



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible y su relación de los suelos conformantes de la plataforma vial, tramo Calachota - Ayauca, Yauyos, 2020.”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Apumayta Orellana Denis Augusto (Código ORCID 0000-0001-6055-9672)

ASESOR:

Mg. Barrantes Mann, Luis Alfonso Juan (Código ORCID: 0000-0002-2026-0411)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Construcciones Sostenibles – Diseño de Infraestructura Vial

LIMA - PERÚ

2020

Dedicatoria

Esta tesis se la dedico a Dios por darme todas las fuerzas necesarias para llegar hasta aquí. A mis abuelas Eliza y Florencia, que desde el cielo guían mis pasos.

A mis padres; Antonio y Romelia por ser las personas más importantes en mi vida, por su esfuerzo y dedicación para lograr mis objetivos. A mis hermanos Aníbal, Nancy, Erika y Javier por su apoyo incondicional y ser mi fuente de inspiración.

Agradecimiento

A Dios, por guiarnos en la vida profesional; agradezco a mis padres que con su esfuerzo y dedicación estoy hoy aquí, a mis hermanos por todos los consejos y apoyo brindados, a la universidad Cesar vallejo, por formarnos profesionalmente; a mi docente de tesis quien nos apoyó para la realización de esta tesis.

A mi asesor Mg. Barrantes Mann, Luis Alfonso Juan por sus enseñanzas brindadas.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras.....	viii
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	30
3.1. Tipo y diseño de investigación	30
3.2. Variables y operacionalización	30
3.3. Población, muestra y muestreo	32
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	32
3.5. Procedimientos:	33
3.6. Método de análisis de datos.....	37
3.7. Aspectos éticos	37
IV. RESULTADOS.....	38
V. DISCUSIÓN	108
VI. CONCLUSIONES	110
VII. RECOMENDACIONES.....	112
REFERENCIAS.....	113
ANEXOS	115

Índice de tablas

Tabla 1: Requerimientos Granulométricos para Sub-Base Granular	10
Tabla 2: Requerimientos de Ensayos Especiales	11
Tabla 3: Resumen de control de calidad de material Sub base granular	12
Tabla 4: Requerimientos Granulométricos para Base Granular	13
Tabla 5: Características físicas-químicas -Base granular.	13
Tabla 6: Requerimientos Agregado Grueso	14
Tabla 7: Requerimientos Agregado Fino.	15
Tabla 8: Resumen de control de calidad de material Base granular	16
Tabla 9: Mezclas en caliente tipo de cemento Asfáltico clasificado según penetración.....	18
Tabla 10: Mezclas en caliente tipo de cemento Asfáltico clasificado según penetración.....	18
Tabla 11: Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Viscosidad ...	19
Tabla 12: Especificaciones Para Emulsiones Catiónicas	20
Tabla 13: Leyes de comportamiento de la deflexión	26
Tabla 14: Distancia del punto de ensayo.	34
Tabla 15: Sectores evaluados.	40
Tabla 16: Resumen de los tipos de suelos según el metodos SUCS.....	41
Tabla 17: Resumen de los Ensayos.....	42
Tabla 18: Datos para calculo de deflexiones	43
Tabla 19: Datos para cálculo de la deflexión admisible en Subrasante.	44
Tabla 20: Cálculo de la deflexión admisible para Subrasante	45
Tabla 21: Datos para cálculo de la deflexión admisible en Sub base granular	46
Tabla 22: Calculo de F2-Sub base granular.....	47
Tabla 23: Cálculo de deflexiones admisibles Sub base granular.	49
Tabla 24: Cálculo de CBR equivalente.....	50
Tabla 25: Cálculo de F2-Base granular.....	50
Tabla 26: Cálculo de deflexiones admisibles Base Granular	53
Tabla 27: Cálculo de deflexiones -Carpeta asfáltica	53
Tabla 28: Cuadro resumen de deflexiones admisibles calculadas.....	54

Tabla 29: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Subrasante Sector 01	55
Tabla 30: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Subrasante Sector 02	56
Tabla 31: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Subrasante Sector 03	57
Tabla 32: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Subrasante Sector 04	58
Tabla 33: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Sub base granular Sector 01.....	66
Tabla 34: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Sub base granular Sector 02.....	67
Tabla 35: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Sub base granular Sector 03.....	68
Tabla 36: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Sub base granular Sector 04.....	69
Tabla 37: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Base granular Sector 01	77
Tabla 38: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Base granular Sector 02.....	78
Tabla 39: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Base granular Sector 03.....	79
Tabla 40: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Base granular Sector 04.....	80
Tabla 41: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de carpeta asfáltica Sector 01	88
Tabla 42: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de carpeta asfáltica Sector 02.....	89
Tabla 43: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de carpeta asfáltica Sector 03.....	90
Tabla 44: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de carpeta asfáltica Sector 04.....	91
Tabla 45: Cuadro comparativo de resultados de Deflexiones por Sectores.....	107

Tabla 46: Cuadro de deflexiones admisibles.....	110
Tabla 47: Matriz de Consistencia	116

Índice de gráficos y figuras

Figura 1: Viga Benkelman	22
Figura 2: Viga Benkelman empleada en obra	23
Figura 3: Representación de un masivo infinito.....	27
Figura 4: Representación de modelo Bicapa	28
Figura 5: Factor de deflexión F2 para la teoría Bicapa.....	29
Figura 6: Punto de ubicación del extremo de la viga Benkelman.....	35
Figura 7: Geometría de colocación de la viga Benkelman.....	35
Figura 8: Procedimiento de medición de deflexión.....	36
Figura 9: Ubicación de sectores evaluados en la carretera en estudio.....	39
Figura 10: Esquema de estructura de pavimento a construirse	43
Figura 11: Factor de deflexión F2 -Sub base Sector 01-Calachota.....	47
Figura 12: Factor de deflexión F2 -Sub base Sector 02-Quiriman.....	48
Figura 13: Factor de deflexión F2 -Sub base Sector 02-Aucampi.....	48
Figura 14: Factor de deflexión F2 -Sub base Sector 02-Aucampi.....	49
Figura 15: Factor de deflexión F2 -Base granular Sector 01-Calachota.....	51
Figura 16: Factor de deflexión F2 -Base granular Sector 02-Quiriman	51
Figura 17: Factor de deflexión F2 -Base granular Sector 03-Aucampi.....	52
Figura 18: Factor de deflexión F2 -Base granular Sector 04-Ayauca.....	52
Figura 19: Deflectograma – Sub Rasante sector 01.....	59
Figura 20: Deflectograma – Sub Rasante sector 02.....	60
Figura 21: Deflectograma – Sub Rasante sector 03.....	61
Figura 22: Deflectograma – Sub Rasante sector 04.....	62
Figura 23: Comparación de deflexiones en relación a los suelos conformante de la Subrasante	63
Figura 24: Comparación de deflexiones Admisibles - Subrasante	64
Figura 25: Deflectograma – Sub Base granular sector 01.....	70
Figura 26: Deflectograma – Sub base granular sector 02.....	71
Figura 27: Deflectograma – Sub base granular sector 03.....	72
Figura 28: Deflectograma – Sub base granular sector 04.....	73
Figura 29: Comparación de deflexiones en relación a los suelos conformante de la plataforma- Sub Base granular.....	74

Figura 30: Comparación de deflexiones Característica en relación a los suelos conformante de la plataforma- Sub Base granular	75
Figura 31: Deflectograma – Base granular sector 01	81
Figura 32: Deflectograma – Base granular sector 02.	82
Figura 33: Deflectograma – Base granular sector 03.	83
Figura 34: Deflectograma – Sub base granular sector 04.	84
Figura 35: Comparación de deflexiones en relación a los suelos conformante de la plataforma- Base granular	85
Figura 36: Comparación de deflexiones característica en relación a los suelos conformante de la plataforma- Base granular	86
Figura 37: Deflectograma – Carpeta asfáltica sector 01.	92
Figura 38: Deflectograma – Carpeta asfáltica sector 02.	93
Figura 39: Deflectograma – Carpeta asfáltica sector 03.	94
Figura 40: Deflectograma – Carpeta asfáltica sector 04.	95
Figura 41: Comparación de deflexiones en relación a los suelos conformante de la plataforma- Carpeta asfáltica	96
Figura 42: Comparación de deflexiones característica en relación a los suelos conformante de la plataforma- Carpeta Asfáltica.	97
Figura 43: Interacción de deflexiones en Sub Rasante, Sub Base, Base y Carpeta Asfáltica-Sector 01.	99
Figura 44: Interacción de deflexiones en Sub Rasante, Sub Base, Base y Carpeta Asfáltica-Sector 02.	101
Figura 45: Interacción de deflexiones en Sub Rasante, Sub Base, Base y Carpeta Asfáltica-Sector 03	103
Figura 46: Interacción de deflexiones en Sub Rasante, Sub Base, Base y Carpeta Asfáltica-Sector 04.	105
Figura 47: Comparación de Deflexiones admisibles por Capas estructurales. ...	111
Figura 48: Comparación de Deflexiones admisibles por Sectores.	111
Figura 49: Conformación de capas de las capas estructurales del pavimento... ..	119
Figura 50: Compactación de las capas estructurales del pavimento.....	119
Figura 51: Imprimación Asfáltica	120
Figura 52: Colocación de carpeta asfáltica	120
Figura 53: Compactación de carpeta asfáltica	121

