	10+800	6,2	62	38	Malo
147,5	168	10+800	10+850	0,0	18	82	Muy Bueno
147,5	169	10+850	10+900	3,1	83	17	Muy Malo
147,0	170	10+900	10+950	3,1	87	13	Muy Malo
147,5	171	10+950	11+000	3,3	93	7	Fallado
147,5	172	11+000	11+050	3,1	84	16	Muy Malo
147,5	173	11+050	11+100	3,1	98	2	Fallado
147,5	174	11+100	11+150	3,1	96	4	Fallado
147,5	175	11+150	11+200	6,2	62	38	Malo
147,5	176	11+200	11+250	3,1	94	6	Fallado
147,5	177	11+250	11+300	6,2	62	38	Malo
147,5	178	11+300	11+350	6,2	62	38	Malo
147,5	179	11+350	11+400	6,2	68	32	Malo
147,5	180	11+400	11+450	6,2	65	35	Malo
147,5	181	11+450	11+500	6,2	64	36	Malo
147,5	182	11+500	11+550	6,2	62	38	Malo
147,5	183	11+550	11+600	6,2	62	38	Malo
140,0	184	11+600	11+650	4,4	92	8	Fallado
140,0	185	11+650	11+700	6,2	81	19	Muy Malo
140,0	186	11+700	11+750	6,2	74	26	Malo
140,0	187	11+750	11+800	6,4	78	22	Muy Malo
135,0	188	11+800	11+850	6,2	83	17	Muy Malo
135,0	189	11+850	11+900	5,2	96	4	Fallado
135,0	190	11+900	11+950	3,1	100	0	Fallado
135,0	191	11+950	12+000	6,2	68	32	Malo
135,0	192	12+000	12+050	6,2	62	38	Malo

Tabla 56

PCI faja 1 (carril derecho), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
135,0	193	12+050	12+100	6,2	62	38	Malo
137,5	194	12+100	12+150	3,1	88	12	Muy Malo
137,5	195	12+150	12+200	6,2	62	38	Malo
137,5	196	12+200	12+250	6,2	62	38	Malo
137,5	197	12+250	12+300	6,2	62	38	Malo
137,5	198	12+300	12+350	6,2	62	38	Malo
137,5	199	12+350	12+400	5,5	83	17	Muy Malo
137,5	200	12+400	12+450	6,2	77	23	Muy Malo
137,5	201	12+450	12+500	6,2	62	38	Malo
137,5	202	12+500	12+550	3,1	82	18	Muy Malo
137,5	203	12+550	12+600	5,3	88	12	Muy Malo
137,5	204	12+600	12+650	3,1	100	0	Fallado
137,5	205	12+650	12+700	6,2	63	37	Malo
137,5	206	12+700	12+750	6,2	62	38	Malo
137,5	207	12+750	12+800	6,2	62	38	Malo
265,0	208	12+800	12+900	7,5	41	59	Bueno
265,0	209	12+900	13+000	0,0	14	86	Excelente
135,0	210	12+950	13+000	6,2	45	55	Bueno
137,5	211	13+000	13+050	6,2	45	55	Bueno
137,5	212	13+050	13+100	6,2	45	55	Bueno
137,5	213	13+100	13+150	6,2	49	51	Regular
137,5	214	13+150	13+200	6,2	45	55	Bueno
137,5	215	13+200	13+250	6,2	45	55	Bueno
137,5	216	13+250	13+300	6,2	45	55	Bueno
137,5	217	13+300	13+350	6,2	48	52	Regular
137,5	218	13+350	13+400	6,2	45	55	Bueno
137,5	219	13+400	13+450	6,2	45	55	Bueno
137,5	220	13+450	13+500	6,2	45	55	Bueno
137,5	221	13+500	13+550	6,2	45	55	Bueno
137,5	222	13+550	13+600	6,2	45	55	Bueno
137,5	223	13+600	13+650	6,2	45	55	Bueno
137,5	224	13+650	13+700	6,2	45	55	Bueno
137,5	225	13+700	13+750	6,2	45	55	Bueno
137,5	226	13+750	13+800	6,2	45	55	Bueno
137,5	227	13+800	13+850	6,2	62	38	Malo
229,5	228	13+850	13+935	6,2	47	53	Regular
PCI Promedio						43	Regular

Tabla 57*Resumen de cuantificación faja 2 (carril derecho)*

Tipo de Daño	Area Dañada por Severidad			
	1 - Baja	2 - Media	3 - Alta	Total
1 - Piel de cocodrilo (m ²)	1075,61	468,38	54,24	1598,23
2 - Exudación (m ²)	62,00	18,56	0,00	80,56
3 - Agrietamiento en bloque (m ²)	75,84	9990,32	3716,97	13783,13
4 - Abultamientos y hundimientos (m)	54,00	0,00	0,00	54,00
5 - Corrugación (m ²)	0,00	0,00	6,10	6,10
6 - Depresión (m ²)	0,00	10,91	130,41	141,32
7 - Grieta de borde (m)	114,00	35,00	5,00	154,00
8 - Grieta de reflexión de junta (m)	2578,61	76,01	0,00	2654,62
9 - Desnivel carril / berma (m)	0,00	26,00	0,00	26,00
10 - Grietas long y transversal (m)	503,53	48,50	18,40	570,43
11 - Parcheo (m ²)	880,78	556,49	127,59	1564,85
12 - Pulimento de agregados (m ²)	481,40	0,00	0,00	481,40
13 - Huecos (unidad)	27,00	21,00	19,00	67,00
14 - Cruce de vía férrea (m ²)	0,00	0,00	0,00	0,00
15 - Ahuellamiento (m ²)	5,10	12,75	14,20	32,05
16 - Desplazamiento (m ²)	0,00	2,00	0,00	2,00
17 - Grieta parabólica (m ²)	0,02	6,00	0,00	6,02
18 - Hinchamiento (m ²)	0,46	10,95	1,00	12,41
19 - Desprendimiento de agregados (m ²)	8932,31	15310,84	4803,16	29046,31

Tabla 58

PCI Faja 2 (Carril Derecho)

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
224,0	1	02+280	02+350	5,1	71	29	Malo
160,0	2	02+350	02+400	4,9	84	16	Muy Malo
165,0	3	02+400	02+450	5,9	68	32	Malo
165,0	4	02+450	02+500	5,7	51	49	Regular
160,0	5	02+500	02+550	6,7	40	60	Bueno
160,0	6	02+550	02+600	6,7	40	60	Bueno
160,0	7	02+600	02+650	5,9	77	23	Muy Malo
160,0	8	02+650	02+700	5,0	70	30	Malo
160,0	9	02+700	02+750	5,0	66	34	Malo
160,0	10	02+750	02+800	5,0	72	28	Malo
160,0	11	02+800	02+850	0,0	41	59	Bueno
160,0	12	02+850	02+900	0,0	32	68	Bueno
160,0	13	02+900	02+950	5,5	53	47	Regular
160,0	14	02+950	03+000	0,0	52	48	Regular
155,0	15	03+000	03+050	8,2	24	76	Muy Bueno
155,0	16	03+050	03+100	6,1	60	40	Regular
155,0	17	03+100	03+150	6,2	57	43	Regular
155,0	18	03+150	03+200	6,4	45	55	Bueno
156,5	19	03+200	03+250	6,4	74	26	Malo
157,5	20	03+250	03+300	3,8	83	17	Muy Malo
157,5	21	03+300	03+350	0,0	16	84	Muy Bueno
157,5	22	03+350	03+400	6,2	47	53	Regular
160,0	23	03+400	03+450	7,5	31	69	Bueno
160,0	24	03+450	03+500	0,0	0	100	Excelente
160,0	25	03+500	03+550	6,6	54	46	Regular
160,0	26	03+550	03+600	8,5	27	73	Muy Bueno
160,0	27	03+600	03+650	5,4	65	35	Malo
160,0	28	03+650	03+700	0,0	16	84	Muy Bueno
160,0	29	03+700	03+750	0,0	0	100	Excelente
160,0	30	03+750	03+800	5,3	57	43	Regular
159,0	31	03+800	03+850	4,0	78	22	Muy Malo
159,0	32	03+850	03+900	6,2	63	37	Malo
160,0	33	03+900	03+950	8,7	21	79	Muy Bueno
160,0	34	03+950	04+000	0,0	16	84	Muy Bueno
160,0	35	04+000	04+050	7,6	32	68	Bueno
160,0	36	04+050	04+100	8,3	27	73	Muy Bueno
160,0	37	04+100	04+150	7,2	52	48	Regular
160,0	38	04+150	04+200	8,1	30	70	Muy Bueno
157,5	39	04+200	04+250	8,7	22	78	Muy Bueno
157,5	40	04+250	04+300	8,9	16	84	Muy Bueno
162,5	41	04+300	04+350	8,6	24	76	Muy Bueno
157,5	42	04+350	04+400	7,2	50	50	Regular
159,5	43	04+400	04+450	0,0	43	57	Bueno
159,5	44	04+450	04+500	8,7	18	82	Muy Bueno
159,5	45	04+500	04+550	0,0	45	55	Bueno
157,5	46	04+550	04+600	6,2	59	41	Regular
157,5	47	04+600	04+650	6,1	63	37	Malo

Tabla 59

PCI Faja 2 (Carril Derecho), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
157,5	48	04+650	04+700	6,2	60	40	Regular
157,5	49	04+700	04+750	6,2	49	51	Regular
157,5	50	04+750	04+800	6,2	51	49	Regular
155,0	51	04+800	04+850	7,3	35	65	Bueno
154,0	52	04+850	04+900	8,1	27	73	Muy Bueno
154,5	53	04+900	04+950	4,8	81	19	Muy Malo
155,0	54	04+950	05+000	5,0	78	22	Muy Malo
155,0	55	05+000	05+050	7,6	33	67	Bueno
155,0	56	05+050	05+100	6,4	60	40	Regular
155,0	57	05+100	05+150	8,1	29	71	Muy Bueno
154,0	58	05+150	05+200	5,7	51	49	Regular
156,5	59	05+200	05+250	6,5	44	56	Bueno
156,5	60	05+250	05+300	6,8	43	57	Bueno
155,0	61	05+300	05+350	6,1	48	52	Regular
155,0	62	05+350	05+400	6,7	40	60	Bueno
152,5	63	05+400	05+450	6,1	63	37	Malo
152,5	64	05+450	05+500	6,6	52	48	Regular
154,5	65	05+500	05+550	8,7	24	76	Muy Bueno
154,0	66	05+550	05+600	0,0	43	57	Bueno
155,0	67	05+600	05+650	0,0	43	57	Bueno
155,0	68	05+650	05+700	7,2	37	63	Bueno
155,0	69	05+700	05+750	0,0	43	57	Bueno
155,5	70	05+750	05+800	0,0	43	57	Bueno
155,0	71	05+800	05+850	6,2	45	55	Bueno
154,0	72	05+850	05+900	7,5	36	64	Bueno
154,0	73	05+900	05+950	0,0	16	84	Muy Bueno
155,0	74	05+950	06+000	0,0	1	99	Excelente
157,5	75	06+000	06+050	6,2	45	55	Bueno
152,5	76	06+050	06+100	6,2	54	46	Regular
150,0	77	06+100	06+150	4,8	71	29	Malo
151,5	78	06+150	06+200	6,6	60	40	Regular
160,0	79	06+200	06+250	7,2	36	64	Bueno
160,0	80	06+250	06+300	6,2	53	47	Regular
157,5	81	06+300	06+350	4,0	80	20	Muy Malo
157,5	82	06+350	06+400	6,2	53	47	Regular
151,5	83	06+400	06+450	4,1	68	32	Malo
151,5	84	06+450	06+500	6,2	47	53	Regular
155,0	85	06+500	06+550	3,1	83	17	Muy Malo
152,5	86	06+550	06+600	6,2	50	50	Regular
155,0	87	06+600	06+650	7,1	50	50	Regular
155,0	88	06+650	06+700	8,4	27	73	Muy Bueno
155,0	89	06+700	06+750	6,2	50	50	Regular
155,0	90	06+750	06+800	7,8	28	72	Muy Bueno
157,5	91	06+800	06+850	5,0	72	28	Malo
157,5	92	06+850	06+900	5,5	68	32	Malo
175,0	93	06+900	06+950	3,9	75	25	Malo
177,5	94	06+950	07+000	6,2	45	55	Bueno

Tabla 60

PCI Faja 2 (Carril Derecho), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
170,0	95	07+000	07+050	0,0	43	57	Bueno
170,0	96	07+050	07+100	0,0	43	57	Bueno
170,0	97	07+100	07+150	6,2	45	55	Bueno
167,5	98	07+150	07+200	0,0	43	57	Bueno
168,0	99	07+200	07+250	0,0	43	57	Bueno
167,5	100	07+250	07+300	6,2	44	56	Bueno
167,5	101	07+300	07+350	0,0	-1	101	Excelente
167,5	102	07+350	07+400	4,5	66	34	Malo
167,5	103	07+400	07+450	5,3	70	30	Malo
171,5	104	07+450	07+500	0,0	55	45	Regular
169,0	105	07+500	07+550	0,0	43	57	Bueno
169,0	106	07+550	07+600	0,0	43	57	Bueno
169,0	107	07+600	07+650	5,5	57	43	Regular
167,5	108	07+650	07+700	6,2	46	54	Regular
167,5	109	07+700	07+750	0,0	43	57	Bueno
166,5	110	07+750	07+800	0,0	5	95	Excelente
169,0	111	07+800	07+850	0,0	43	57	Bueno
167,5	112	07+850	07+900	0,0	44	56	Bueno
164,0	113	07+900	07+950	0,0	45	55	Bueno
162,5	114	07+950	08+000	6,2	50	50	Regular
154,0	115	08+000	08+050	7,5	35	65	Bueno
135,0	116	08+050	08+100	6,2	52	48	Regular
137,5	117	08+100	08+150	6,2	85	15	Muy Malo
140,0	118	08+150	08+200	5,3	69	31	Malo
139,5	119	08+200	08+250	7,0	61	39	Malo
139,0	120	08+250	08+300	6,2	67	33	Malo
141,0	121	08+300	08+350	3,1	86	14	Muy Malo
140,0	122	08+350	08+400	3,1	93	7	Fallado
260,0	123	08+400	08+500	4,3	78	22	Muy Malo
258,0	124	08+500	08+600	4,9	75	25	Malo
260,0	125	08+600	08+700	4,9	81	19	Muy Malo
135,0	126	08+700	08+750	4,7	72	28	Malo
135,0	127	08+750	08+800	4,1	78	22	Muy Malo
135,0	128	08+800	08+850	5,3	70	30	Malo
135,0	129	08+850	08+900	6,9	53	47	Regular
135,5	130	08+900	08+950	6,5	46	54	Regular
135,0	131	08+950	09+000	6,3	46	54	Regular
135,0	132	09+000	09+050	6,2	75	25	Malo
135,0	133	09+050	09+100	6,2	69	31	Malo
265,0	134	09+100	09+200	6,2	64	36	Malo
135,0	135	09+200	09+250	6,2	74	26	Malo
137,5	136	09+250	09+300	6,2	80	20	Muy Malo
137,5	137	09+300	09+350	4,0	88	12	Muy Malo
137,5	138	09+350	09+400	5,8	79	21	Muy Malo
137,5	139	09+400	09+450	6,2	67	33	Malo
136,5	140	09+450	09+500	3,7	84	16	Muy Malo
137,5	141	09+500	09+550	3,1	94	6	Fallado

Tabla 61

PCI Faja 2 (Carril Derecho), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
137,5	142	09+550	09+600	3,1	87	13	Muy Malo
137,5	143	09+600	09+650	3,7	98	2	Fallado
140,0	144	09+650	09+700	4,4	90	10	Muy Malo
140,0	145	09+700	09+750	3,7	100	0	Fallado
140,0	146	09+750	09+800	6,1	58	42	Regular
140,0	147	09+800	09+850	6,1	63	37	Malo
139,0	148	09+850	09+900	4,0	93	7	Fallado
139,0	149	09+900	09+950	3,8	88	12	Muy Malo
139,0	150	09+950	10+000	3,6	83	17	Muy Malo
142,5	151	10+000	10+050	4,5	83	17	Muy Malo
140,0	152	10+050	10+100	4,9	71	29	Malo
140,0	153	10+100	10+150	4,6	97	3	Fallado
140,0	154	10+150	10+200	3,6	96	4	Fallado
140,0	155	10+200	10+250	3,3	99	1	Fallado
140,0	156	10+250	10+300	3,8	95	5	Fallado
137,5	157	10+300	10+350	3,6	94	6	Fallado
137,5	158	10+350	10+400	3,4	96	4	Fallado
140,0	159	10+400	10+450	3,6	97	3	Fallado
140,0	160	10+450	10+500	4,9	95	5	Fallado
140,0	161	10+500	10+550	4,0	94	6	Fallado
140,0	162	10+550	10+600	6,3	70	30	Malo
140,0	163	10+600	10+650	4,2	77	23	Muy Malo
142,5	164	10+650	10+700	3,6	85	15	Muy Malo
142,5	165	10+700	10+750	3,4	95	5	Fallado
142,5	166	10+750	10+800	3,4	96	4	Fallado
147,5	167	10+800	10+850	3,1	94	6	Fallado
147,5	168	10+850	10+900	3,8	99	1	Fallado
147,0	169	10+900	10+950	3,4	100	0	Fallado
147,5	170	10+950	11+000	3,3	97	3	Fallado
147,5	171	11+000	11+050	6,1	70	30	Malo
147,5	172	11+050	11+100	5,8	81	19	Muy Malo
147,5	173	11+100	11+150	3,1	94	6	Fallado
147,5	174	11+150	11+200	3,1	93	7	Fallado
147,5	175	11+200	11+250	5,6	82	18	Muy Malo
147,5	176	11+250	11+300	6,2	75	25	Malo
147,5	177	11+300	11+350	6,2	85	15	Muy Malo
147,5	178	11+350	11+400	6,1	92	8	Fallado
147,5	179	11+400	11+450	6,2	69	31	Malo
147,5	180	11+450	11+500	6,2	65	35	Malo
147,5	181	11+500	11+550	3,1	100	0	Fallado
147,5	182	11+550	11+600	5,9	82	18	Muy Malo
140,0	183	11+600	11+650	3,8	85	15	Muy Malo
140,0	184	11+650	11+700	6,2	80	20	Muy Malo
140,0	185	11+700	11+750	7,2	68	32	Malo
140,0	186	11+750	11+800	6,2	72	28	Malo
135,0	187	11+800	11+850	3,1	91	9	Fallado
135,0	188	11+850	11+900	3,1	83	17	Muy Malo

Tabla 62

PCI Faja 2 (Carril Derecho), continua...

Área (m ²)	Unidad De Muestra	Progresiva Inicial	Progresiva Final	m	VRC	PCI	Clasificación
135,0	189	11+900	11+950	5,5	93	7	Fallado
135,0	190	11+950	12+000	6,2	68	32	Malo
135,0	191	12+000	12+050	4,7	88	12	Muy Malo
135,0	192	12+050	12+100	6,2	62	38	Malo
137,5	193	12+100	12+150	3,1	83	17	Muy Malo
137,5	194	12+150	12+200	6,2	54	46	Regular
137,5	195	12+200	12+250	3,1	82	18	Muy Malo
137,5	196	12+250	12+300	4,9	94	6	Fallado
137,5	197	12+300	12+350	3,1	100	0	Fallado
137,5	198	12+350	12+400	3,7	89	11	Muy Malo
137,5	199	12+400	12+450	6,2	65	35	Malo
137,5	200	12+450	12+500	6,2	64	36	Malo
137,5	201	12+500	12+550	1,0	100	0	Fallado
137,5	202	12+550	12+600	6,2	62	38	Malo
137,5	203	12+600	12+650	3,8	96	4	Fallado
137,5	204	12+650	12+700	6,2	61	39	Malo
137,5	205	12+700	12+750	6,2	62	38	Malo
137,5	206	12+750	12+800	6,2	62	38	Malo
265,0	207	12+800	12+900	6,2	54	46	Regular
265,0	208	12+900	13+000	6,2	54	46	Regular
137,5	209	13+000	13+050	3,1	82	18	Muy Malo
137,5	210	13+050	13+100	6,2	45	55	Bueno
137,5	211	13+100	13+150	6,2	49	51	Regular
137,5	212	13+150	13+200	5,9	84	16	Muy Malo
137,5	213	13+200	13+250	6,2	45	55	Bueno
137,5	214	13+250	13+300	6,2	47	53	Regular
137,5	215	13+300	13+350	6,2	48	52	Regular
137,5	216	13+350	13+400	6,2	45	55	Bueno
137,5	217	13+400	13+450	6,2	64	36	Malo
137,5	218	13+450	13+500	6,2	45	55	Bueno
137,5	219	13+500	13+550	6,2	45	55	Bueno
137,5	220	13+550	13+600	6,2	45	55	Bueno
137,5	221	13+600	13+650	6,2	45	55	Bueno
137,5	222	13+650	13+700	6,2	45	55	Bueno
137,5	223	13+700	13+750	6,2	45	55	Bueno
137,5	224	13+750	13+800	6,2	58	42	Regular
137,5	225	13+800	13+850	6,0	48	52	Regular
229,5	226	13+850	13+935	6,3	48	52	Regular
PCI Promedio						39	Malo

4.1.4. Promedio general de PCI

La Tabla 47 muestra los resultados obtenidos con la metodología aplicada, del cual se tiene que la calzada Creciente-Decreciente (CD) en el carril derecho se tiene un PCI promedio de 67 con una calificación general Buena y en el carril izquierdo se tiene un PCI promedio de 58 con una calificación general Buena. En la calzada Únicamente Creciente (UC) en el carril derecho Faja 1 se tiene un PCI promedio de 43 con una calificación general Regular y en la Faja 2 se tiene un PCI promedio de 39 con una calificación general Malo. En la calzada Únicamente Decreciente (UD) en el carril izquierdo Faja 1 se tiene un PCI promedio de 32 con una calificación general Malo y en la Faja 2 se tiene un PCI promedio de 32 con una calificación general Malo. Respecto al PCI promedio general de la vía de 45 con una calificación regular es relativo, dado que las longitudes del tramo CD y UC-UD son de 2+289 km y 11+641 km respectivamente, siendo UC-UD con la longitud más larga y con un PCI promedio que varía entre 32 a 43 y siendo con una calificación Malo en un mayor porcentaje.

Tabla 63

PCI promedio total de la vía

Tramo	Descripción	PCI promedio	Clasificación
Una Calzada	Carril izquierdo	58	Buena
	Carril derecho	67	Buena
Doble calzada	Faja 1, carril izquierdo	32	Malo
	Faja 2, carril izquierdo	32	Malo
	Faja 1, carril derecho	43	Regular
	Faja 2, carril derecho	39	Malo
PCI Promedio Total		45	Regular

4.2. Resultados de tráfico

Aplicando la metodología indicada, se obtiene el IMDS, el cual será afectado por el factor de corrección mensual (FC) para calcular los IMDA. Las Tablas 48, 49 y 50 muestran los IMDA obtenidos por estaciones respectivamente, así como los porcentajes de vehículos livianos y pesados.

4.2.1. E1 - Óvalo Tarapacá

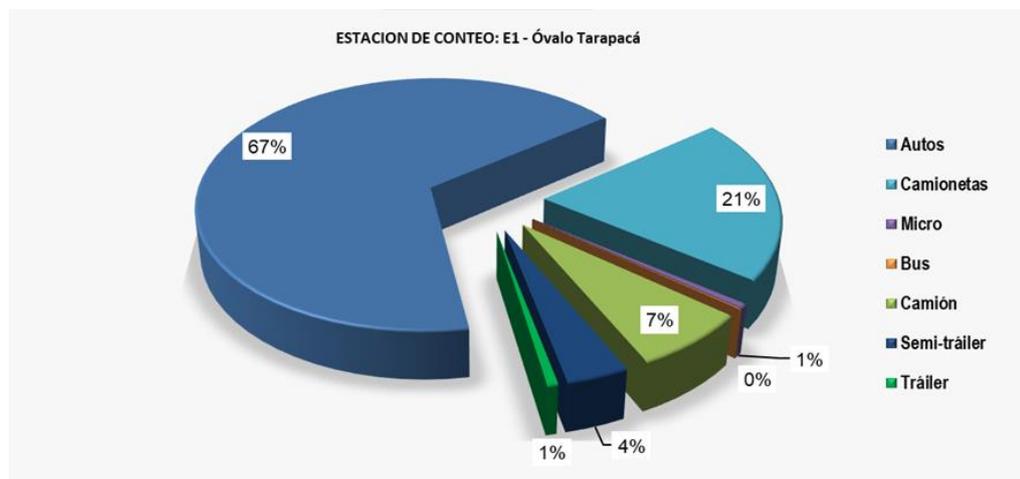
Tramo: Óvalo Tarapacá - Av. Municipal.

Tabla 64

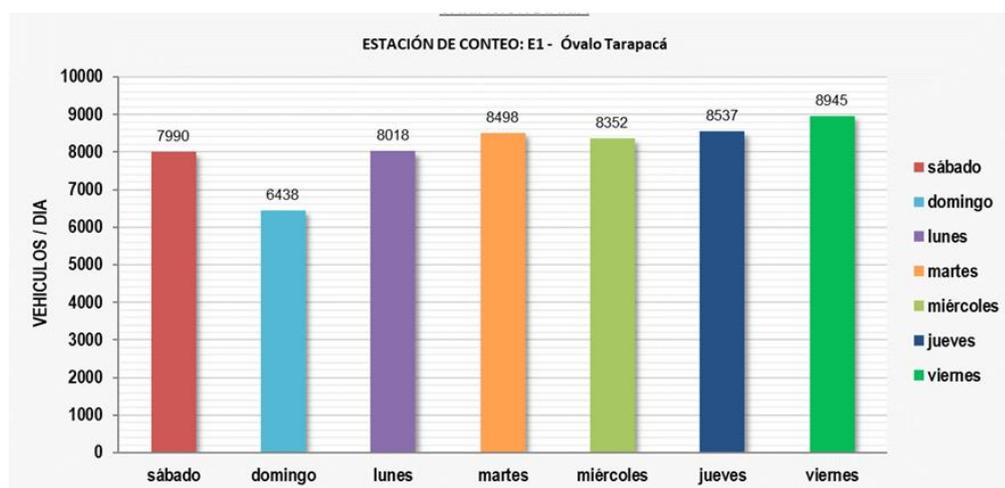
IMDA | E1 - Óvalo Tarapacá

Vehículo	Óvalo Tarapacá - Av. Municipal	Av. Municipal - Óvalo Tarapacá	IMDA	Distribución por Tipo de Vehículo	Distribución por Capacidad de Vehículo
Automóvil	2130	1657	3787	46,8%	
Station Wagon	911	755	1666	20,6%	
Camioneta Pick Up	833	622	1455	18,0%	88,4%
Camioneta Rural	102	108	210	2,6%	
Microbús	22	21	43	0,5%	
Bus 2E	3	3	6	0,1%	
Bus 3E	0	1	1	0,0%	
Bus 4E	0	0	0	0,0%	
Camión 2E	213	217	430	5,3%	
Camión 3E	64	68	132	1,6%	
Camión 4E	7	8	15	0,2%	
Semi-tráiler 2S1/2S2	10	7	17	0,2%	11,6%
Semi-tráiler 2S3	11	13	24	0,3%	
Semi-tráiler 3S1/3S2	22	22	44	0,5%	
Semi-tráiler >=3S3	102	113	215	2,7%	
Tráiler 2T2	2	3	5	0,1%	
Tráiler 2T3	6	4	10	0,1%	
Tráiler 3T2	7	4	11	0,1%	
Tráiler 3T3	13	14	27	0,3%	
TOTAL	4458	3640	8098	100%	100%

Nota. En la estación E1 el IMDA es de 8098 vehículos, de los cuales 7161 son vehículos ligeros que representan el 88,4% y 937 son vehículos pesados que representan el 11,6%. El Tabla 48 muestra el Índice Medio Diario Anual (IMDA).

Figura 53*Composición vehicular | E1*

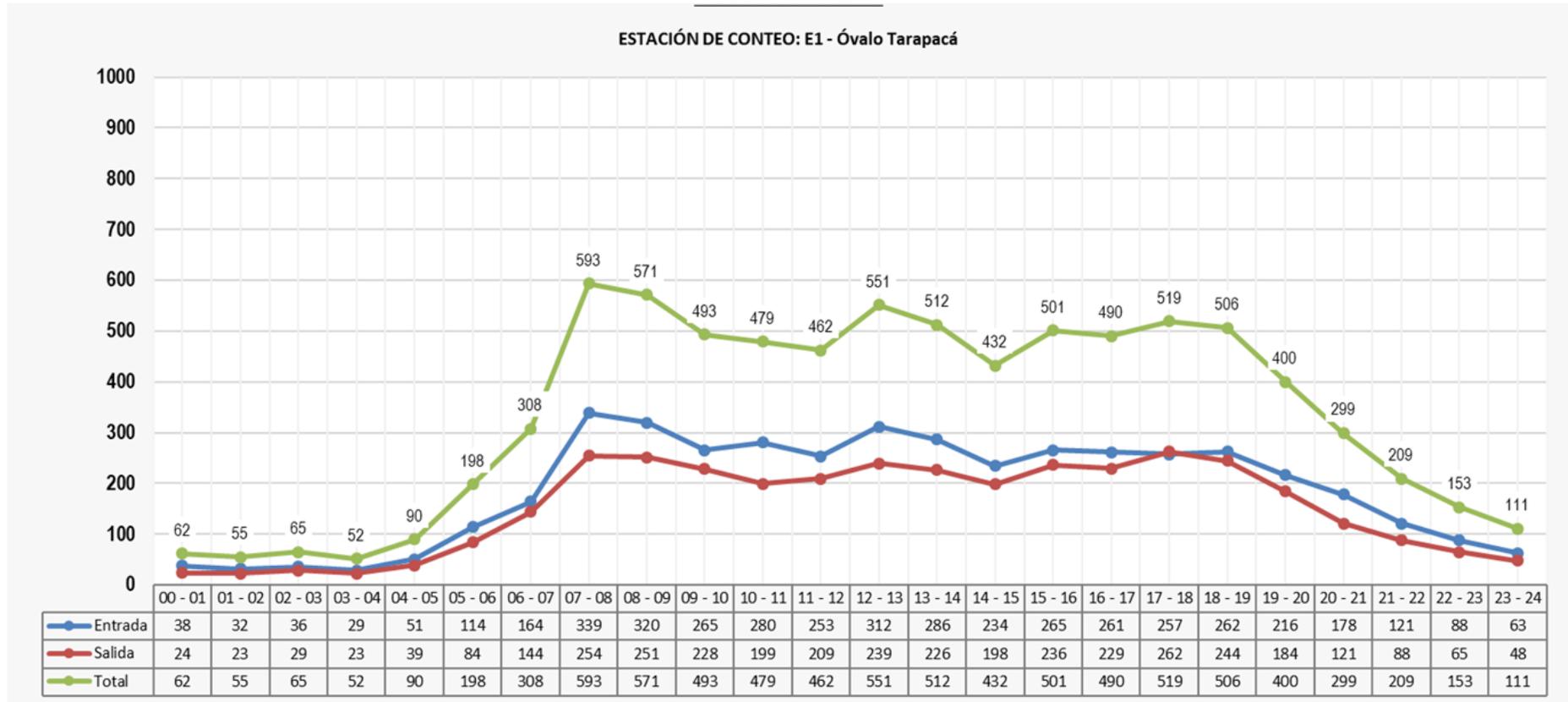
Nota. De la composición vehicular para la estación E1, se observa que los vehículos con mayor incidencia son los autos con 67%, seguido de las camionetas con 21% y los camiones con 7%; en menor incidencia se encuentran los semi-tráiler con 4% y; los micros y tráiler con 1%.