Figura 49: Control de temperatura del asfalto.	121
Figura 55: Prueba de Cono de arena y Contenido de humedad.	122
Figura 56: Verificación de la Supervisión las pruebas de densidad de campo... ..	122
Figura 57: Pesaje de camión a emplearse en las pruebas de deflectometría. ..	123
Figura 58: Reporte de pesaje.	123
Figura 59: Toma de muestras de base granular.....	124
Figura 60: Pruebas de deflectometría a nivel subrasante.	124
Figura 61: Pruebas de deflectometría a nivel Sub base granular.	125
Figura 62: Pruebas de deflectometría a nivel Base granular.	125
Figura 63: Pruebas de deflectometría a nivel carpeta asfáltica.	126
Figura 64: Informe de EMS-Hoja 01	128
Figura 65: Informe de EMS-Hoja 02.....	129
Figura 66: Informe de EMS-Hoja 03.....	130
Figura 67: Informe de EMS-Hoja 04.....	131
Figura 68: Informe de EMS-Hoja 05.....	132
Figura 69: Informe de EMS-Hoja 06.....	133
Figura 70: Informe de EMS-Hoja 07.....	134
Figura 71: Informe de EMS-Hoja 08.....	135
Figura 72: Informe de EMS-Hoja 09.....	136
Figura 73: Informe de EMS-Hoja 10.....	137
Figura 74: Informe de EMS-Hoja 11.....	138
Figura 75: Informe de EMS-Hoja 12.....	139
Figura 76: Informe de EMS-Hoja 13.....	140
Figura 77: Informe de EMS-Hoja 14.....	141
Figura 78: Informe de EMS-Hoja 15.....	142
Figura 79: Informe de EMS-Hoja 16.....	143
Figura 80: Informe de EMS-Hoja 17.....	144

RESUMEN

La presente investigación tiene como fin realizar el análisis deflectométrico, la comparación de resultados de deflexiones y verificación de la evolución de las deflexiones por capas evaluadas en cuatro sectores de la carretera cuyos suelos de fundación poseen distintas características en la obra denominada Mejoramiento de la carretera Tramo Calachota, Quiriman-Ayauca, distrito de Ayauca-Yauyos-Lima, para ello se verifica la calidad de los materiales a emplear para la conformación del pavimento flexible en cumplimiento a los requisitos dados en las especificaciones técnicas del proyecto, los mismos que se viene cumpliendo a cabalidad.

Para la evaluación estructural, se utilizó la Viga Benkelman para la medición de deflexiones, con la finalidad de determinar la condición del pavimento en proceso de ejecución.

A través de las deflexiones admisibles se logró el control de las deflexiones obtenidas en obra, obteniendo resultados satisfactorios ya que las deflexiones obtenidas en la obra fueron menores a las deflexiones admisibles calculados para el presente estudio.

Asimismo, se comprobó la disminución de las deflexiones a medida que se construye cada capa de la estructura del pavimento y la variación de las deflexiones en cada sector estudiado.

Palabra clave: Deflexiones, Viga Benkelman, admisibles, característica.

ABSTRACT

The purpose of the present investigation is to carry out the deflectometric analysis, the comparison of deflection results and verification of the evolution of the deflections by layers evaluated in four sectors of the road whose foundation soils have different characteristics in the work called Improvement of the Road Section Calachota, Quirimán-Ayacucho, district of Ayacucho-Yauyos-Lima, for this the quality of the materials to be used for the conformation of the flexible pavement is verified in compliance with the requirements given in the technical specifications of the project, the same ones that are being met fully.

For the structural evaluation, the Benkelman Beam was used to measure deflections, in order to determine the condition of the pavement in the execution process.

Through the admissible deflections, control of the deflections obtained on site was achieved, obtaining satisfactory results since the deflections obtained on the site were less than the admissible deflections calculated for the present study.

Likewise, the decrease in deflections as each layer of the pavement structure is built and the variation of the deflections in each studied sector was verified.

Keyword: Deflections, Benkelman beam, Allowable deflections, Characteristic deflections, Sectors.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las actividades más importantes del hombre es su libre transitabilidad, por diversos factores, ya sean de tipos sociales o ya sean de tipo económico; razón por lo cual, contar con vías apropiadas y seguras es de permanente interés y de estudio para lograr el tránsito adecuado.

Siendo pertinente la permanente evaluación del comportamiento de los pavimentos (rígidos y flexibles) que conforman la capa de rodadura de las vías que otorgan la transitabilidad antes señalada. El empleo de diferentes métodos para la evaluación indicada ha tenido una evolución constante y permanente; sin embargo, la utilización de técnicas como el de la viga Benkelman para determinar el comportamiento estructural de la vía en su conjunto, perdura en el tiempo por su eficacia demostrada en las diversas aplicaciones donde se le ha empleado.

La evaluación estructural a través de la realización de ensayos no destructivos tal como la de la Viga Benkelman resulta práctica y eficiente ya que no altera las propiedades físicas y químicas del pavimento, por lo tanto, no existe daño.

Las mediciones realizadas a través de la viga Benkelman resulta sencillo, veloz y económica y se realiza en las capas del pavimento tal es el caso de la subrasante, sub base, base granular y carpeta asfáltica con el objetivo de controlar la capacidad estructural del pavimento realizando las medidas correctivas instantáneamente.

El proyecto tiene como justificación que debido al incremento de las inversiones públicas para el crecimiento de la red vial nacional y regional de nuestro país, resulta necesario realizar un exhaustivo control de calidad durante el proceso de ejecución con la finalidad de asegurar la vida de servicio de las vías ya que, por factores como agentes climáticos, cargas de tráfico consideradas en el diseño o un proceso constructivo deficiente suelen presentar fallas tempranas. Por ello realizar un adecuado monitoreo y verificación durante la ejecución de los pavimentos flexibles a través de las

pruebas de deflectometría nos ayudara encontrar puntos inestables y así realizar las correcciones de forma inmediata.

La investigación nos demostrara como es el comportamiento estructural del pavimento durante el proceso constructivo de la carretera Calachota-Ayauca, analizadas en la subrasante, sub base, base y carpeta asfáltica y cómo evoluciona las deflexiones en cada mencionada.

El resultado de esta investigación busca la construcción de un pavimento flexible que obtenga una buena capacidad estructural y tenga un buen comportamiento en cada una de las capas del paquete estructural como de la subrasante.

La presente tesis busca determinar el comportamiento estructural mediante la interpretación de deflexiones de las capas conformantes en los diferentes sectores de la carretera lo cual nos brindará un mejor concepto funcional del paquete estructural del pavimento flexible de la carretera Calachota- Ayauca.

Para la evaluación estructural, se utilizó la Viga Benkelman para medir las respuestas del pavimento ante el paso del camión cuyas características están normadas, las pruebas de reflectometría se llevaron a cabo en 04 sectores de la carretera en ejecución, tales son Calachota, Quiriman, Aucampi y Ayauca, se procedió a evaluar los suelos conformantes de la plataforma con la realización de calicatas con la finalidad de hallar sus características y el CBR en cada sector.

Una vez indicado la problemática, se formuló la siguiente pregunta; ¿Cómo es el comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Calachota-Allauca, en relación a los suelos conformantes de la plataforma de los sectores de Calachota-Quiriman-Aucampi y Ayauca?, y los problemas específicos son:

¿De qué manera se obtendrán las deflexiones admisibles en cada capa del paquete estructural del pavimento, considerando los suelos conformantes de la plataforma de los sectores de Calachota, Quiriman, Aucampi y Ayauca?

¿Cómo es el comportamiento estructural de la subrasante, sub base granular, base granular y carpeta asfáltico en los sectores Calachota, Quiriman, Aucampi y Ayauca considerando que cada sector posee suelos conformantes de la plataforma con diferentes características y CBR?

¿Como es la interacción de deflexiones entre las capas estructurales en los sectores de Calachota, Quiriman, Aucampi y Allauca?

El proyecto tuvo como objetivo general, Determinar el Comportamiento estructural del pavimento flexible en relación a los suelos conformantes de la plataforma por el Método de la Viga Benkelman de la Carretera Calachota-Ayauca.

Dentro de la tesis se tiene como objetivos específicos lo siguiente:

Objetivo N°01.- Determinar las deflexiones admisibles en las capas del pavimento flexible, para tener un buen control y encontrar puntos que denoten inestabilidad.

Objetivo N°02.- Determinar y comparar el comportamiento estructural en la Subrasante, Sub base, Base granular y Carpeta asfáltica de los sectores Calachota-Quiriman-Aucampi y Ayauca.

Objetivo N°03.- Comparar las deflexiones obtenidas de acuerdo a las capas estructurales de los sectores Calachota-Quiriman-Aucampi y Ayauca.

De acuerdo al problema planteado se formula la siguiente hipótesis:

Mediante el análisis deflectométrico de las capas de un pavimento flexible sobre subrasante con diferentes características, se determina la capacidad estructural del pavimento y así obtendremos un buen comportamiento del paquete estructural.

Se tiene dentro de la tesis como hipótesis específicas lo siguiente:

Mediante la obtención de las deflexiones admisibles se puede llevar el control de las deflexiones simples obtenidas en campo e identificar puntos inestables, con la finalidad de realizar las correcciones respectivas.

Las deflexiones varían en la Subrasante, Sub base, Base y Carpeta asfáltica en el sector Calachota, Quiriman-Aucampi y Ayauca, debido a las características propias del suelo de cada sector.

Las deflexiones de las capas estructurales evolucionan correlativamente debido a que se homogenizan y las presiones ejercidas por fuerza actuante se pierde hasta llegar a la subrasante.