Figura 54*Variación diaria | E1*

Nota. Los días que tienen mayor flujo vehicular son el viernes con 8945 vehículos y jueves con 8537 vehículos respectivamente.

Figura 55

Variación horaria | E1



Nota. La variación horaria con mayor tráfico se presenta en el rango de 07:00 – 09:00 con más de 570 vehículos por hora.

4.2.2. E1.1. - Óvalo Pocollay

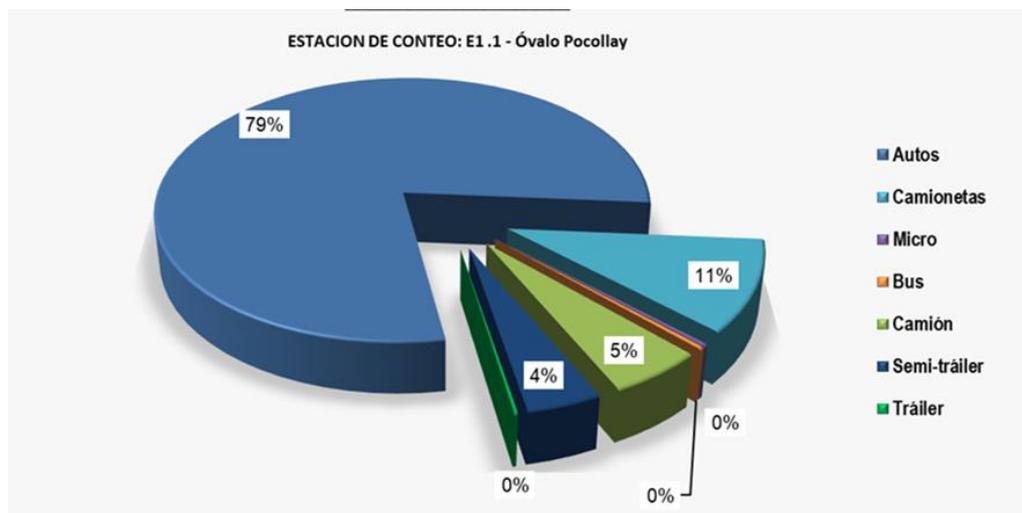
Tramo: Av. Municipal - Óvalo Pocollay.

Tabla 65

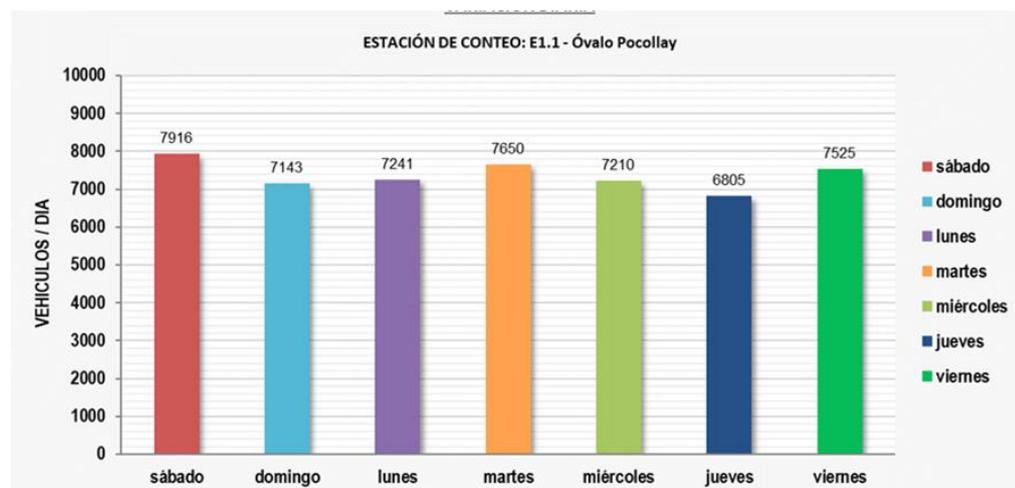
IMDA | E1.1. - Óvalo Pocollay

Vehículo	Av. Municipal - Óvalo Pocollay	Óvalo Pocollay - Av. Municipal	IMDA	Distribución por Tipo de Vehículo	Distribución por Capacidad de Vehículo
Automóvil	1725	1694	3419	46,5%	
Station Wagon	1163	1221	2384	32,4%	
Camioneta Pick Up	308	304	612	8,3%	89,9%
Camioneta Rural	87	88	175	2,4%	
Microbús	11	10	21	0,3%	
Bus 2E	8	8	16	0,2%	
Bus 3E	3	2	5	0,1%	
Bus 4E	0	1	1	0,0%	
Camión 2E	122	122	244	3,3%	
Camión 3E	71	70	141	1,9%	
Camión 4E	4	7	11	0,1%	
Semi-tráiler 2S1/2S2	1	1	2	0,0%	10,1%
Semi-tráiler 2S3	17	16	33	0,4%	
Semi-tráiler 3S1/3S2	14	17	31	0,4%	
Semi-tráiler >=3S3	123	117	240	3,3%	
Tráiler 2T2	1	1	2	0,0%	
Tráiler 2T3	0	0	0	0,0%	
Tráiler 3T2	5	6	11	0,1%	
Tráiler 3T3	1	1	2	0,0%	
TOTAL	3664	3686	7350	100%	100%

Nota. En la estación E1.1 el IMDA es de 7350 vehículos, de los cuales 6611 son vehículos ligeros que representan el 89,9% y 739 son vehículos pesados que representan el 10,1%. La tabla N° 49 muestra el Índice Medio Diario Anual (IMDA).

Figura 56*Composición vehicular | E1.1*

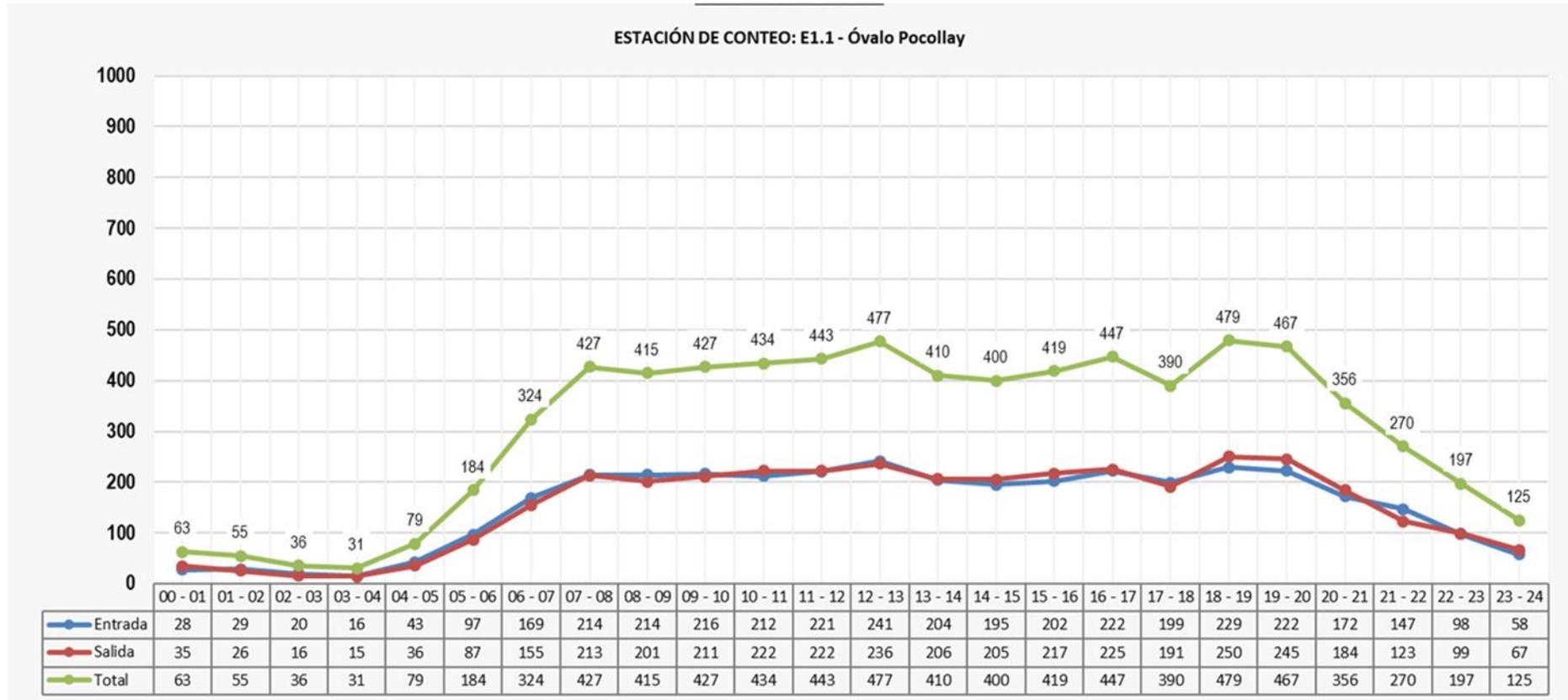
Nota. De la composición vehicular para la estación E1.1, se observa que los vehículos con mayor incidencia son los autos con 79%, seguido de las camionetas con 11%; en menor incidencia se encuentran los camiones con 5% y los semi-tráiler con 4%.

Figura 57*Variación diaria | E1.1*

Nota. Los días que tienen mayor flujo vehicular son el sábado con 7916 vehículos y martes con 7650 vehículos respectivamente.

Figura 58

Variación horaria | E1.1



Nota. La variación horaria con mayor tráfico se presenta en el rango de 18:00 – 20:00 con más de 470 vehículos por hora.

4.2.3. E2 - Dv. Calana

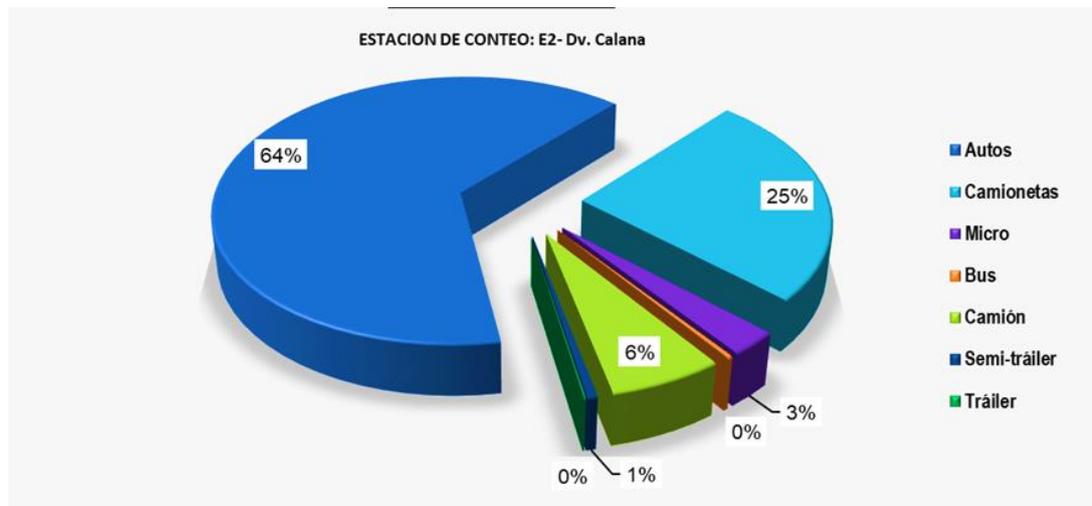
Tramo: Óvalo Pocollay - Dv. Calana.

Tabla 66

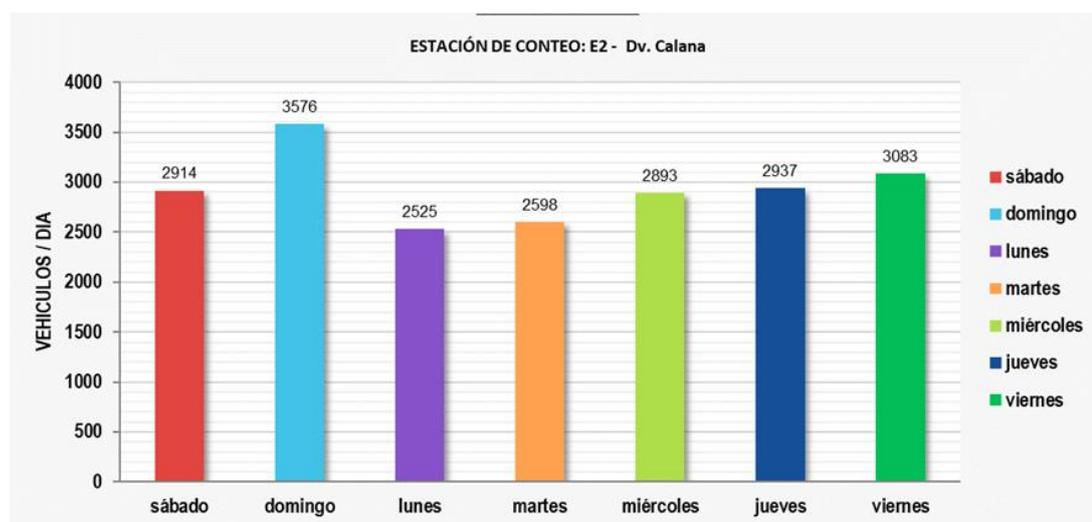
IMDA | E2 - Dv. Calana

Vehículo	Óvalo Pocollay - Dv. Calana	Dv. Calana - Óvalo Pocollay	IMDA	Distribución por Tipo de Vehículo	Distribución por Capacidad de Vehículo
Automóvil	699	710	1409	48,0%	
Station Wagon	243	238	481	16,4%	
Camioneta Pick Up	278	304	582	19,8%	92,6%
Camioneta Rural	80	81	161	5,5%	
Microbús	41	42	83	2,8%	
Bus 2E	3	4	7	0,2%	
Bus 3E	1	1	2	0,1%	
Bus 4E	0	0	0	0,0%	
Camión 2E	77	80	157	5,4%	
Camión 3E	14	16	30	1,0%	
Camión 4E	1	1	2	0,1%	
Semi-tráiler 2S1/2S2	2	2	4	0,1%	7,4%
Semi-tráiler 2S3	1	1	2	0,1%	
Semi-tráiler 3S1/3S2	3	2	5	0,2%	
Semi-tráiler >=3S3	2	4	6	0,2%	
Tráiler 2T2	0	0	0	0,0%	
Tráiler 2T3	0	0	0	0,0%	
Tráiler 3T2	0	0	0	0,0%	
Tráiler 3T3	2	1	3	0,1%	
TOTAL	1447	1487	2934	100%	100%

Nota. En la estación E2 el IMDA es de 2934 vehículos, de los cuales 2716 son vehículos ligeros que representan el 92,6% y 218 son vehículos pesados que representan el 7,4%. La Cuadro N° 50 muestra el Índice Medio Diario Anual (IMDA).