II. MARCO TEÓRICO

Para Rico, 1977 un pavimento puede definirse como el conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior del suelo y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proveer una superficie de rodamiento uniforme, de apropiada textura y color, resistente a la acción de tránsito, así como transmitir adecuadamente al suelo los esfuerzos producidos por las cargas dadas por el tránsito.

El análisis estructural de los pavimentos consiste fundamentalmente, en determinar la capacidad portante entre Subrasante y pavimento, a fin de establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento va a cambiar de función o se acerca al fin de su vida útil.

Tenemos como antecedente internacional a Barrantes y Elizondo (2008) en su informe titulado "Análisis Estructural del Pavimento Esterillos – Loma". Costa Rica. Los investigadores determinan la capacidad estructural de la carretera a través de un análisis estructural mediante el retrocálculo con los datos de materiales que conforman el pavimento y espesores de cada capa captadas por medio del LanammerUCR, a través de la evaluación logro identificar las zonas deterioradas.

Asimismo, tenemos a Escobar y García (2007) en su investigación titulada "Análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de la Viga Benkelman y el Deflectómetro de Impacto". Determina la ecuación de correlación entre las deflexiones medidas tanto por la Viga Benkelman y el Deflectómetro de Impacto, se halló el valor de correlación de 0.89 correspondiente a una correlación positiva del 89% entre las deflexiones obtenidas mediante el Deflectómetro de Impacto y la Viga Benkelman.

Como antecedente nacional tenemos a Ignacio (2003) En la Universidad Nacional de Cajamarca, en la Tesis "Análisis Deflectométrico de las capas del pavimento flexible con Subrasante de suelo arenoso en la Panamericana Norte km 355+500 al 375+500", el análisis se llevó a cabo mediante los ensayos de deflexiones tomadas en la carpeta de rodadura, los que dan la idea del comportamiento entre el pavimento y la Subrasante mediante la

interpretación de las curvas de deflexiones obtenidas en campo. Además, se controló las deflexiones en todas las capas del pavimento y de la subrasante donde se construyó el pavimento flexible con la finalidad de evaluar puntos que noten inestabilidad.

Asimismo a Jiménez (2014) En la tesis Universitaria "diagnostico estructural de afirmado estabilizado con cloruro de magnesio mediante el modelo matemático de Hong y Viga Benkelman" , donde el autor analizo el comportamiento estructural que posee el afirmado estabilizado con cloruro de magnesio del tramo Supe- Caral, obteniendo los módulos elásticos de la subrasante y con ello el CBR en cada punto ensayado, con esto se pudo concluir qué sectores necesitan mantenimiento y cuales necesitan mejoramiento de subrasante.

Como otro antecedente nacional tenemos a Carahuatay (2015) en su tesis titulado "Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera San Miguel - Pablo, tramo San Miguel - SUNUDEN; mediante el análisis deflectométrico", determinó el comportamiento estructural de las capas del Pavimento flexible de la carretera San Miguel - San Pablo, tramo San Miguel - Sunuden, mediante el análisis deflectométrico. Determinando que dicha carretera posee actualmente un mal comportamiento estructural. Debido a que la deflexión característica (137.12×10^{-2} mm) es mayor a la deflexión admisible (108×10^{-2} mm). Por lo que no se garantiza una estructura de comportamiento bueno.

Ante una dificultad de evaluación estructural, normalmente se recurre a la excavación de calicatas, al muestreo para ensayo en el laboratorio, y al análisis de cada uno de sus materiales, para incorporarlos luego al pavimento y hallar las características estructurales de la muestra. Esta metodología es destructiva y lenta.

La realización de estos ensayos, requiere dañar el pavimento existente en algún punto. Entre los ensayos destructivos más utilizados para la evaluación de la capacidad de soporte de la estructura existente, se encuentran: - Excavación de calicatas. Básicamente se basa en el procedimiento de

recolectar información de diseño y tiene como objetivo la determinación de distintas características de los materiales de las capas que conforman el pavimento, para el diseño y/o evaluación estructural.

- Extracción de testigos. Con la extractora de testigos, se obtiene una probeta cilíndrica de las capas del pavimento. Por lo tanto, solo es aplicable a la extracción de materiales de capas de asfalto y concreto. Permite medir las propiedades mecánicas de resistencia y los espesores.

- Placa de carga. El ensayo de placa de carga sirve para la evaluación de la capacidad portante del material de subrasante, bases, y en algunos 16 casos, del pavimento completo utilizando placas de diámetros relativamente grandes

- Penetrómetro Dinámico de Cono. es un dispositivo que permite realizar una auscultación in-situ de las capas de suelo de la subrasante y bases granulares. A través del ensayo se obtiene la penetración de la sonda para un determinado número de golpes (PR), el cual está relacionado con las propiedades de CBR. (Thenoux Z., 2019)

La evaluación estructural basada en ensayos no destructivos se denomina así, debido a que permiten estudiar la capacidad estructural existente de un pavimento sin necesidad de intervenir este en ningún punto. Entre los métodos no destructivos, tenemos los siguientes:

Medidas de Deflexión y Evaluaciones Empíricas Medidas de Deflexión: Estos métodos se basan en producir deformaciones elásticas o deflexiones en el pavimento mediante dispositivos especiales, los cuales actúan bajo una sollicitación estática o dinámica.

Los equipos capaces de medir deflexiones, destacándose entre los más importantes los siguientes:

- Viga Benkelman
- Deflectómetro
- Dynaflect

- Falling Weight Deflectometer (FWD)

Evaluación Empírica (Vida Remanente): Es un ensayo que corresponde a una evaluación basada en relacionar la pérdida de capacidad estructural del pavimento con las sollicitaciones de tránsito reales acumuladas (Thenoux Z., 2019).

Podemos definir a la deflexión, como la medida de la deformación elástica que experimenta un pavimento, al paso de una carga en función del tipo y del estado del pavimento.

Existen tres tipos de equipo para determinar las deflexiones del pavimento según metodologías existen equipos de medición no destructivas los cuales son:

- Equipos por medio de cargas estáticas.
- Equipos por medio de cargas vibratorias.
- Equipos por medio de cargas de impacto.

Para cualquiera de ellos el principio es el mismo y consiste en aplicar una carga de magnitud conocida a la superficie del pavimento y medir las deflexiones. (Carahuatay,2015).

El trabajo de la investigación está basado en la evaluación estructural de los pavimentos flexibles, por lo que se explicara a detalle las capas que lo conforman y su comportamiento frente a sollicitaciones externas.

Los pavimentos flexibles están compuestos por las siguientes capas: carpeta asfáltica, base, subbase y Subrasante.

La subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (relleno y corte), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento; es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural y la estructura del pavimento.

Si el volumen que se extrae no es suficiente para conformar los terraplenes o los rellenos, se necesita extraer materiales fuera de ella, denominados zonas

de préstamos; si se ubican cercanas a la obra, se denominan zona de préstamo lateral, de lo contrario son zonas de préstamo de banco.

En caso los materiales encontrados en las zonas cercanas a la obra no cumplan con las características especificadas, se requieren estabilizarlos mecánicamente o químicamente. En otras ocasiones, para construir los terraplenes es necesario formar una caja y sustituir el material extraído por otro de préstamo con características adecuadas; este procedimiento se utiliza a menudo para construir la capa subrasante en cortes. A veces, el material de los cortes es adecuado para la capa subrasante y por lo mismo se debe utilizar este en remplazo del material de préstamo de banco.

Según las especificaciones técnicas del proyecto indican que los trabajos de conformación de Subrasante (perfilado, nivelación y compactación de la subrasante en zonas de corte), se Asimismo deberá de cumplir la compactación según los siguientes criterios:

- La densidad de la sub rasante compactada se definirá sobre un mínimo de una (1) cada 250 m² de plataforma terminada y compactada.
- Las densidades individuales del lote (D_i) deben ser, como mínimo, el noventa y cinco por ciento (95%) de la máxima densidad en el ensayo Proctor modificado de referencia (D_e).

$$D_i \geq 0.95 D_e$$

La sub base granular es una capa que sirve de contacto entre las capas de calidad superior de pavimento con la subrasante; la subbase que habitualmente es granular, es la capa que genera el menor costo en el pavimento debido a la proximidad de la cantera a la obra además porque requiere el menor número de operaciones de tratamiento; la subbase actúa como KERNEL o bisagra entre las capas superiores de alta calidad y la subrasante de pobre calidad. La subbase sirve como capa amortiguadora, cuando es debidamente diseñada frente a los cambios volumétricos que puede sufrir la subrasante; también debe ser capaz de soportar, disipar y transmitir los esfuerzos provenientes de las capas superiores. (Jaén y Ticona,2018)

Según a lo establecido en las Especificaciones técnicas generales para la construcción (EG 2013) menciona que para la “construcción de sub bases granulares, los materiales serán agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones, canteras clasificados o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas, o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias”. (MTC,2013)

El material deberá ajustarse a una de las franjas granulométricas indicadas en el siguiente cuadro.

Tabla 1: Requerimientos Granulométricos para Sub-Base Granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (N° 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N° 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (N° 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (N° 200)	2 – 8	5 – 15	5 – 15	8 – 15

Fuente. MTC

(1) La curva de gradación “A” deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.

Además, el material también deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

Tabla 2: Requerimientos de Ensayos Especiales

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento
				< 3000 msnm
Abrasión	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 89	6% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% mín.
Sales Solubles	MTC E 219			1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas (2)	MTC E 221	D 4791		20% máx.

Fuente: MTC.

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1" (2.5mm)

(2) La relación a emplearse para la determinación es 1/3 (espesor/longitud)

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Contratista deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa.

Tabla 3: Resumen de control de calidad de material Sub base granular

CUADRO RESUMEN DE CALIDAD DE SUB BASE GRANULAR																					
Código de Ensayo No	Fecha	Ubicación		Análisis Granulométrico % Pasante del Tamiz							L.L.	I.P.	Clasificación de Suelos		Equiv. Arena	Abrasión	Peso Específico (gr/cm ³)	Absorción (%)	Proctor Mod.		
		Inicial	Final	2"	1"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200			S.U.C.S.	AASHTO					M.D.S. (gr/cm ³)	O.C.H. (%)	
Lab-001	15/10/2020	0 + 000	0 + 250	98.9	82.1	61.8	47.3	39.8	26.5	13.7	22.0	4.0	GM	A-1-a (0)	29.0	17.7	2.732	0.99	2.309	5.3	
Lab-002	17/10/2020	0 + 250	0 + 500	100.0	83.8	59.9	47.5	40.2	26.5	13.5	20.0	4.0	GM	A-1-a (0)	28.0	18.5	2.729	1.00	2.313	4.9	
Lab-003	20/10/2020	0 + 500	0 + 750	100.0	84.9	60.1	48.5	40.0	26.4	13.8	20.0	3.0	GM	A-1-a (0)	27.0	18.3	2.733	1.12	2.310	5.1	
Lab-004	21/10/2020	0 + 750	1 + 000	99.9	83.1	58.7	46.6	39.8	24.5	12.9	21.0	4.0	GM	A-1-a (0)	28.0	18.4	2.722	0.88	2.320	5.2	
Lab-005	24/10/2020	4 + 500	4 + 750	100.0	83.4	57.9	45.6	37.5	22.6	13.3	22.0	6.0	GC-GM	A-1-a (0)	27.0	19.5	2.727	1.05	2.342	5.0	
Lab-006	25/10/2020	4 + 750	5 + 000	100.0	84.5	59.3	49.1	39.6	23.1	12.4	19.0	4.0	GC-GM	A-1-a (0)	27.0	18.9	2.711	0.85	2.323	4.7	
Lab-007	27/10/2020	5 + 000	5 + 250	100.0	84.2	62.6	50.7	40.1	23.0	13.6	21.0	5.0	GC-GM	A-1-a (0)	26.0	18.7	2.738	1.03	2.324	4.9	
Lab-008	30/10/2020	5 + 250	5 + 500	98.4	83.4	59.6	47.2	39.5	25.4	13.8	20.0	4.0	GC-GM	A-1-a (0)	29.0	19.1	2.730	1.12	2.331	5.1	
Lab-009	03/11/2020	14 + 000	14 + 250	100.0	85.1	64.8	54.3	42.3	23.3	11.8	19.0	4.0	GW-GC	A-1-a (0)	28.0	19.3	2.712	0.99	2.318	5.2	
Lab-010	05/11/2020	14 + 250	14 + 500	99.1	83.7	64.7	53.6	41.7	21.3	11.2	18.0	3.0	GW-GM	A-1-a (0)	31.0	17.1	2.747	0.66	2.316	5.0	
Lab-011	06/11/2020	14 + 500	14 + 750	100.0	80.9	55.0	42.8	34.3	19.9	11.6	23.0	5.0	GP-GC	A-1-a (0)	28.0	18.7	2.717	0.75	2.301	4.3	
Lab-012	08/11/2020	14 + 750	15 + 000	100.0	81.2	54.3	44.1	36.5	23.8	12.4	21.0	5.0	GW-GM	A-1-a (0)	29.0	18.1	2.722	1.08	2.310	4.8	
Lab-013	09/11/2020	17 + 000	17 + 250	100.0	80.6	52.1	38.7	30.5	17.1	9.9	20.0	4.0	GP-GC	A-1-a (0)	30.0	18.3	2.761	1.10	2.354	4.4	
Lab-014	11/11/2020	17 + 250	17 + 500	100.0	80.3	59.7	47.3	38.7	21.3	10.4	22.0	4.0	GP-GC	A-1-a (0)	26.0	17.9	2.718	0.78	2.341	4.2	
Lab-015	16/11/2020	17 + 500	17 + 750	100.0	80.9	57.8	45.0	38.2	22.2	12.8	20.0	5.0	GC-GM	A-1-a (0)	27.0	18.5	2.737	0.65	2.327	4.5	
Lab-016	17/11/2020	17 + 750	18 + 000	100.0	80.4	56.7	44.9	36.5	20.4	11.1	19.0	5.0	GC-GM	A-1-a (0)	29.0	18.3	2.724	0.86	2.337	4.4	
Resumen Estadístico	Cantidad			16	16	16	16	16	16	16											
	Promedio			99.8	82.7	59.1	47.1	38.5	23.0	12.4											
	Min			98.4	80.3	52.1	38.7	30.5	17.1	9.9											
	Max			100.0	85.1	64.8	54.3	42.3	26.5	13.8											
	Des. Estándar			0.499	1.712	3.498	3.856	2.929	2.615	1.26115											
Espec. Técnica - Gradación "B"		% Min		100	75	40	30	20	15	5											
		% Max		100	95	75	60	45	30	15											

Fuente: Elaboración propia

La base granular se define como la “capa estructural de los pavimentos, por lo cual se construye siguiendo procedimientos que van de mediana a alta calidad, para generar propiedades tales como una alta densidad y una buena resistencia, como se sabe de la teoría de los ensambles granulares. La base es la capa encargada de soportar disipar y transmitir los esfuerzos provenientes de la capa superior. Pero no debe asumirse que ésta es la única capa estructural, como creían algunos antiguamente”. (Jaén y Ticona,2018)

El material de base granular deberá ajustarse a una de las franjas granulométricas indicadas en el siguiente cuadro.

Tabla 4: Requerimientos Granulométricos para Base Granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	---	---
25 mm (1")	---	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (N° 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (N° 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (N° 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (N° 200)	2 – 8	5 – 15	5 - 15	8 – 15

Fuente: MTC

(1) La curva de gradación “A” deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 m.s.n.m.

El material de Base deberá cumplir además con las siguientes características físico- mecánicas y químicas que se indican a continuación:

Tabla 5: Características físicas-químicas -Base granular.

Valor Relativo de Soporte, CBR (1)	Tráfico Ligero y Medio	Mín. 80%
	Tráfico Pesado	Mín. 100%

Fuente: MTC.

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1" (2.5 mm).

La franja por utilizar será la establecida en los documentos del proyecto o la determinada por el Supervisor.

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Contratista deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme, sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente o viceversa.

(a) Agregado grueso

Se denominará así a los materiales retenidos en la Malla N° 4, los que consistirán de partículas pétreas durables y trituradas capaces de soportar los efectos de manipuleo, extendido y compactación sin producción de finos contaminantes.

Deberán cumplir las siguientes características:

Tabla 6: Requerimientos Agregado Grueso

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos	
				Altitud	
				< Menor de 3000 msnm	≥ Mayor o igual a 3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821		80% min.	80% min.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821		40% min.	50% min.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx	40% max
Partículas Chatas y Alargadas (1)	MTC E 221	D 4791		15% máx.	15% máx.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	D 1888		0.5% máx.	0.5% máx.
Pérdida con Sulfato de Sodio	MTC E 209	C 88	T 104	--	12% máx.
Pérdida con Sulfato de Magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	--	18% máx.

Fuente: MTC

(1) La relación a emplearse para la determinación es: 1/3 (espesor/longitud)

(a) Agregado fino

Se denominará así a los materiales pasantes la malla N° 4 que podrá provenir de fuentes naturales o de procesos de trituración o combinación de ambos.

Tabla 7: Requerimientos Agregado Fino.

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		< 3 000 m.s.n.m.	> 3 000 m.s.n.m.
Índice Plástico	MTC E 111	4% máx.	2% máx.
Equivalente de arena	MTC E 114	35% mín.	45% mín.
Sales solubles totales	MTC E 219	0,55% máx.	0,5% máx.
Índice de durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.