Figura 59*Composición vehicular | E2*

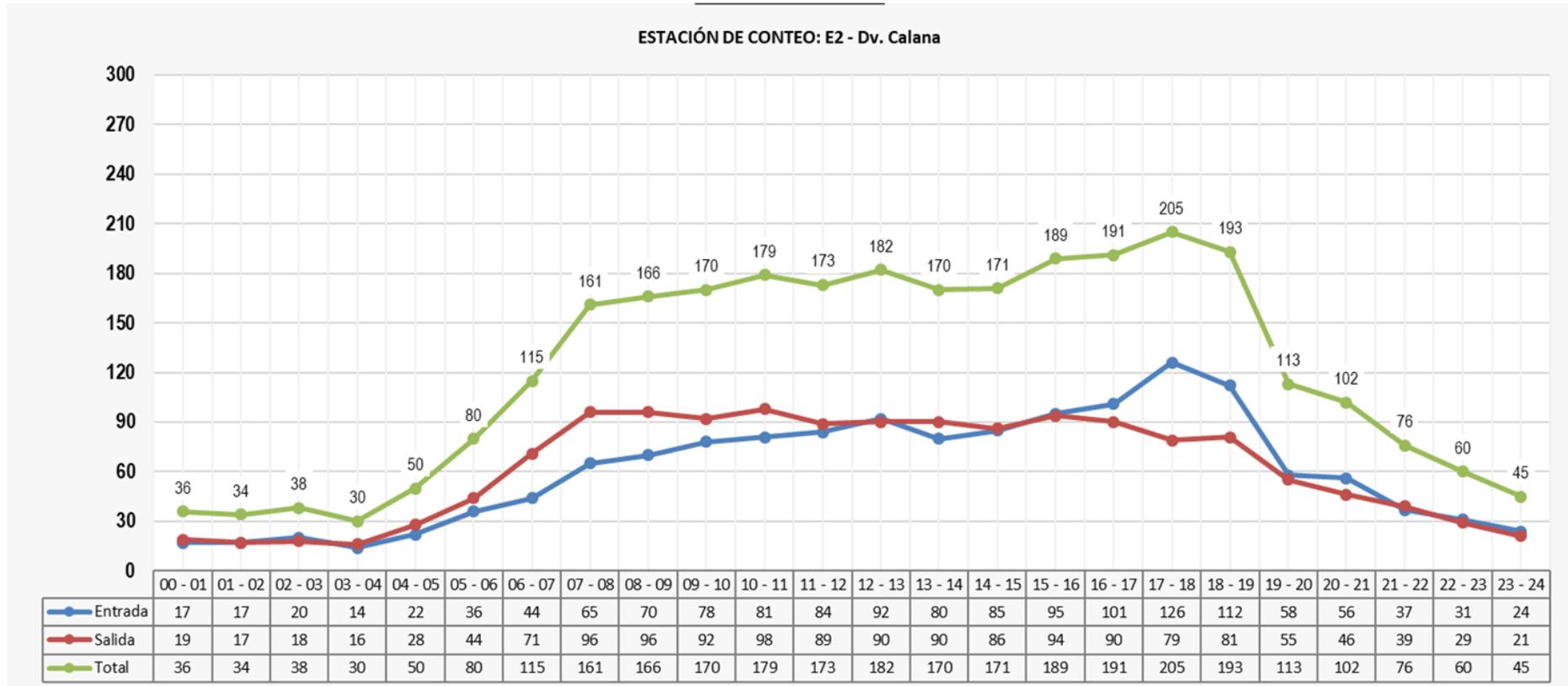
Nota. De la composición vehicular para la estación E2, se observa que los vehículos con mayor incidencia son los autos con 64%, seguido de las camionetas con 25% y los camiones con 6%; en menor incidencia se encuentran los micros con 3% y los semi-tráiler con 1%.

Figura 60*Variación diaria | E2*

Nota. Los días que tienen mayor flujo vehicular son el domingo con 3576 vehículos y viernes con 3083 vehículos.

Figura 61

Variación horaria | E2



Nota. La variación horaria con mayor tráfico se presenta en el rango de 16:00 – 19:00 con más de 190 vehículos por hora.

4.2.4. Ejes equivalentes (ESAL)

La Tabla 51 muestra los resultados de los ejes equivalentes por estación.

Tabla 67

Cuadro resumen de ejes equivalentes (ESAL)

ESAL por Año	E1 - Óvalo Tarapacá	E1,1 - Óvalo Pocollay	E2 - Dv, Calana
2021	-	-	-
2022	-	-	-
2023	-	-	-
2024	3,98E+05	2,22E+05	3,40E+04
2025	8,12E+05	4,53E+05	6,93E+04
2026	1,24E+06	6,92E+05	1,06E+05
2027	1,69E+06	9,41E+05	1,44E+05
2028	2,15E+06	1,20E+06	1,84E+05
2029	2,64E+06	1,47E+06	2,25E+05
2030	3,14E+06	1,75E+06	2,68E+05
2031	3,66E+06	2,04E+06	3,12E+05
2032	4,20E+06	2,34E+06	3,58E+05
2033	4,76E+06	2,65E+06	4,06E+05
2034	5,35E+06	2,98E+06	4,56E+05
2035	5,96E+06	3,32E+06	5,07E+05
2036	6,59E+06	3,67E+06	5,61E+05
2037	7,24E+06	4,03E+06	6,17E+05
2038	7,92E+06	4,41E+06	6,75E+05
2039	8,63E+06	4,80E+06	7,35E+05
2040	9,37E+06	5,21E+06	7,97E+05
2041	1,01E+07	5,64E+06	8,62E+05
2042	1,09E+07	6,08E+06	9,30E+05
2043	1,18E+07	6,54E+06	1,00E+06

Nota. En la estación E1 se tiene un valor de ESAL de 1,18E+07, la estación E1.1 de 6,54E+06 y la estación E2 de 1,00E+06.

4.3. Resultados estudio de suelos

Las figuras del 62 al 81 muestran los resultados de los ensayos de laboratorio para cada calicata como son: Análisis granulométrico, Proctor modificado y CBR. Las cuales nos muestran las propiedades y características de los suelos.