Fuente: MTC

Tabla 8: Resumen de control de calidad de material Base granular

Codigo de Ensayo N°	Fecha	Ubicación		Analisis Granulometrico % Pasante del Tamiz							L.L.	I.P.	Clasificación de Suelos		Equiv. Arena	Abrasión	Peso Especifico	Absorción (%)	Proctor Mod.	
		Inicial	Final	2"	1"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200			S.U.C.S.	AASHTO					M.D.S. (gr/cm3)	O.C.H. (%)
Lab-001	30/10/2020	0 + 000	0 + 250	98.4	87.9	61.6	50.9	41.4	21.9	10.9	19.3	3.0	GW-GM	A-1-a (0)	37.0	19.6	2.731	1.01	2.340	4.7
Lab-002	01/11/2020	0 + 250	0 + 500	100.0	88.2	60.4	50.6	40.7	22.4	11.3	18.0	3.0	GW-GM	A-1-a (0)	37.0	18.9	2.718	1.05	2.354	4.3
Lab-003	04/11/2020	0 + 500	0 + 750	100.0	91.7	61.2	49.5	38.2	19.8	10.2	18.0	2.0	GW-GM	A-1-a (0)	37.0	19.8	2.723	1.01	2.352	4.3
Lab-004	05/11/2020	0 + 750	1 + 000	100.0	90.3	61.8	50.0	39.2	21.4	10.7	18.0	3.0	GW-GM	A-1-a (0)	38.0	16.3	2.723	1.07	2.336	4.5
Lab-005	08/11/2020	4 + 500	4 + 750	100.0	87.5	57.5	46.6	37.0	19.6	10.2	17.0	3.0	GW-GM	A-1-a (0)	37.0	15.3	2.728	1.07	2.378	4.1
Lab-006	09/11/2020	4 + 750	5 + 000	100.0	89.6	58.4	47.9	26.3	20.3	11.1	19.0	2.0	GW-GM	A-1-a (0)	38.0	18.6	2.722	1.00	2.362	4.6
Lab-007	11/11/2020	5 + 000	5 + 250	100.0	83.5	55.0	45.4	36.5	21.7	10.1	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	39.0	15.7	2.723	0.52	2.383	4.1
Lab-008	14/11/2020	5 + 250	5 + 500	100.0	85.3	59.3	48.2	38.0	19.8	10.3	18.0	3.0	GW-GM	A-1-a (0)	38.0	17.5	2.714	0.68	2.356	4.4
Lab-009	18/11/2020	14 + 000	14 + 250	98.3	81.6	60.3	49.9	40.2	20.9	6.2	19.0	2.0	GP-GM	A-1-a (0)	38.0	18.5	2.717	1.01	2.348	4.7
Lab-010	20/11/2020	14 + 250	14 + 500	100.0	83.4	57.8	50.1	27.6	20.5	8.8	18.0	3.0	GP-GM	A-1-a (0)	37.0	18.2	2.725	0.77	2.341	4.5
Lab-011	21/11/2020	14 + 500	14 + 750	100.0	83.0	53.9	44.3	35.3	23.4	12.6	20.0	3.0	GM	A-1-a (0)	37.0	16.1	2.728	0.78	2.348	4.6
Lab-012	23/11/2020	14 + 750	15 + 000	100.0	87.4	59.5	47.9	35.4	17.7	7.7	NP	NP	GW-GM	A-1-a (0)	39.0	19.9	2.728	1.11	2.368	4.4
Lab-013	24/11/2020	17 + 000	17 + 250	100.0	84.4	60.4	48.9	38.4	24.8	11.2	19.0	3.0	GW-GM	A-1-a (0)	36.0	18.5	2.720	0.74	2.331	4.9
Lab-014	26/11/2020	17 + 250	17 + 500	100.0	87.5	59.4	48.7	38.3	22.3	10.0	19.0	3.0	GW-GM	A-1-a (0)	38.0	16.9	2.723	0.86	2.338	4.4
Lab-015	01/12/2020	17 + 500	17 + 750	100.0	89.4	64.2	54.4	39.7	22.9	12.0	NP	NP	GM	A-1-a (0)	36.0	17.5	2.720	0.55	2.322	5.0
Lab-016	02/12/2020	17 + 750	18 + 000	100.0	87.1	60.2	49.3	36.8	21.4	11.1	18.0	2.0	GM	A-1-a (0)	37.0	18.0	2.719	0.94	2.344	4.6
Resumen Estadístico	Cantidad			16	16	16	16	16	16	16										
	Promedio			99.8	86.7	59.4	48.9	36.8	21.3	10.3										
	Min			98.3	81.6	53.9	44.3	26.3	17.7	6.2										
	Max			100.0	91.7	64.2	54.4	41.4	24.8	12.6										
	Des. Estandar			0.564	2.914	2.544	2.346	4.239	1.715	1.586										
Espc, Tecnica - Gradación "B"			% Min	100	75	40	30	20	15	5										
			% Max	100	95	75	60	45	30	15										

Fuente: Elaboración propia

Se define como carpeta asfáltica a la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, está compuesta por una mezcla de materiales pétreos seleccionados y un producto bituminoso. Tiene como función proporcionar a los vehículos que circulen sobre ella una superficie estable, impermeable, uniforme y de textura adecuada. (Jaén y Ticona,2018)

Requisitos de los agregados para Carpeta Asfáltica

✓ Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa del material asfáltico por utilizar en el trabajo.

✓ Se denominará agregado grueso la porción del agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (N° 4); agregado fino la porción comprendida entre los tamices de 4.75 mm y 75 mm (N° 4 y N° 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 75 mm (N° 200).

✓ El agregado grueso deberá proceder de la trituración de grava; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto, alternativamente puede proceder de la trituración de roca.

✓ Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación.

✓ El polvo mineral o llenante será cal hidratada. Su peso unitario aparente, determinado por el ensayo de sedimentación en tolueno, deberá encontrarse entre cinco y ocho décimas de gramo por centímetro cúbico (0,5 y 0,8 g/cm³) (BS 812, NLT 176) y su coeficiente de Capítulo III – Características de los materiales 51 emulsibilidad deberá ser inferior a seis décimas (0,6). - Cemento

asfáltico El cemento asfáltico en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico.

Tabla 9: Mezclas en caliente tipo de cemento Asfáltico clasificado según penetración

Temperatura Media Anual 24°C o más
PEN 60 - 70

Fuente: MTC

Tabla 10: Mezclas en caliente tipo de cemento Asfáltico clasificado según penetración

CARACTERÍSTICAS	ENSAYO	Pen 60-70	
		MIN	MAX
Penetración a 25° C, 100 gr. 5 seg. 0.1 mm (AASHTO-T49) (ASTM-D5)	MTC E 304	60	70
Punto de Inflamación, COC. ° C (AASHTO-T48) (ASTM-D92)	MTC E 312	232	-
Ductibilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm (AASHTO-T51) (ASTM-D113)	MTC E 306	100	-
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa (AASHTO-T44) (ASTM-D2042)	MTC E 302	99	-
Susceptibilidad Térmica (AASHTO-T240) (ASTM-D2872) Ensayo de Película delgada en Horno, 3.2 mm 163° C, 5 hrs.	MTC E 316		
➤ Pérdida de masa %		-	0.8
➤ Penetración del residuo, % de la penetración original	MTC E 304	52	-
➤ Ductibilidad del residuo 25°C, 5 cm/min, cm.	MTC E 306	50	-
Índice de Susceptibilidad Térmica		-1.0	+1.0
Ensayo de la Mancha con solvente Heptano – Xileno (opcional)	MTC E 304	Negativo	

Fuente: MTC

Tabla 11: Especificaciones del Cemento Asfáltico Clasificado por Viscosidad

Características	Ensayos	Grado de Viscosidad			
		AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta 60°C, Pa s (Poises)	MTC e 308	50 ₊₅ (500+100)	100 ₊₂₀ (1000+200)	200 ₊₄₀ (2000+400)	40 ₊₈₀ (4000+800)
Viscosidad Cinemática, 135 °C mm 2/s, mínimo	MTC E 301	100	150	210	300
Penetración 25 °C, 100 gr, 5s mínimo	MTC E 304	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, °C	MTC E 303	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno % masa, mínimo	MTC E 302	99	99	99	99
Susceptibilidad Térmica Ensayo de Película Delgada en Horno	MTC E 316				
*Viscosidad Absoluta 60°C, Pa s (Poises) máximo	MTC E 304	200 -2000	400 -4000	800 -8000	1600 -16000
*Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm. Mínimo	MTC E 306	100	50	20	10
Ensayo de la mancha con solvente Heptano-xileno	MTC E 314	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Fuente: MTC

- ✓ Emulsiones asfálticas De acuerdo con la aplicación y según lo establezca la respectiva especificación, se utilizarán emulsiones catiónicas de rotura rápida, o lenta, cuyas características básicas se presentan en la Tabla 3.17.
- ✓ Aditivos mejoradores de adherencia En caso de que los requisitos de adhesividad indicados en cada especificación no sean satisfechos, no se permitirá el empleo del agregado, salvo que se incorpore un producto mejorador de adherencia tipo amina de calidad reconocida.
- ✓ Temperatura de Aplicación del Material Bituminoso El material bituminoso a utilizar en los diferentes trabajos según la especificación respectiva será obligatoriamente aplicado dentro de los rangos establecidos por la carta viscosidad – temperatura.

Tabla 12: Especificaciones Para Emulsiones Catiónicas

Tipo De Emulsiones	Rotura Rápida		Rotura Media		Rotura Lenta	
	CRS - 1		CMS-2		CSS - 1	
1. ENSAYO SOBRE EMULSIONES	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Viscosidad						
<input type="checkbox"/> Saybolt Furol a 25 C Seg	20	100			20	100
<input type="checkbox"/> Saybolt Furol a 50 C Seg			50	450		
Estabilidad de Almacenamiento						
<input type="checkbox"/> Sedimentación a los 7 días %		1		1		1
Destilación						
<input type="checkbox"/> Contenido de Asfalto Residual %	60		65		57	
<input type="checkbox"/> Contenido de Disolventes %		3		12		
Tamizado						
<input type="checkbox"/> Retenido T 20 (850 mm)		0.1		0.1		0.1
Rotura						
<input type="checkbox"/> Dioctilsulfosuccinato sódico %	40					
<input type="checkbox"/> Mezcla con cemento %						
Carga Partícula	Positiva		Positiva		Positiva	
Recubrimiento del agregado y resistencia de desplazamiento						
<input type="checkbox"/> Con agregado seco	Buena		Buena		Buena	
<input type="checkbox"/> Con agregado seco y acción del agua	Satisfactoria		Satisfactoria		Satisfactoria	
<input type="checkbox"/> Con agregado húmedo	Satisfactoria		Satisfactoria		Satisfactoria	
<input type="checkbox"/> Con agregado húmedo y acción del agua	Satisfactoria		Satisfactoria		Satisfactoria	
2. ENSAYOS SOBRE RESIDUO DE DESTILACION						
Penetración (25°C, 100 gr, 5 seg) 0.1 mm.	100	250	100	250	100	250
Ductilidad (25°C, 5 cm/m) cm	40		40		40	
Tricloroetileno %	97.5		97.50		97.5	

Fuente: MTC

Se define a la deflexión como el desplazamiento vertical de la superficie del pavimento en respuesta a la aplicación de una carga externa y representa una respuesta total del sistema del Pavimento, ante la aplicación de dicha carga.