4.3.1. Análisis granulométrico

Figura 62

Análisis granulométrico por tamizado para C-01

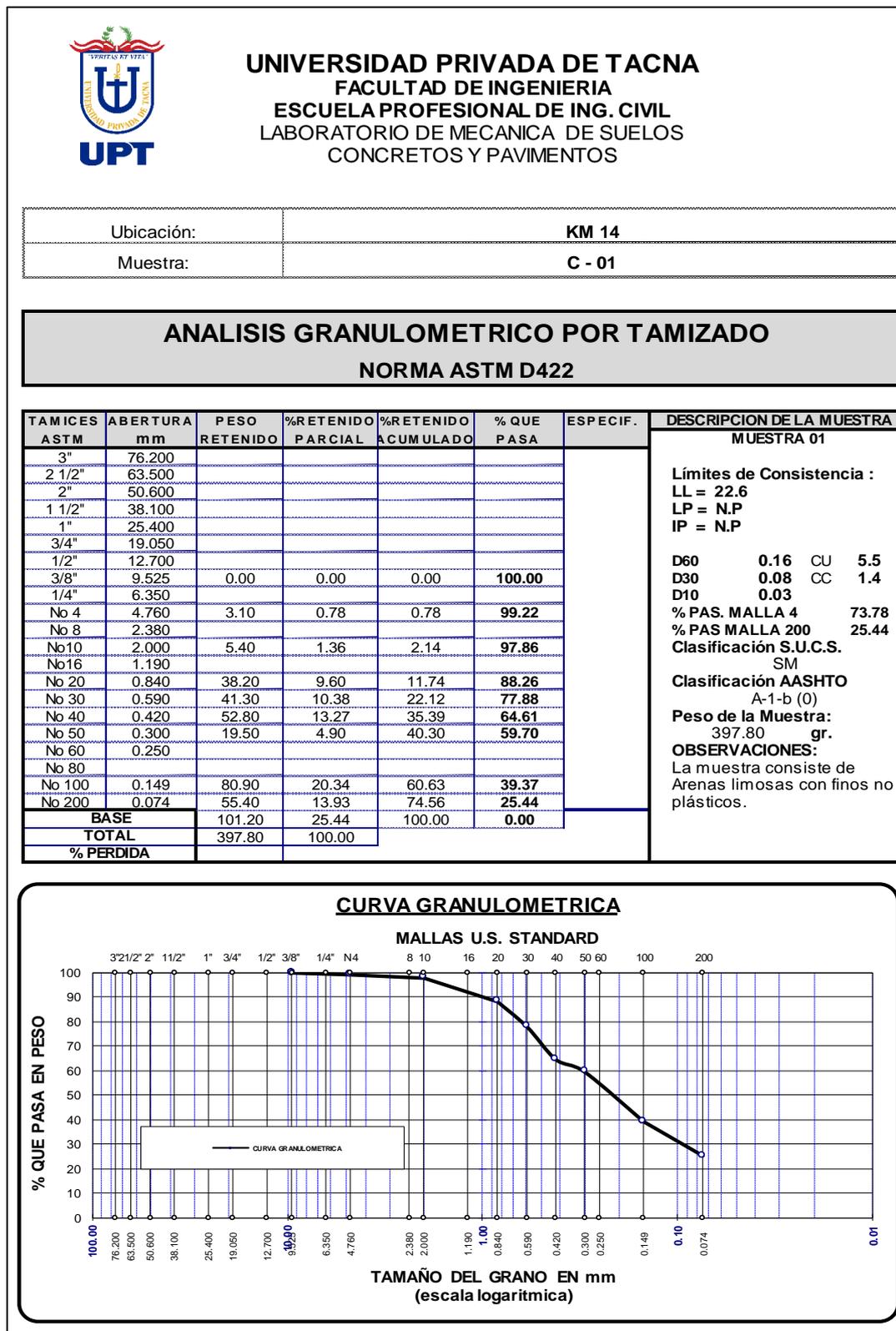


Figura 63

Análisis granulométrico por tamizado para C-02

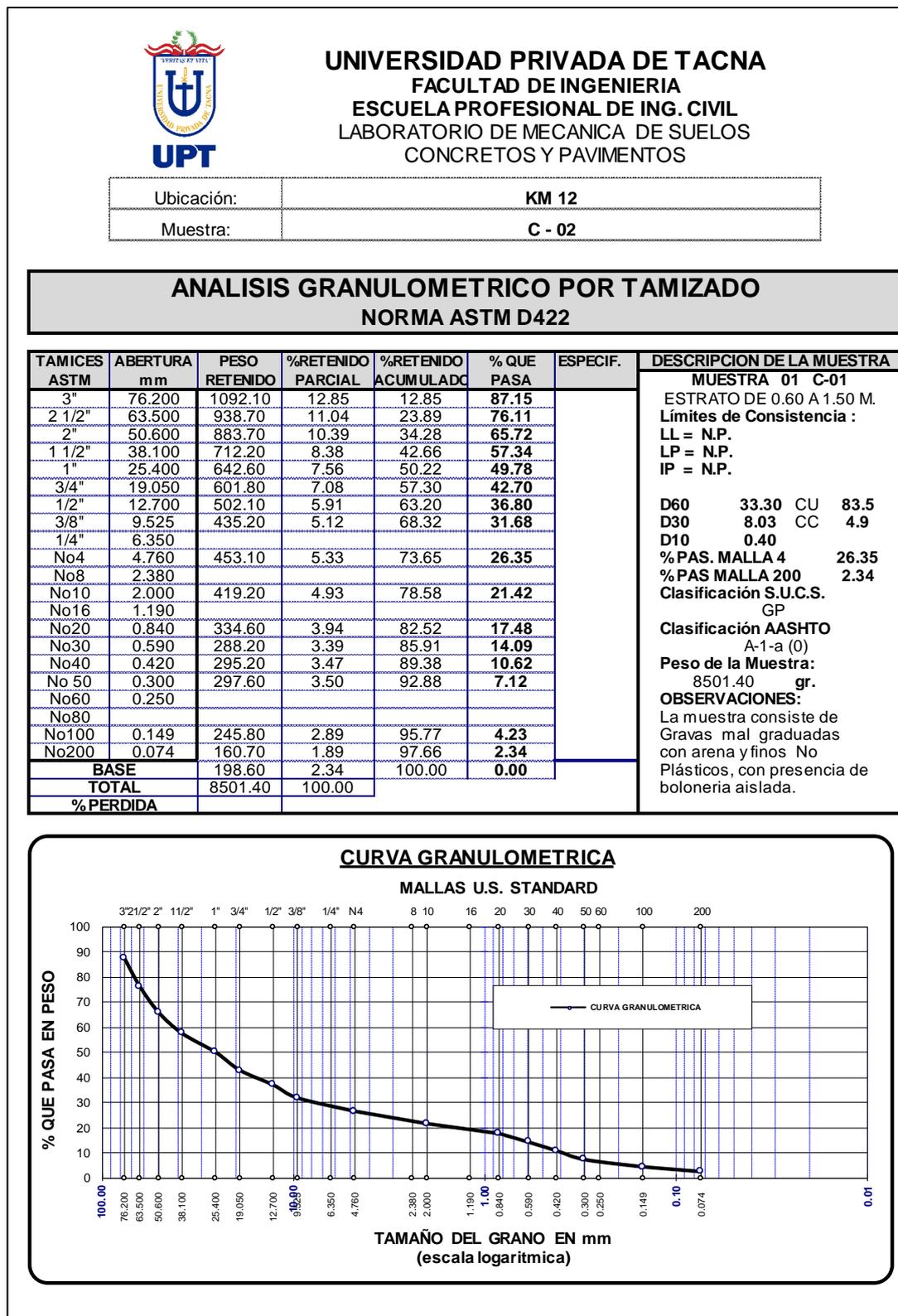


Figura 64

Análisis granulométrico por tamizado para C-03

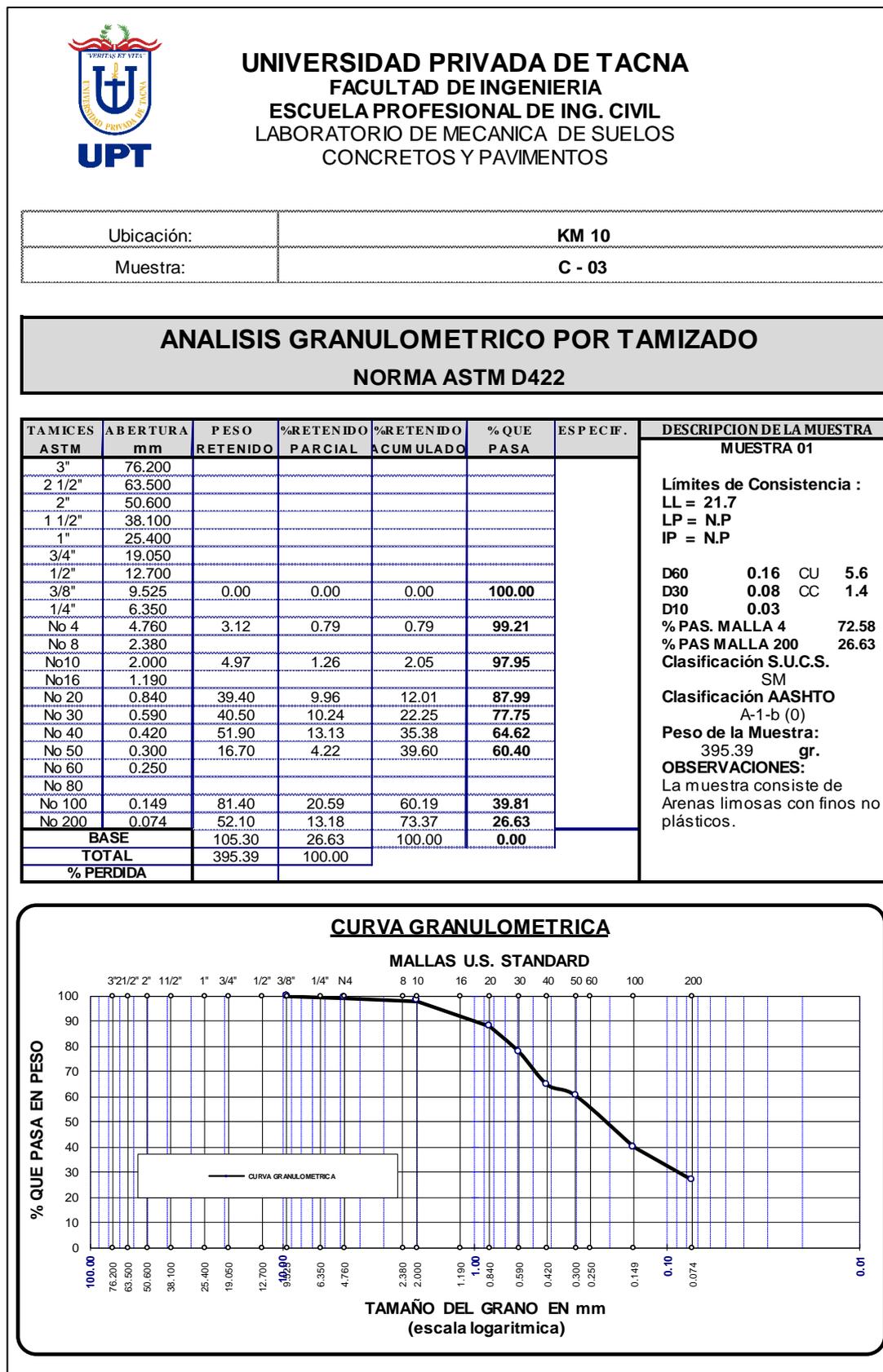


Figura 65

Análisis granulométrico por tamizado para C-04

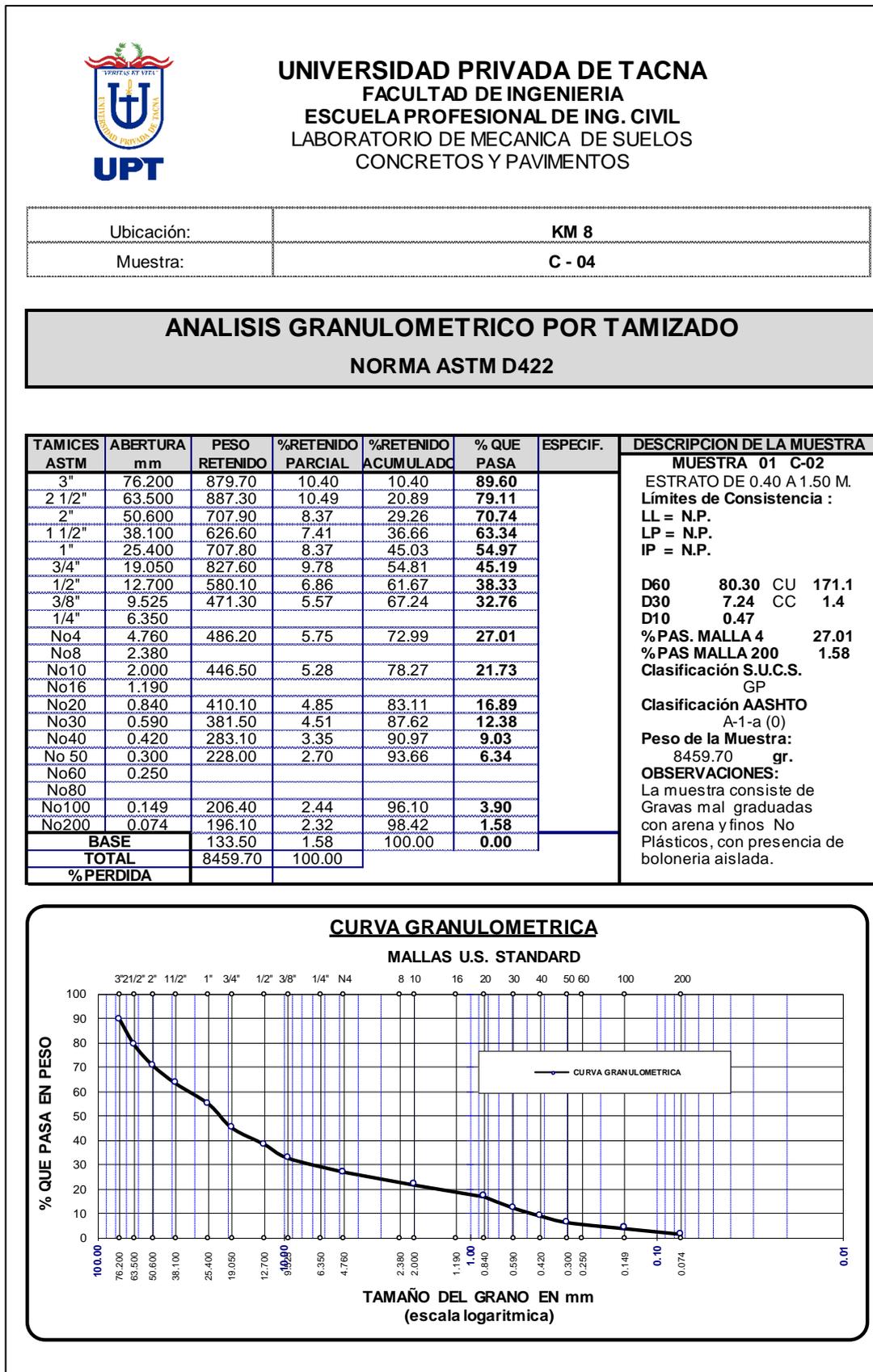
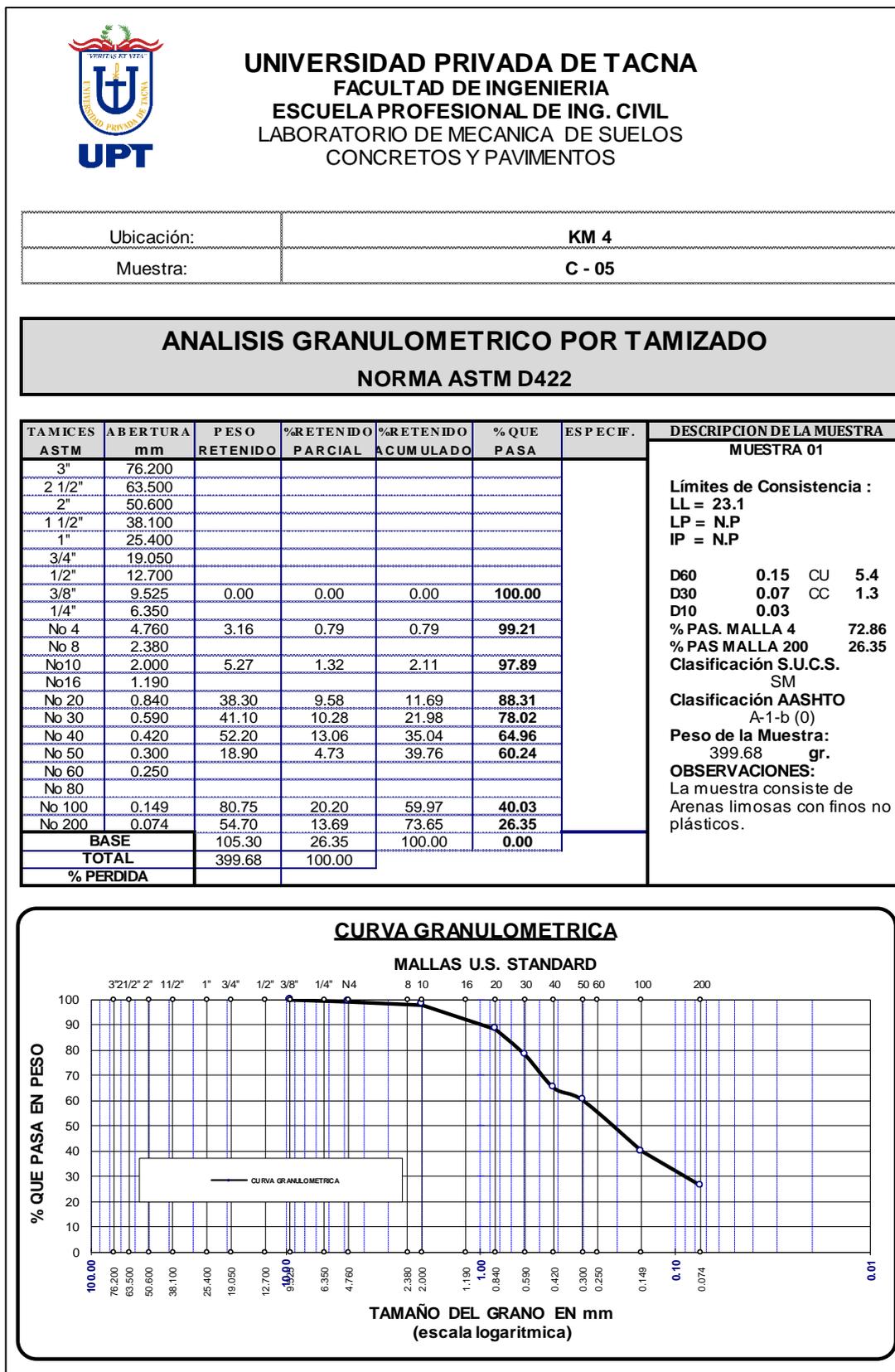


Figura 66

Análisis granulométrico por tamizado para C-05



4.3.2. Proctor modificado

Figura 67

Ensayo de compactación Proctor modificado para C-01

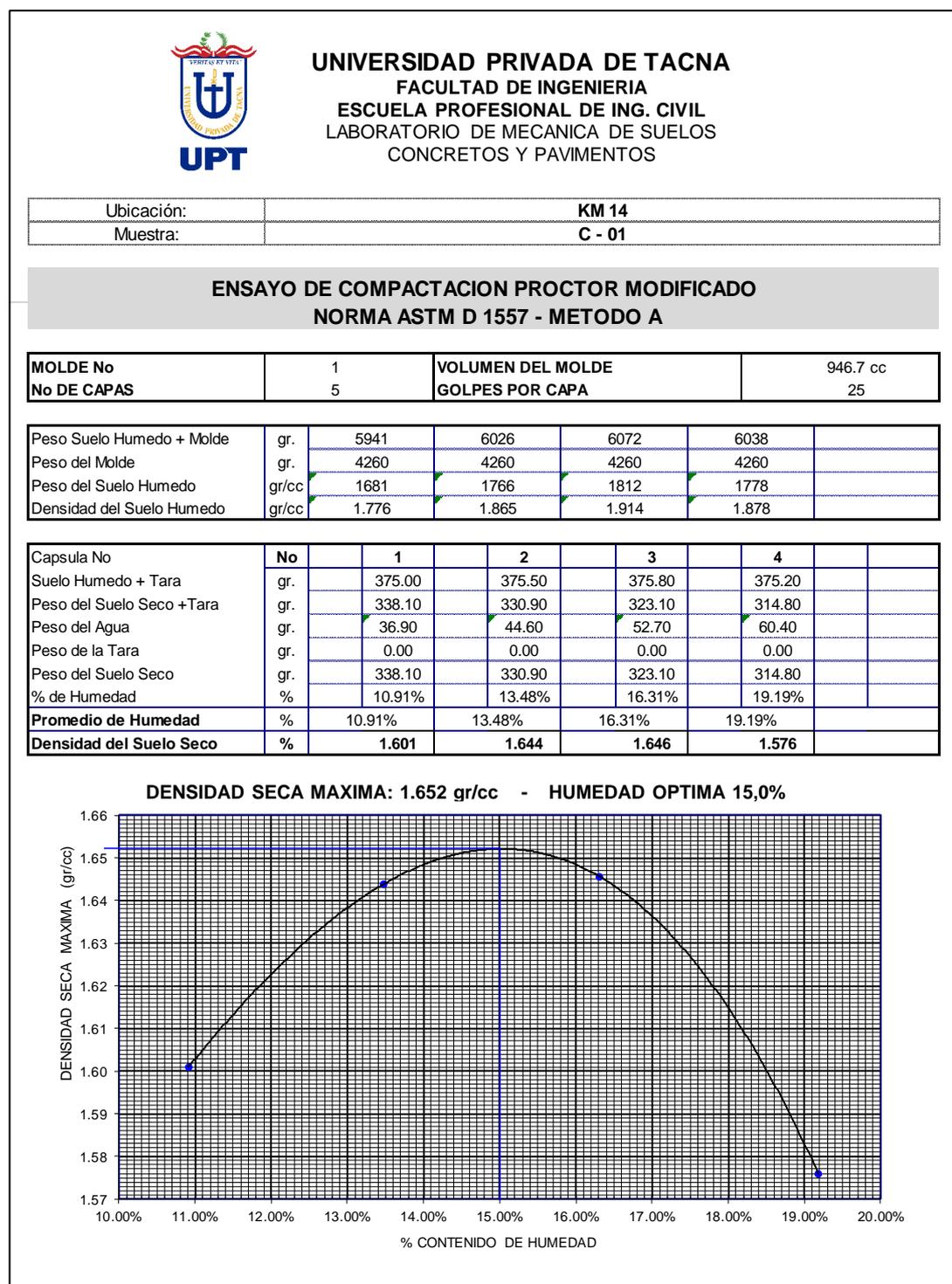


Figura 68

Ensayo de compactación Proctor modificado para C-02

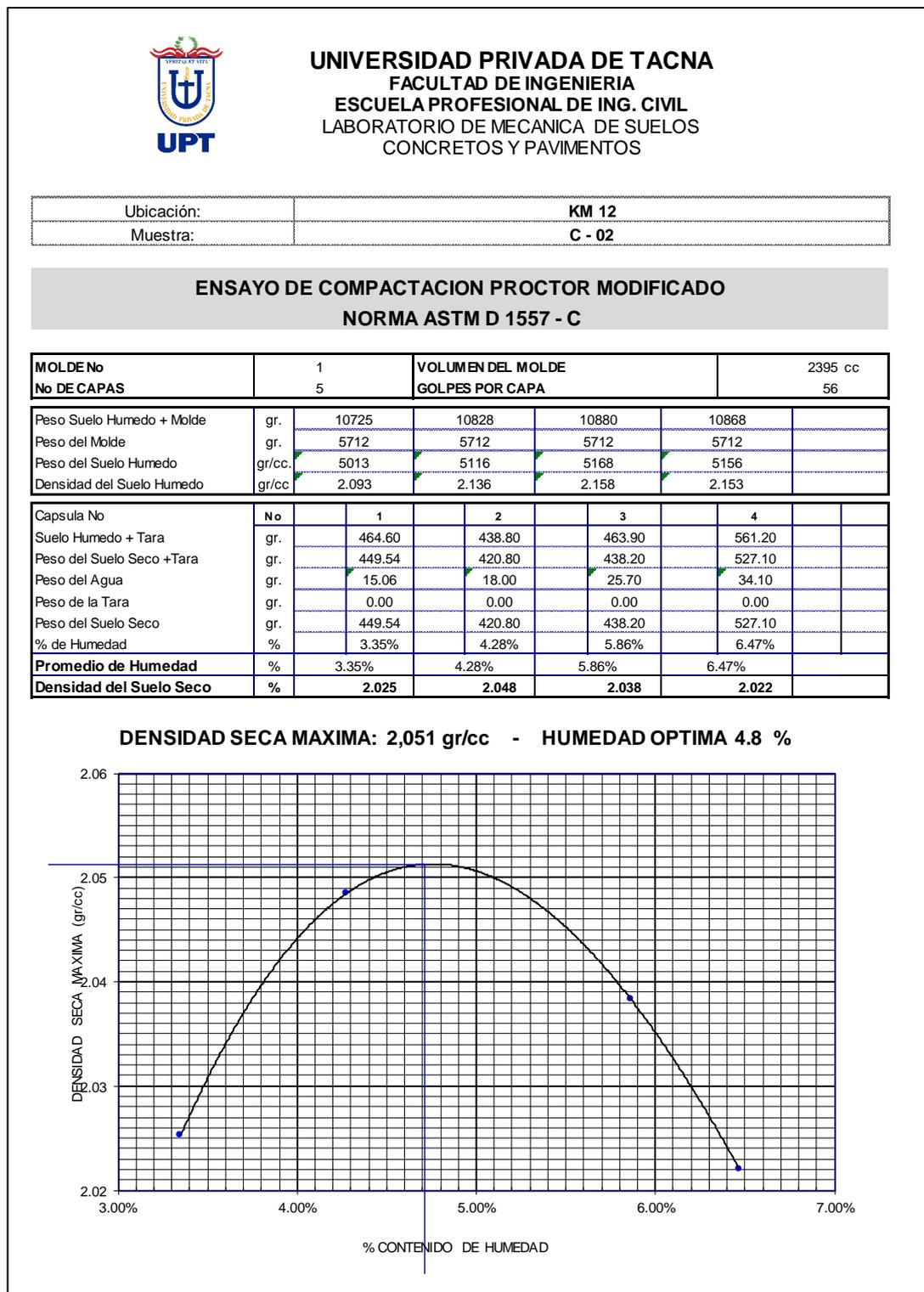


Figura 69

Ensayo de compactación Proctor modificado para C-03

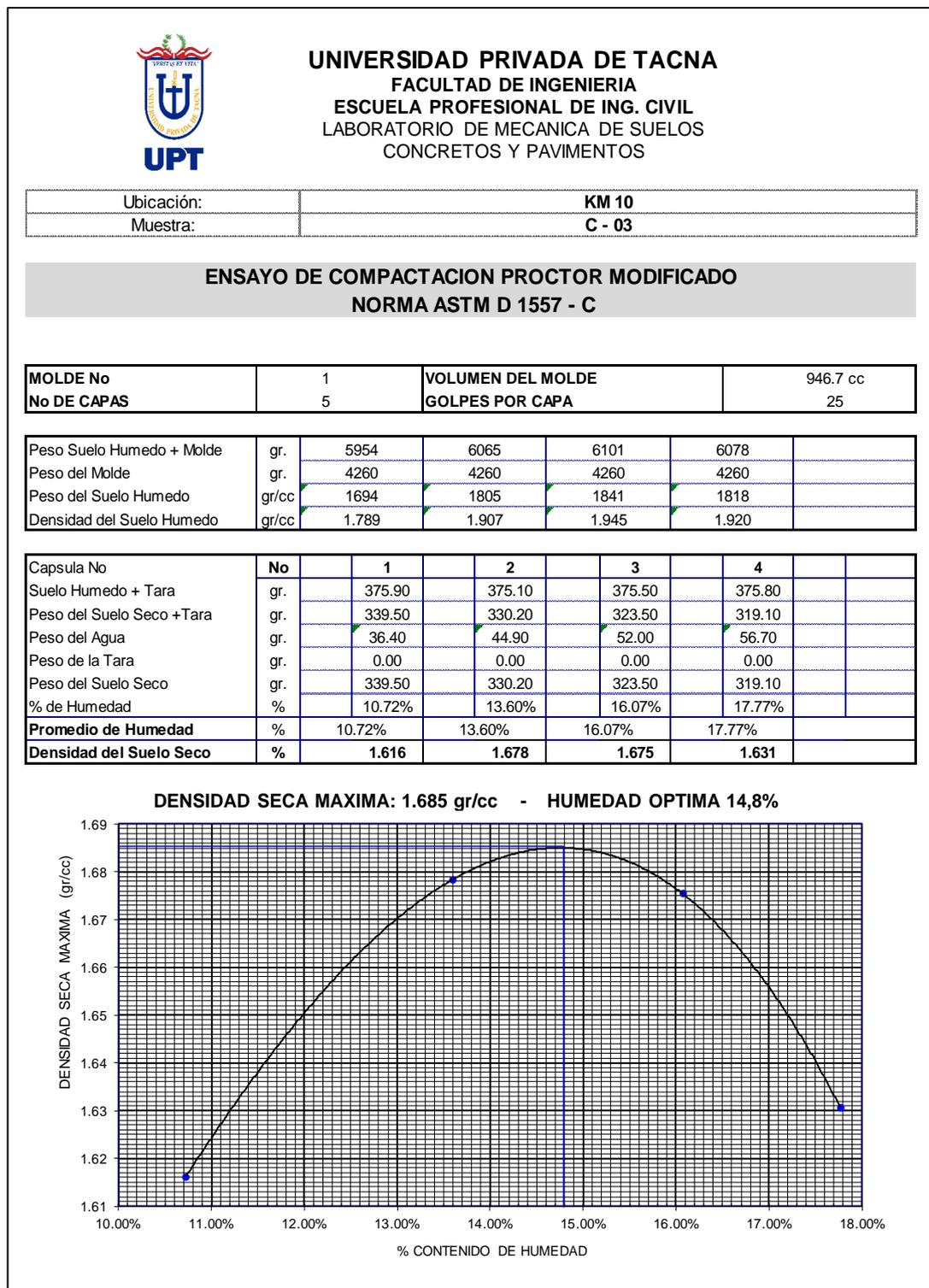


Figura 70

Ensayo de compactación Proctor modificado para C-04