Para medir las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas a través de ensayos deflectométrico mediante el uso de la Viga Benkelman. El que se ha empleado ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por ser practica como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que brinda.

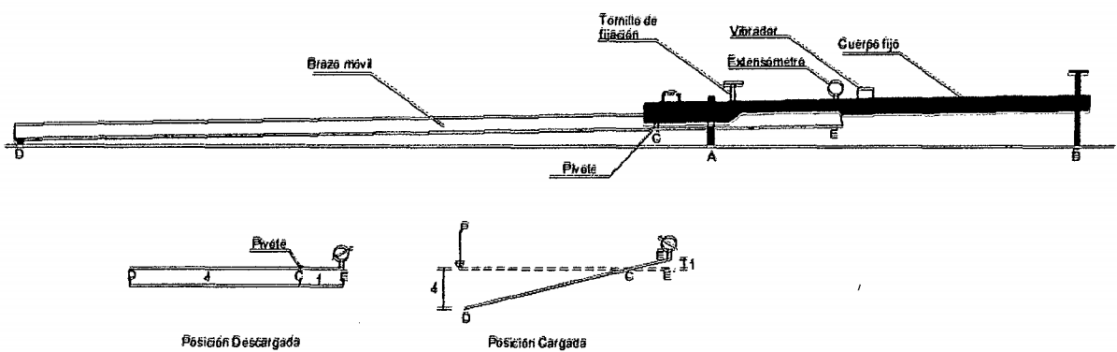
El Viga Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple, la viga consta esencialmente de dos partes:

- Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y "D" y uno trasero regulable "B")
- Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo por una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E"). adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que, al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

El extremo "D" o "punta de la viga" es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo "C", con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el

punto "D" se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro. la operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman, lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflactó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real, sino que dependen de la relación de brazos existentes.

Figura 1: Viga Benkelman



Fuente: MTC

Figura 2: Viga Benkelman empleada en obra



Fuente: Elaboración propia

Según el Manual para Ensayos de Materiales (MTC,2016) indica que los equipos mínimos para la realización de ensayos de medición de deflexiones son los siguientes:

- Viga Benkelman de doble brazo con sus correspondientes diales (al 0,01 mm y recorrido de 12 mm) y las siguientes dimensiones: -

Longitud del primer brazo (brazo largo), desde el pivote al punto de prueba es 2,44 m. - Longitud del primer brazo (brazo largo), desde el pivote al punto de apoyo del vástago del dial es 0,61m.

Longitud del segundo brazo (brazo corto), desde el pivote al punto de prueba es 2,19 m. - Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago de su dial registrador = 0,5475 m

- Un camión para ensayo con las siguientes características, el eje trasero pesará en la balanza 8,2 toneladas, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Las llantas deberán ser 10" x 20"; 12 lonas e infladas a 5,6 kg/cm² (80 libras por pulgada cuadrada). La distancia entre los puntos

medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual deber ser de 32 cm.

- Reloj convencional con indicador de segundos. 4.1.5
- Termómetro convencional o sistema de termopares con escala de -10 °C a 50 °C y precisión de 1 °C.
- Manómetro, que disponga de una boquilla adecuada para medir la presión de inflado. 4.1.7
- Cinta métrica, de 25 m de longitud. Puede sustituirse con ventaja por una cuenta metros y una cinta métrica de bolsillo de 2 ó 3 m de longitud.
- Martillo y clavos de acero, o taladro, adecuados para practicar orificios en el pavimento hasta 5 cm de profundidad.
- Cuña o calzo de parada, de chapa metálica o de madera.
- Tizas y pintura para marcar el pavimento. Silbato y otro avisador acústico.

Una vez obtenido los datos de campo, se procede a realizar el cálculo de las deflexiones, teniendo en cuenta el siguiente criterio:

- Para el caso de la deflexión máxima, se debe calcular la diferencia entre la lectura final y la lectura inicial.

$$\text{Deflexión máxima} = (D_F - D_0) \times 4$$

- Para el caso de la deflexión a 25 Cm, se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 25 cm y la lectura final, como se muestra a continuación:

$$\text{Deflexión a 25 Cm} = (D_{25} - D_0) \times 4$$

En este caso la deflexión depende de la deflexión inicial ya que las lecturas se realizan con su propio dial y no hay la necesidad de una resta entre ambas, como sucede con la viga de 1 brazo que cuenta con un solo dial para tomar las lecturas. (Andrade Alama) -1996

Asimismo, teniendo en cuenta la temperatura de la capa asfáltica de rodadura influencia en el valor de la deflexión, las deflexiones medidas sobre la superficie de un pavimento asfáltico deben ser corregidas en función a la temperatura media que la capa experimenta durante la ejecución del ensayo, la cual varía durante el transcurso del día. A fin de referir todas las deflexiones a una temperatura estándar de 20°C, se emplea la siguiente expresión: (Andrade Alama) -1996

$$D_{20} = D_t / (k \times (t - 20^\circ) \times e + 1)$$

Dónde:

D₂₀: Deflexión a la temperatura estándar 20°C

D_t: Deflexión a la temperatura t (0.01mm)

K: Coeficiente igual a 1×10^{-3} (1/cm X °C)

T: Temperatura del asfalto medida para cada ensayo.

E: Espesor de la carpeta asfáltica en cm.

Para el Cálculo del radio de curvatura se asume que la curvatura que experimenta la superficie del pavimento, durante la aplicación de la carga, es de forma parabólica, en un segmento de aproximadamente 25 cm, a partir del punto de máxima deflexión. Para la calcular el radio de curvatura, se ha establecido la siguiente ecuación:

$$R = 6250 / 2 \times (D_0 - D_{25})$$

Dónde:

R = Radio de Curvatura

D₀ = Deflexión máxima corregida por temperatura (0.01 mm)

D₂₅ = Deflexión a 25 cm corregida por temperatura (0.01 mm)

Es necesario el cálculo de las deflexiones admisibles, la cual es utilizada con la finalidad de comparar las medidas obtenidas en campo con este valor para

determinar si la estructura del pavimento brinda un soporte estructural adecuado.

Para Higuera, 2007 considera a la deflexión admisible como la “deflexión que permite ser correlacionada con la capacidad estructural de un pavimento, de manera que, en un modelo estructural, si la deflexión es alta la capacidad estructural del modelo de pavimento es débil o deficiente, y lo contrario si la deflexión es baja quiere decir que el modelo estructural del pavimento tiene buena capacidad estructural. (Higuera, 2007, p.9)

Para el cálculo de la deflexión admisible existen las siguientes formulas:

Para el Cálculo de la deflexión admisible en la carpeta asfáltica de la presente investigación de empleo el Criterio CONREVIAl.

Tabla 13: Leyes de comportamiento de la deflexión

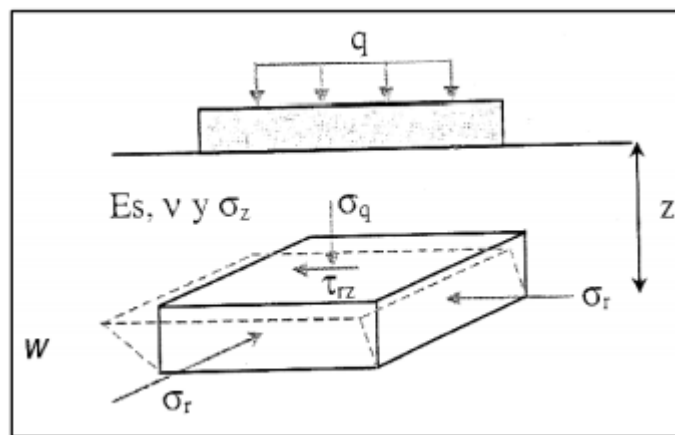
Autor	Ley de comportamiento de la deflexión
Criterio del Instituto del Asfalto	$\Delta_{adm} = 25.64 * N^{-0.2383}$
Criterio Checoslovaco	$\Delta_{adm} = 8.035 * N^{-0.16}$
Criterio de Yang H. Huang	$\Delta_{adm} = 26.32202 * N^{-0.2438}$
Criterio de la AASHTO	$\Delta_{adm} = 63.735 * N^{-0.3077}$
Criterio de la CGRA de Canadá	$\Delta_{adm} = 52.275 * N^{-0.237}$
Criterio Belga	$\Delta_{adm} = 242 * N^{-0.334}$
Criterio de California	$\Delta_{adm} = 6.237 * N^{-0.165}$
Criterio de CONREVIAl	$\Delta_{adm} = 1.15 * N^{-0.25}$

Fuente: Elaboración propia

Para determinar las deflexiones admisibles en la Subrasante se empleó el Modelo Monocapa (Modelo de Bousinesq), lo cual se detalla a continuación:

Reyes,2003 menciona que “La carga sobre el masivo semi infinito se esquematiza mediante una presión uniforme q , aplicada sobre un área circular de radio a . El masivo semi infinito se supone lineal, isotrópico, elástico, con módulo de Young (E_s) y de coeficiente de poisson (ν)”.

Figura 3: Representación de un masivo infinito



Fuente: Castro,2003

Las ecuaciones de deformaciones vienen dadas por las siguientes ecuaciones:

$$w = \frac{q}{E_s} \left[2(1 - \nu^2)(a^2 - z^2)^2 - \frac{(1 + \nu)z^2}{(a^2 - z^2)^{\frac{1}{2}}} + (\nu - 2\nu^2 - 1)z \right]$$

Tomando $z=0$ en la superficie tenemos:

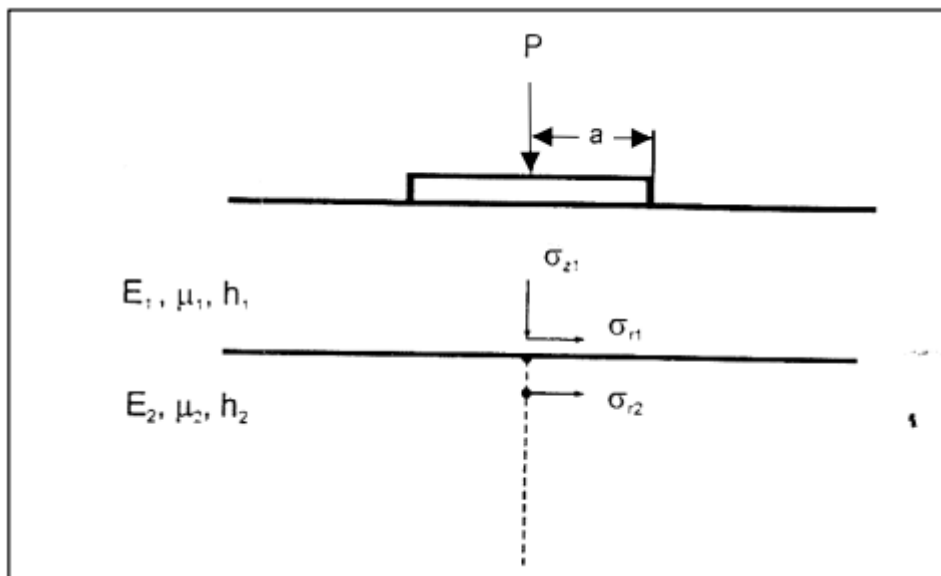
$$w = 2 \frac{q}{E_s} a(1 - \nu^2)$$

Para el cálculo de las deflexiones en la Sub base y base granular se empleará el Modelo Bicapa:

El material de las capas que conforman el Sistema es homogéneo, isotrópico y elástica y la superficie de las capas es infinita horizontalmente.

- El espesor de la capa superficial es finita, el de la inferior es infinito.
- El contacto entre ambas capas es continuo y permanente. Burmister (1943) desarrolló una ecuación con la cual es posible calcular el espesor necesario de la capa superficial para que el asentamiento del conjunto bicapa, bajo la acción de un esfuerzo, sea igual o menor a uno previamente seleccionado (Montejo,2006, p.133)

Figura 4: Representación de modelo Bicapa



Fuente: Montejo,2006

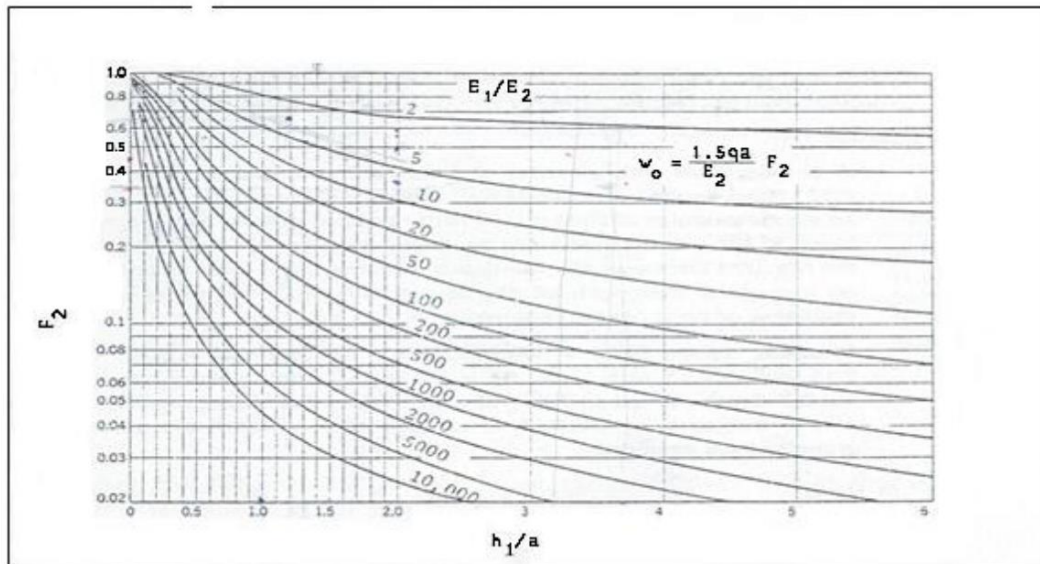
La ecuación de Burmister se presenta a continuación:

$$W_0 = C * \frac{q * a}{E_2} F_2$$

Donde:

- W_0 : Deflexión máxima para capa de subbase granular.
- C : 1.5 cuando la placa circular análoga al área cargada uniformemente, se supone flexible como en el caso de las llantas neumáticas 1.18 cuando la placa circular cargada uniformemente se supone rígida, como en el caso de ensayo de placa.
- E_2 : Módulo de Elasticidad de la subrasante.
- F_2 : Factor determinado en el ábaco adjunto
- Espesor de la sub-base granular.

Figura 5: Factor de deflexión F_2 para la teoría Bicapa



Fuente: Burmister, 1943

Deflexión característica: Las deflexiones también siguen una distribución normal; cuando nos encontramos en la necesidad de obtener un parámetro representativo que nos permita un buen diseño de refuerzo, la deflexión característica juega un papel importante ya que ella representa mejor a una sección del pavimento.

$$D_c = \text{Media} + t \text{ (desviación estándar)}$$

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación:

El tipo de investigación que se realizó es aplicada, constructiva o utilitaria, es una investigación a nivel de estudios descriptivos por lo tanto la metodología utilizada será: Descriptiva-aplicativa.

Diseño de investigación:

El presente proyecto de investigación tiene un diseño experimental. Toda vez que el investigador manipulara directamente la variable independiente a fin de observar cómo afecta en la variable dependiente con la finalidad de describir de qué modo contribuye el comportamiento estructural del pavimento flexible.

3.2. Variables y operacionalización

Variable Independiente:

Las Deflexiones

- **Definición conceptual:** La deflexión es el valor del desplazamiento en la superficie del pavimento al aplicarle una carga. El valor de la deflexión depende de una serie de factores, entre los que se destacan: la rigidez y espesor del pavimento, su temperatura, además del soporte del suelo de fundación.

Las deflexiones medidas encierran una valiosa información de las características estructurales del pavimento y de la subrasante (Hoffman y Del Águila, 1985).

- **Definición operacional:** El presente proyecto estudiará las deflexiones por capas durante la colocación del pavimento para poder llevar un buen control de calidad del mismo y así detectar cualquier punto inestable durante la construcción del pavimento, el estudio del comportamiento

mediante deflexiones en las diferentes etapas de construcción nos brindará un mejor concepto funcional de toda la estructura de la carretera Calachota - Ayauca.

- **Indicadores:**

- Deformaciones Admisible.
- Deformaciones Característica.

- **Escala de medición:**

La escala de medición será del tipo Razón de acuerdo a los indicadores.

Variable dependiente:

Evaluación estructural.

- **Definición conceptual:**

El método de evaluación estructural de los pavimentos flexibles por medio de la viga Benkelman, es un ensayo “no destructivo”, no altera la integridad del sistema y básicamente consiste en tomar deflexiones a nivel de superficie del pavimento; esto se fundamenta en que las curvas de deflexiones encierran cuantiosa información de las características del pavimento y su subrasante. (Balarezo, 2017).

Definición operacional:

En la presente investigación se realiza la evaluación estructural de pavimentos en dos fases; en la primera se realiza el proceso de recolección de datos mediante ensayos en campo y la segunda se procede con la aplicación de un método para hallar los resultados (deflexiones). Asimismo, se procede a realizar un análisis comparativo del comportamiento estructural por capas en distintos sectores.

- **Indicadores:**

- Deflexión de Pavimentos
- Comportamiento del Pavimento

- **Escala de medición:**

La escala de medición será del tipo Razón de acuerdo a los indicadores.

3.3.Población, muestra y muestreo

Población:

Según Arias (2012) define a la población como “un conjunto limitado con características similares para los cuales las conclusiones de la investigación serán extensas. Esta queda limitada por los objetivos y el problema de investigación” (p. 82).

Para la siguiente investigación el universo poblacional está conformado por los 19,085 metros lineales existentes en la Carretera tramo Calachota-Ayauca, distrito de Ayauca, provincia de Yauyos, región Lima.