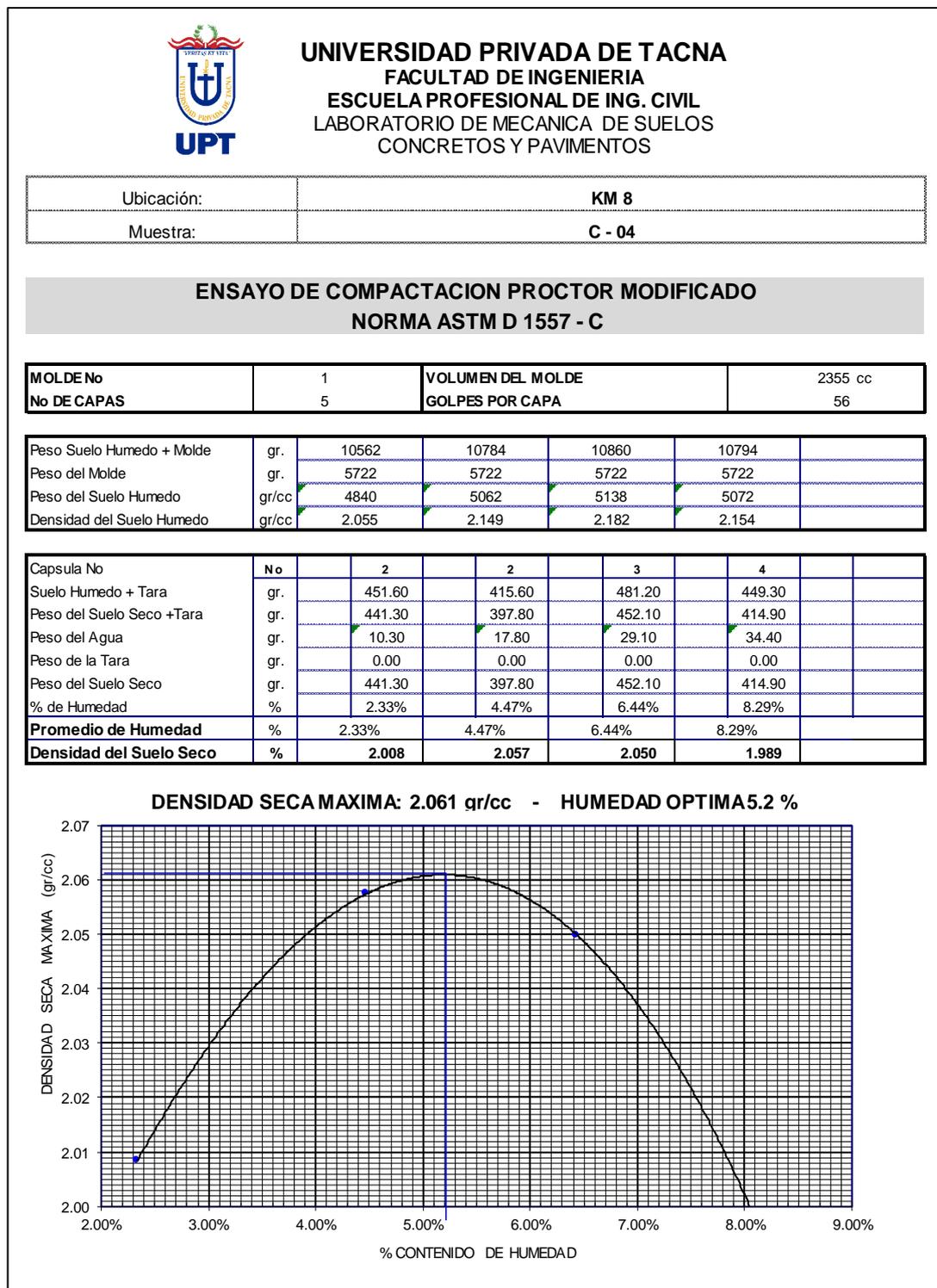


Figura 71

Ensayo de compactación Proctor modificado para C-05

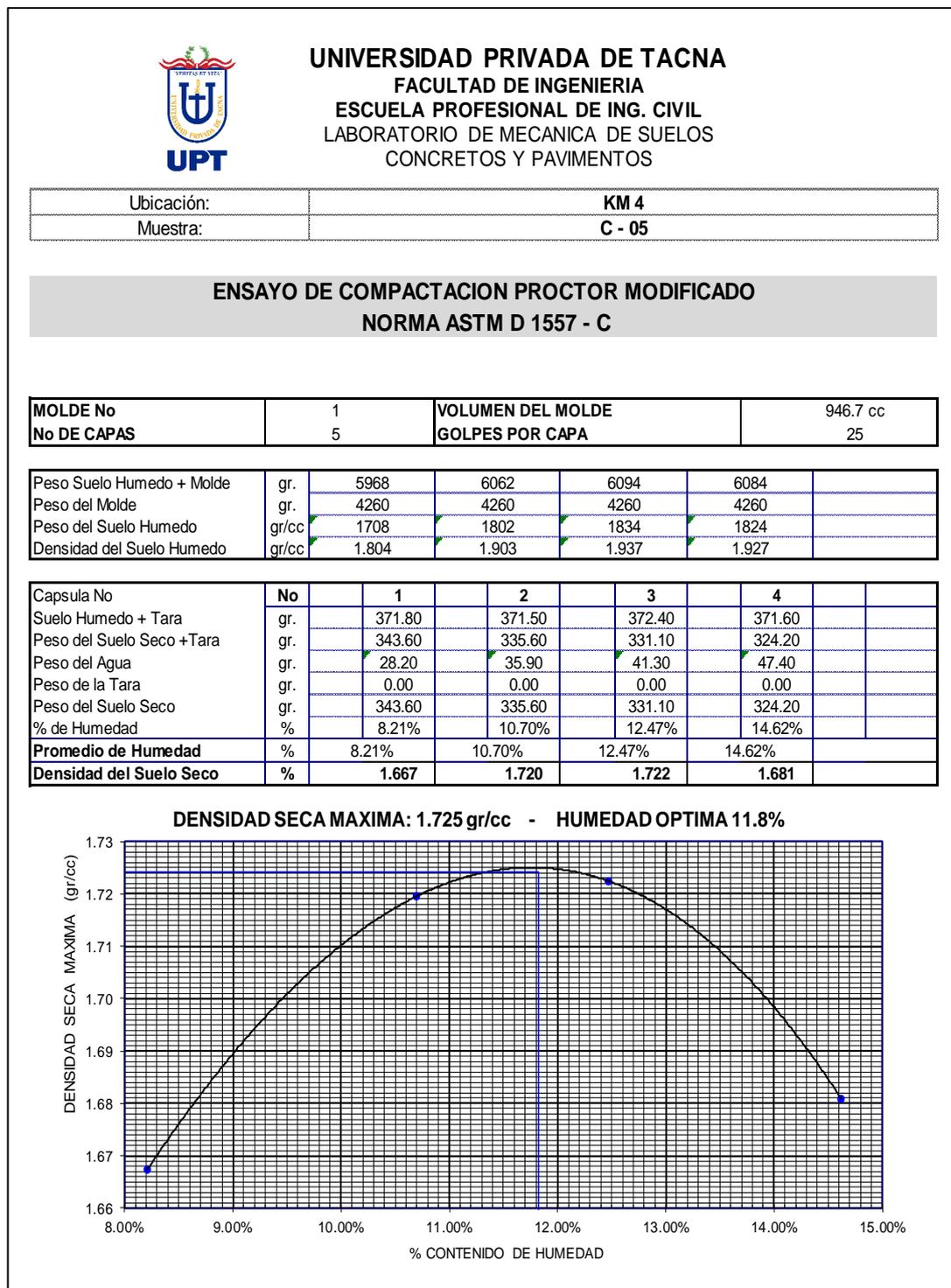


Figura 73

Cálculo del CBR para C-01

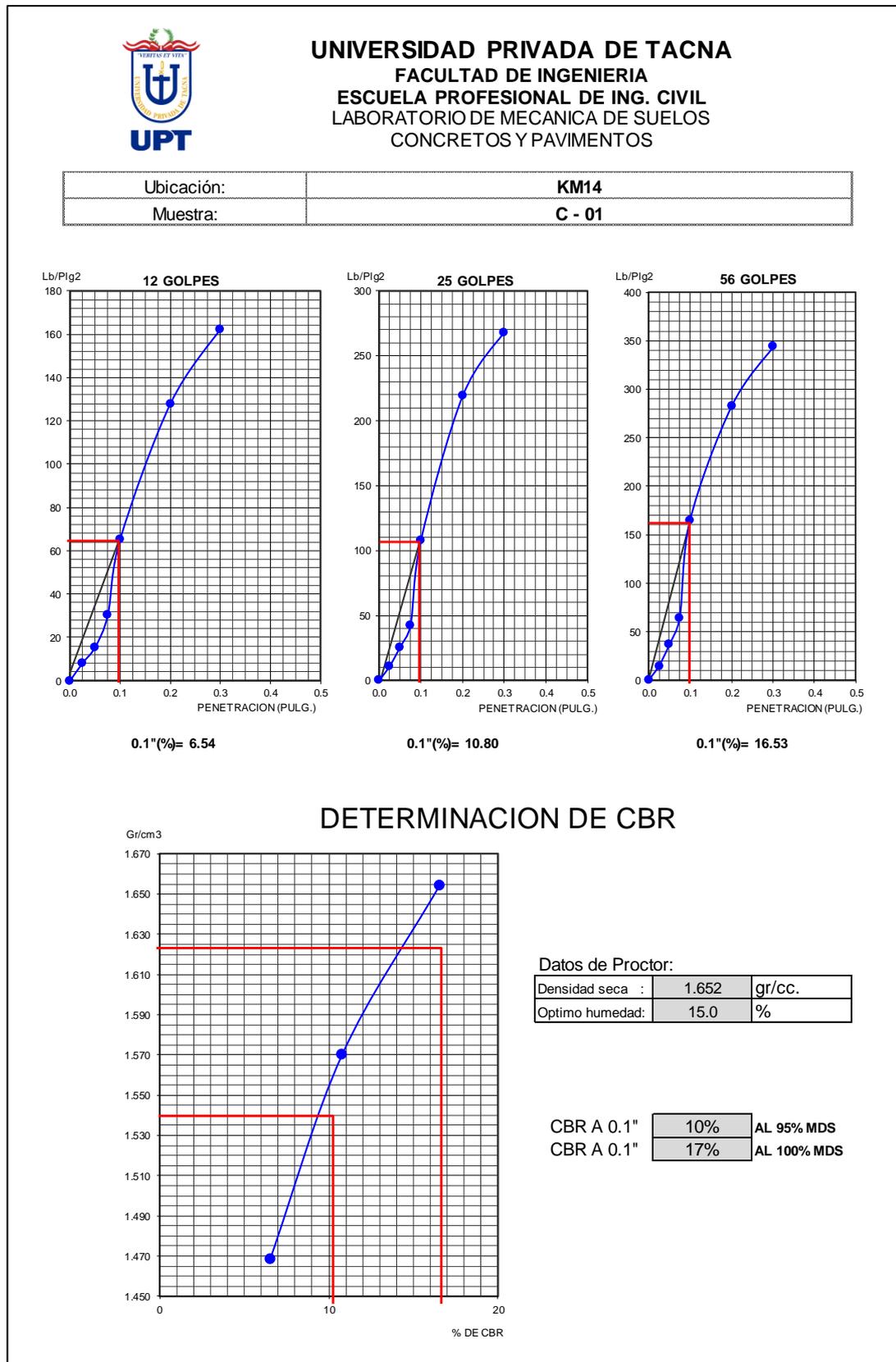


Figura 75

Cálculo del CBR para C-02

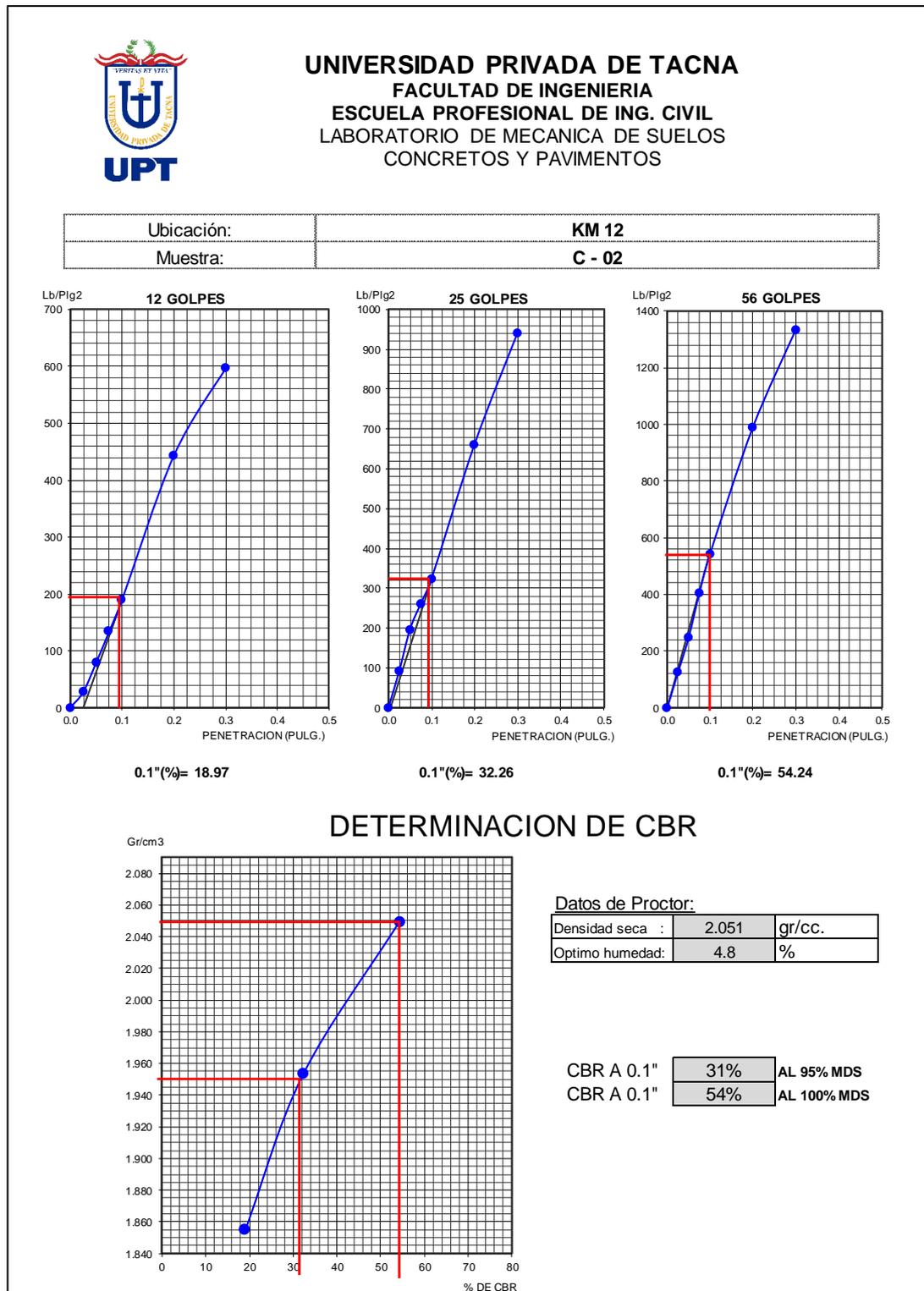


Figura 77

Cálculo del CBR para C-03

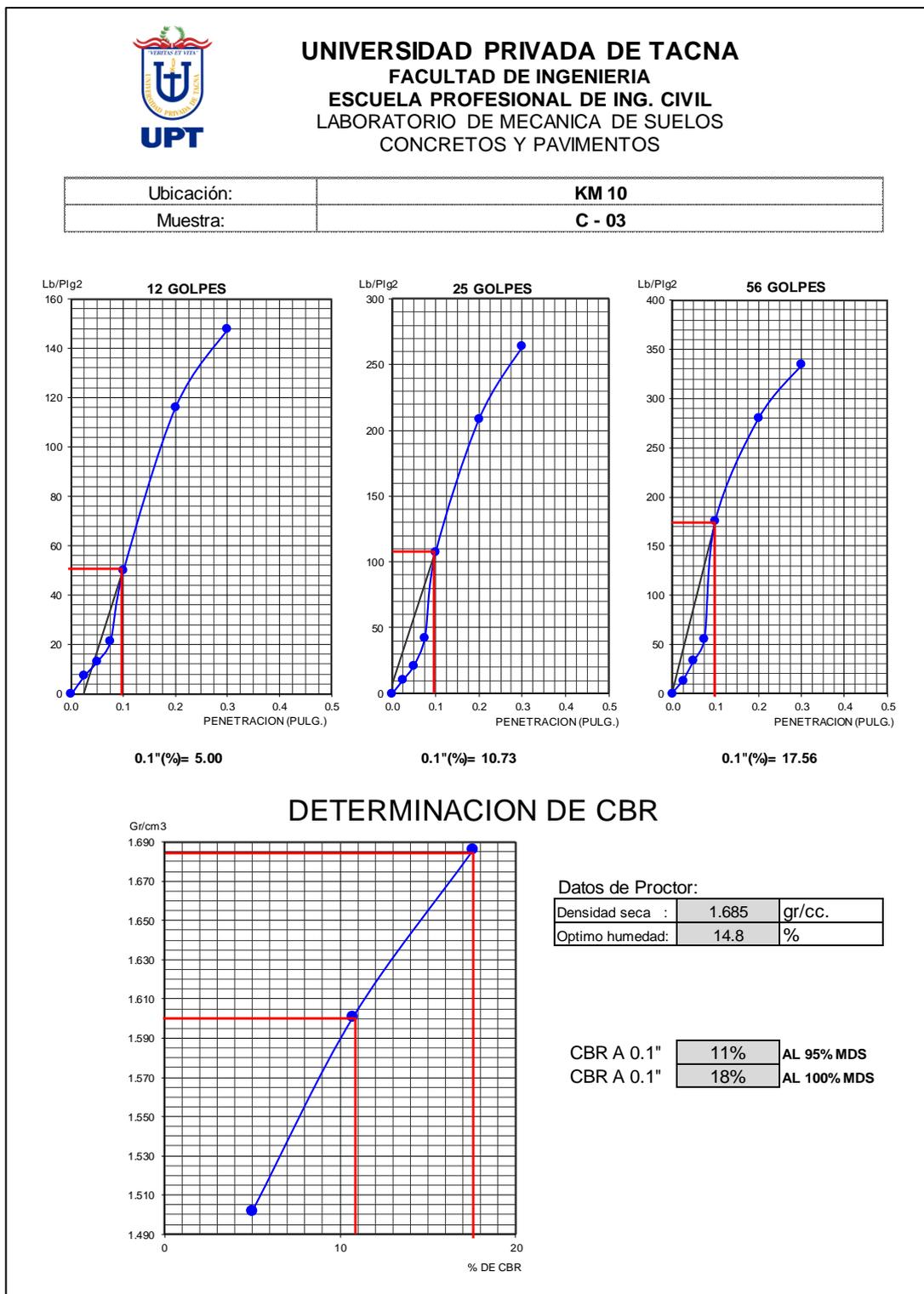


Figura 79

Cálculo del CBR para C-04

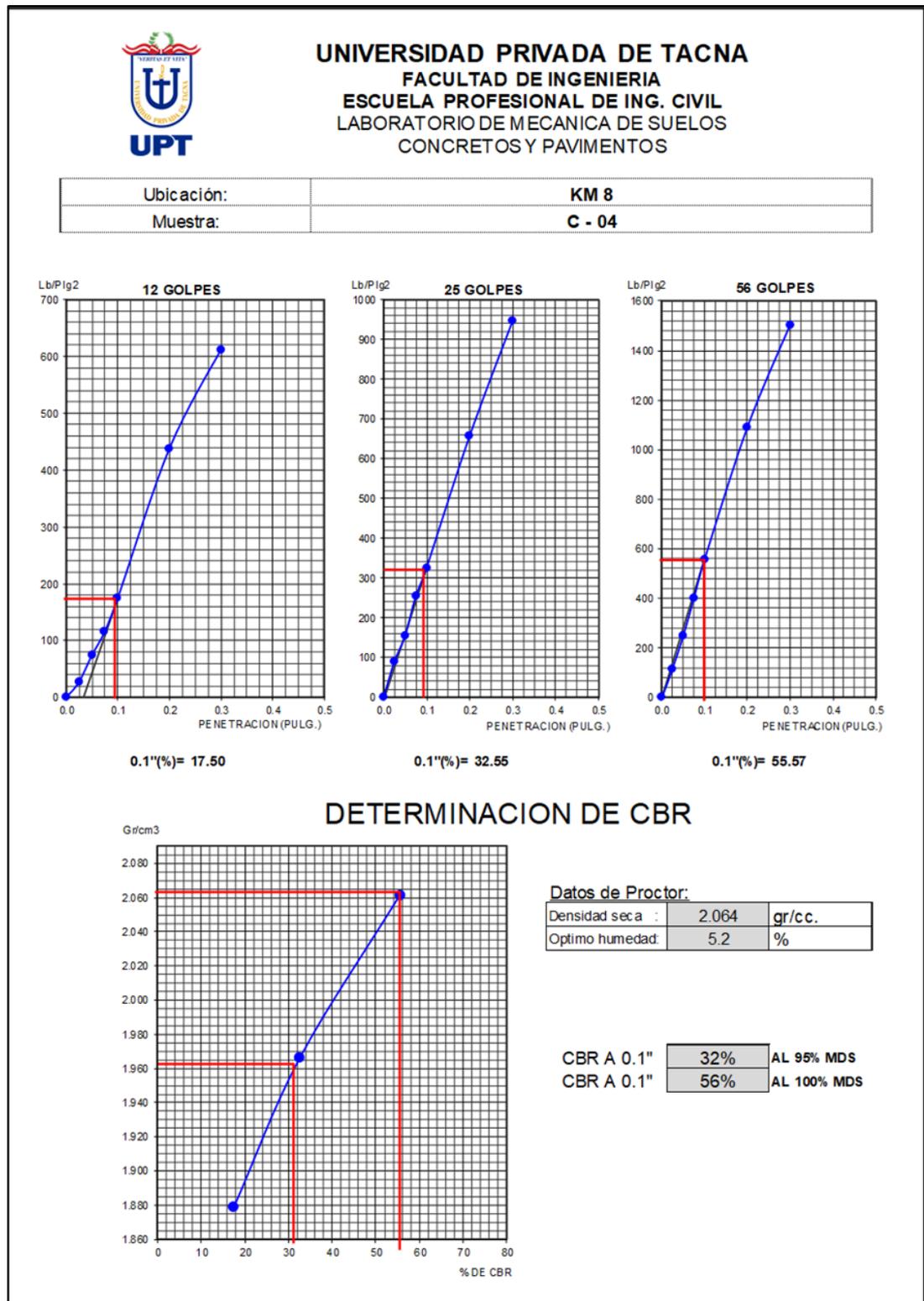
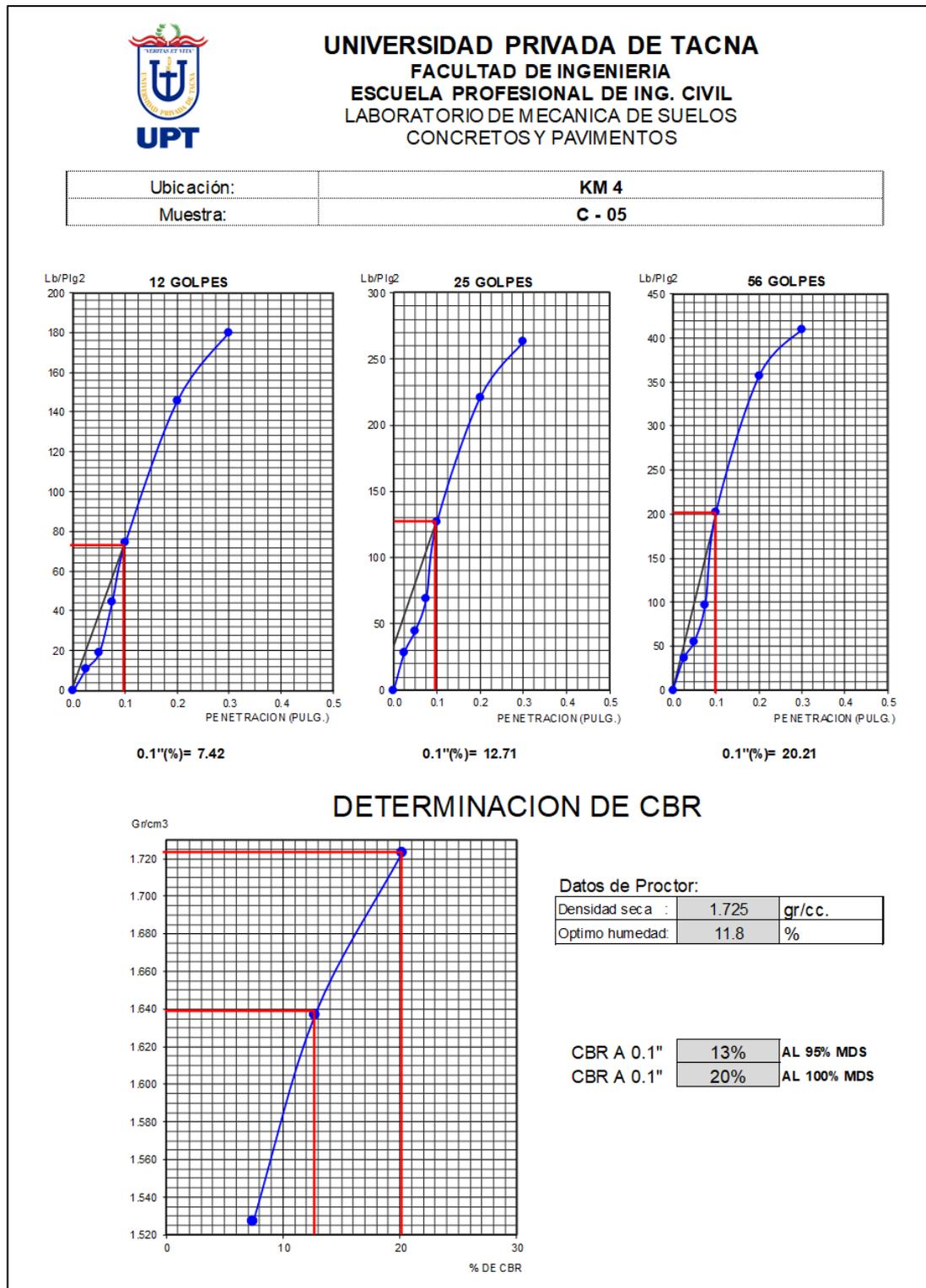


Figura 81

Cálculo del CBR para C-05



4.4. Resultados del espesor de las capas del pavimento - metodología AASHTO 93

La Tabla 52 muestra las características utilizadas para el diseño de pavimento flexible.

Tabla 68

Resumen para la obtención del SNR

Cargas de tráfico vehicular impuestos al pavimento	ESAL (W18)	1,18E+07
Suelo de la subrasante	<i>CBR:</i>	11%
Módulo de resiliencia de la subrasante $M_R(\text{psi}) = 3000 \times \text{CBR}^{0.65}$	<i>M_R (psi):</i>	14257 PSI
Tipo de tráfico	<i>Tipo:</i>	Tp10
Número de etapas	<i>Etapas:</i>	
Nivel de confiabilidad	<i>R</i>	90
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	<i>Z_R</i>	-1,282
Desviación estándar combinado	<i>S_o</i>	0,45
Índice de serviciabilidad inicial según rango de tráfico	<i>P_i</i>	4,0
Índice de serviciabilidad final según rango de tráfico	<i>P_t</i>	2,5
Índice de serviciabilidad según rango de tráfico	<i>ΔPSI</i>	1,5

4.4.1. Propuesta de diseño de pavimento flexible

Proponemos un diseño de pavimento flexible, teniendo como resultado los siguientes espesores como se muestra en la Figura 82.

Figura 82*Capas del diseño de pavimento*

Los espesores de la Tabla 53 se obtuvieron con la SNR requerida (4,6) siendo menor que la SNR resultante (4,7), los siguientes espesores se obtienen debido al alto volumen de tráfico y por lo tanto son los más accesibles y económicos para el diseño.

Tabla 69*Resultado de espesores del pavimento*

d1	d2	d3
6"	7"	8"
Capa superficial	Base	Sub Base
SNR (Requerido)	4,7 > 4,6	Debe cumplir SNR (Resultado) > SNR (Requerido)
SNR (Requerido)	4,7	SI CUMPLE

CONCLUSIONES

Se diseñó el pavimento flexible para la mejora de las condiciones de serviciabilidad en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana con las características actuales del estudio de tráfico vehicular y estudio de suelos. Dado que es una vía que conecta varios distritos de la provincia de Tacna y siendo una ruta nacional se requiere que la vía en estudio se encuentre en óptimas condiciones de serviciabilidad, y con nuestra propuesta validamos nuestra hipótesis general de que el diseño de pavimento flexible contribuye a mejorar las condiciones de serviciabilidad en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana.

Se determinó las condiciones de serviciabilidad actual de la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana con la metodología PCI obteniendo los siguientes resultados:

Tramo	Descripción	PCI promedio	Clasificación
CD	Carril izquierdo	58	Buena
	Carril derecho	67	Buena
UC y UD	Faja 1, carril izquierdo	32	Malo
	Faja 2, carril izquierdo	32	Malo
	Faja 1, carril derecho	43	Regular
	Faja 2, carril derecho	39	Malo
PCI Promedio Total		45	Regular

De la tabla se tiene que la calzada Creciente-Decreciente (CD) en el carril derecho se tiene un PCI promedio de 67 con una calificación general Buena y en el carril izquierdo se tiene un PCI promedio de 58 con una calificación general Buena. En la calzada Únicamente Creciente (UC) en el carril derecho Faja 1 se tiene un PCI promedio de 43 con una calificación general Regular y en la Faja 2 se tiene un PCI promedio de 39 con una calificación general Malo. En la calzada Únicamente Decreciente (UD) en el carril izquierdo Faja 1 se tiene un PCI promedio de 32 con una calificación general Malo y en la Faja 2 se tiene un PCI promedio de 32 con una calificación general Malo. Respecto al PCI promedio general de la vía es de 45 con una calificación regular, dando así validez a nuestra primera hipótesis específica en que las condiciones de serviciabilidad actual de la vía Óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana son deficientes. Respecto al PCI promedio general de la vía de 45 con una

calificación regular es relativo, dado que las longitudes del tramo CD y UC-UD son de 2+289 km y 11+641 km respectivamente, siendo UC-UD con la longitud más larga y con un PCI promedio que varía entre 32 a 43 y siendo con una calificación Malo en un mayor porcentaje, reafirmamos nuestra primera hipótesis específica de que las condiciones de serviciabilidad actual de la vía en estudio son deficientes lo cual nos impulsó a desarrollar nuestro objetivo general que fue diseñar el pavimento flexible para la mejora de las condiciones de serviciabilidad.

Se establecieron los parámetros de diseño de pavimento, del cual del estudio de tránsito realizado por la Vía Ovalo Tarapacá hasta Desvío a Calana, obteniendo un índice medio diario promedio de 18318 vehículos por día, se obtiene un factor de Cargas Equivalentes por eje (ESAL) de $1,18E+07$ con una proyección de 20 años. Además, el tipo de suelo es (GP) grava mal gradada, y (SM) arenas limosas mediante la clasificación SUCS. Por otro lado, en la metodología AASHTO se identifica un tipo de suelo (A-1-b (0)) y A-1-a (0). El CBR promedio obtenido al 95% es de 11% considerándose un suelo regular.

Empleando el método AASHTO 93, se establecieron las características de acuerdo a los espesores del pavimento flexible el cual está compuesta por: Carpeta asfáltica de 6", la base granular de 7" y la sub base granular de 8".

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la entidad competente que es Provias Nacional conllevar un nuevo diseño de la estructura del pavimento con las características actuales de tráfico vehicular y/o considera los resultados de la presente tesis, lo cual mejorara las condiciones de serviciabilidad de manera óptima.

Considerando los resultados obtenidos con la metodología PCI para la evaluación funcional de la vía y teniendo calificaciones de Fallado en distintos sectores a lo largo de la vía, se recomienda a la entidad competente que es Provias Nacional dado que la vía de estudio es una Ruta Nacional, evaluar programas de mantenimiento que conlleven la reconfiguración de la plataforma o distinto a ello para mejorar las condiciones de serviciabilidad actual en todo el tramo o en los sectores específicos donde se tenga un PCI con calificaciones Malo, Muy Malo y fallado, lo cual tendrá un impacto positivo y confort para los usuarios de la Vía, para lo cual se puede considerar los resultados obtenidos en la presente investigación realizada, dado que una nueva estructura del pavimento tendría un PCI entre 85 a 100 y con una calificación Excelente.

Para determinar los parámetros de diseño se requiere un buen estudio de tráfico, ya que el índice medio diario anual (IMDa), que se obtiene a partir del número de vehículos, es un valor fundamental en el cálculo del coeficiente de tráfico de información equivalente. Carga (ESAL), es un elemento clave en el diseño del espesor del pavimento. Del mismo modo, utilizar el CBR mínimo, si los resultados obtenidos del CBR de las muestras de las calicatas no difieren mucho, debido a que es el más desfavorable y a su vez proporcionara un mayor margen de seguridad.

Es recomendable enfatizar un análisis de forma más factible y accesible a la hora de calcular los distintos espesores que componen las capas del pavimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *American Association of State Highway and Transportation Officials "Guide for Design of Pavement Structures*. Washington USA.
- BERNAL, C. (2010). *Metodología de la Investigación (Tercera ed.)*. Colombia: Pearson.
- CE-010 (2010). *Pavimentos Urbanos*. Lima.
- ESCOBAR, L., HUINCHO, J. (2017) *Diseño de Pavimento Flexible, bajo influencia de parámetros de diseño debido al deterioro del pavimento en Santa Rosa – Sachapite, Huancavelica - 2017*. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
- FORONDA, J. y FORONDA, C. (2007). *La evaluación en el proceso de aprendizaje perspectivas*. Universidad Católica Boliviana San Pablo. Bolivia.
- GONZALES, O. y MANAY, D. (2020). *Diseño de pavimento flexible aplicando el método AASHTO 93 para mejorar la transitabilidad en el centro poblado ramiro prialé, distrito de José Leonardo Ortiz provincia de Chiclayo - departamento de Lambayeque*. Universidad de San Martín de Porres, Lima.
- GÓMEZ, S. (2014). *Diseño estructural del pavimento flexible para el anillo vial del Óvalo Grau - Trujillo - La Libertad (Tesis de Pregrado)*. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo.
- GUTIERREZ, H. (22 de junio de 2020). *Introducción al diseño de pavimentos*. INGENIEARC. <https://cutt.ly/9JVVfoZ>

- MTC, M. d. (2013). *Manual de carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Lima
- MTC. (2014). *Manual de Inventarios Viales*. Lima.
- MTC. (2016). *Manual de Ensayo de materiales*. Lima
- MTC. (2018). *Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima.
- PITRA. (2013). *Calibración del modelo de serviciabilidad de pavimentos flexibles de AASHTO para Costa Rica*. Costa Rica.
- SÁNCHEZ, O. (2019). *Diseño de Pavimento empleando el método AASHTO 93 para el mejoramiento de la Carretera Ayacucho - Abancay. Tramo: Ayacucho KM. 0+000 – KM. 50+000*". Universidad Nacional Federico Villareal, Cusco.
- SALAMANCA, M. y ZULUAGA, S. (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 Lucia Barranca Lebrija entre las abscisas k19+250 a k25+750 ubicada en el departamento del César*. Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- SERRANO, R. y MONTOYA, J. (2021). *Determinación del índice de rugosidad internacional y propuesta de diseño de pavimento flexible en la avenida Tarapacá, tramo óvalo Cuzco - Av. Gustavo Pinto, Tacna*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.
- UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA. (2017). *Manual para la presentación de planes e informes de investigación*. Tacna.

VALVERDE, E. y CALISAYA, W. (2021). *Diseño estructural del pavimento flexible para la carretera Panamericana sur- tramo km 1300+00 a km 1330+00 de la ciudad de Tacna*. Universidad Privada de Tacna, Tacna.

VÁSQUEZ, L. (2002). *Manual (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras*, Manizales.

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia

TÍTULO: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LAS CONDICIONES DE SERVICIO DE LA VÍA ÓVALO TARAPACÁ HASTA EL DESVÍO A CALANA, TACNA, 2022.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADOR	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE:		
¿De qué manera el diseño de pavimento flexible contribuirá a mejorar las condiciones de servicio en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, Tacna - 2022?	Diseñar el pavimento flexible para la mejora de las condiciones de serviciabilidad en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, Tacna - 2022.	El diseño de pavimento flexible contribuye a mejorar las condiciones de servicio en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, Tacna - 2022.	Diseño de pavimento flexible	Parámetros de diseño <ul style="list-style-type: none"> ○ Aforo vehicular. ○ ESAL de Diseño. ○ CBR - Escala de medición: Adimensional	Tipo de Investigación: Aplicada , porque incorpora elementos de innovación, proponiendo un modelo de diseño del pavimento. Nivel de Investigación Descriptivo-Exploratorio , porque se pretende ahondar con la investigación alcances poco antes vistos, estableciendo prioridades para futuras investigaciones.
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE:		
¿En qué condiciones de servicio se encuentra actualmente la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, Tacna - 2022?	Determinar las condiciones de serviciabilidad actual de la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, Tacna - 2022.	Las condiciones de serviciabilidad actual de la vía Óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana son deficientes.	Condiciones de serviciabilidad.	Impacto positivo <ul style="list-style-type: none"> - Escala de medición: adimensional. Características de daños <ul style="list-style-type: none"> - Escala de medición: adimensional 	
¿Cuáles son los parámetros de diseño necesarios para el diseño de pavimento de la vía óvalo Tarapacá hasta desvío a Calana, Tacna - 2022?	Establecer los parámetros de diseño del pavimento en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, Tacna - 2022	Los parámetros de diseño están relacionados a la resistencia al esfuerzo de corte del suelo (CBR) y al índice medio diario (IMD) del pavimento en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana.			
¿Cuáles son las características del pavimento para mejorar las condiciones de servicio de la vía óvalo Tarapacá hasta desvío a Calana, Tacna - 2022?	Establecer las características que debe tener el pavimento flexible para mejorar las condiciones de serviciabilidad en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana, Tacna - 2022.	La característica como el índice de rugosidad determinada en la vía del pavimento mejora las condiciones de servicio en la vía óvalo Tarapacá hasta el desvío a Calana.			