Muestra:

Para Arias (2012) menciona a una muestra como “un subconjunto específico y limitado separado de la población” (p. 82) Así que se consideró como muestra un subconjunto representativo, para este caso nuestra muestra corresponde a 160 puntos cada 25 metros para la evaluación estructural con la Viga Benkelman.

3.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica:

Según Arias (2012), menciona que la técnica “es un medio el cual nos sirve de medio para la investigación del proyecto, formando parte del método científico” (p. 67).

Se utilizó la observación como una técnica de recolección de datos ya que se requiere de ello para resolver el problema con la finalidad de probar la hipótesis planteada.

Asimismo, se emplearon manuales para las metodologías aplicadas, normas técnicas acerca de pavimentos para el diseño propuesto y proyectos de investigación pasados como referencias.

Se han determinado mediante fuentes secundarias para la presente investigación.

Instrumentos:

El Según Arias (2012), se denomina instrumento “a un recurso que facilita para almacenar información, basándose en extraer información de fuentes confiables” (p. 68).

El siguiente trabajo de investigación requirió los siguientes instrumentos:

- Manual de evaluación de pavimentos flexibles.
- Resultado del Ensayo del Laboratorio de Pavimentos.
- Manual de Ensayos de Materiales.
- Fichas de recolección de datos
- Viga Benkelman
- Odómetro
- Balanza
- Vehículo de carga de 8.2 kN.
- Termómetro.

3.5.Procedimientos:

Procedimiento para medir las deflexiones utilizando la viga Benkelman, para iniciar las mediciones de las deflexiones se tiene que definir los puntos donde se tomarán las medidas. Se recomienda tomar los puntos cada 25 o 50 m de distancia, alternando cada carril; estos puntos tienen que encontrarse a una distancia prefijada hacia dentro del carril desde el borde de la berma del pavimento. Se recomienda utilizar las distancias indicadas en la tabla 4 (MTC, 2016).

Tabla 14: Distancia del punto de ensayo.

Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2.70 m	0.45 m
3.00 m	0.60 m
3.30 m	0.75 m
3.60 m o más	0.90 m

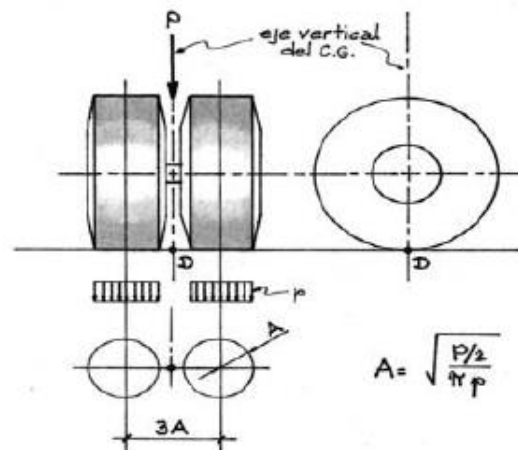
Fuente: MTC

Una vez determinado los puntos donde se realizarán las mediciones, la rueda dual del camión deberá ser colocada en el punto seleccionado, se estaciona el extremo de la viga Benkelman debajo del eje vertical del centro de gravedad de las llantas dobles, se tiene como tolerancia un rango de 3 pulgadas alrededor del punto.

Debido a la dificultad tanto visual como operacional que demanda hacer coincidir el extremo de la viga Benkelman con el eje de gravedad, se realizará el siguiente trabajo:

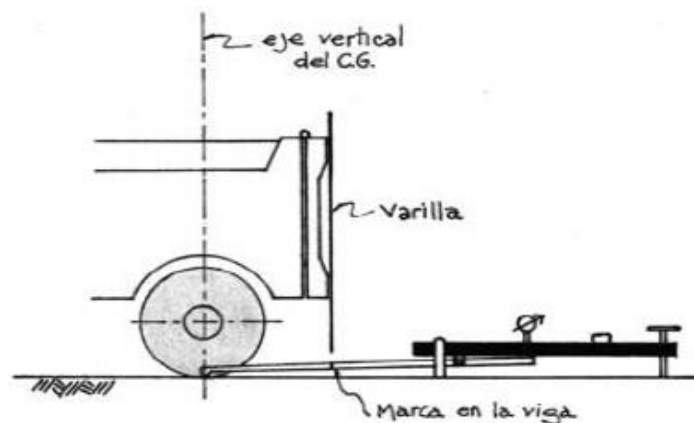
El extremo de la viga Benkelman se coloca en el eje gravedad, pero al exterior de las llantas, de tal manera que pueda realizarse una marca con una plomada adosando una varilla de madera en la parte trasera del camión. De esta manera en los siguientes puntos a tomar solo basta hacer coincidir desde la parte trasera del camión la plomada con la marca. La viga Benkelman tiene que estar alineada horizontalmente con la dirección de movimiento del camión.

Figura 6: Punto de ubicación del extremo de la viga Benkelman.



Fuente: (Hoffman y Del Águila, 1985).

Figura 7: Geometría de colocación de la viga Benkelman.



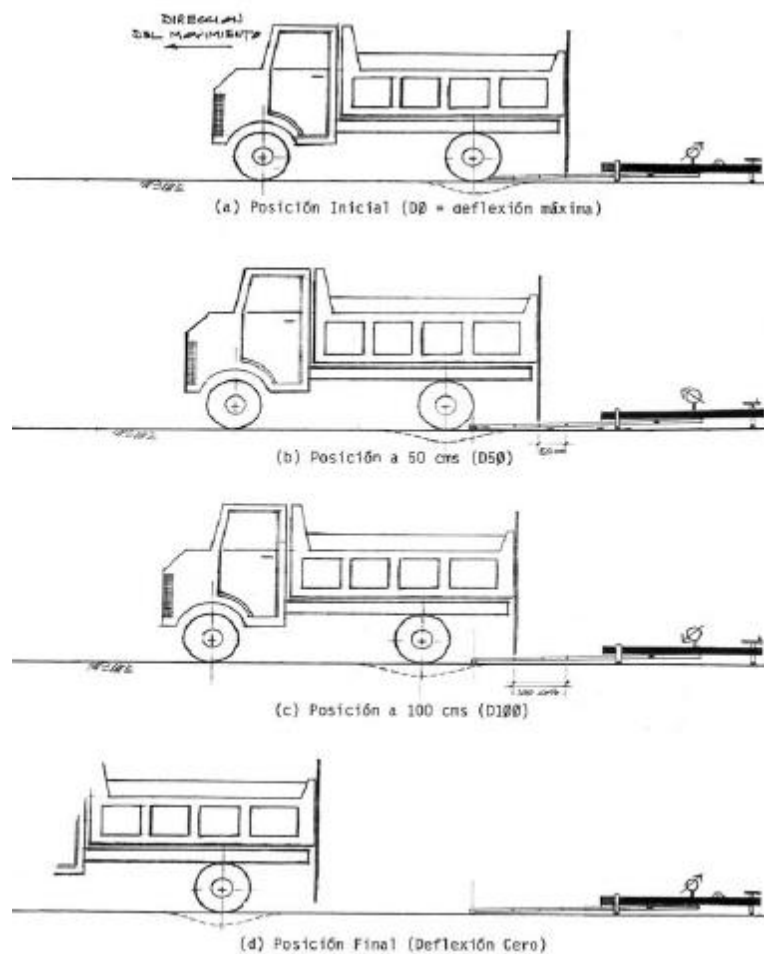
Fuente: (Hoffman y Del Águila, 1985).

Las mediciones en un punto, se realizarán a diferentes distancias, puede ser cada 25,30, 40 o 50 cm, estas son llamadas deflexiones adicionales. La primera medición es la deflexión máxima y es tomada a una distancia igual a 0 cm, esta es la deflexión medida en el punto que coincide con el eje de gravedad de las llantas dobles.

En esta metodología de análisis es necesario tomar por lo menos 3 lecturas; se pueden obtener más lecturas con fines de verificación o si se desea tener una gráfica del tipo de curva de deflexión que se produce.

Una vez hechas las marcas adicionales, se activará el extensómetro, se pondrá el dial en cero y mientras el camión se desplaza muy lentamente (se recomienda una velocidad de 1km/h) se toman las medidas conforme la varilla adosada en la parte trasera del camión vaya coincidiendo con las distancias de la primera y segunda marca adicional, se toman las 39 lecturas hasta que el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo y que el indicador del dial ya no tenga movimiento (aproximadamente 5 a 6 metros).

Figura 8: Procedimiento de medición de deflexión.



Fuente: (Hoffman y Del Águila, 1985).

Finalmente, para la realización de este trabajo de campo será necesaria la participación de tres operadores. Un operador que sea calificado para la toma de mediciones y que dicte las lecturas, una persona que anote las mediciones y un ayudante que coordine con el conductor del camión y de aviso al operador calificado cuando la varilla adosada en el camión vaya

coincidiendo con las marcas hechas en la viga Benkelman. El trabajo realizado deberá ser supervisado por un ingeniero de campo que verificará los valores que vayan obteniendo.

3.6.Método de análisis de datos

En el presente proyecto de investigación se utilizó como base fundamental las características y el estado de la vía las cuales son obtenidas visualmente. La metodología de evaluación del pavimento flexible fue superficial y estructural, a través de los cálculos correspondientes se conoció el estado actual del pavimento.

3.7.Aspectos éticos

Según la Oficina de Investigación Lima UCV, 2016, p. 12, se indica lo siguiente: considerar en el proyecto de investigación el compromiso, sinceridad y honestidad al mostrar la obtención de resultados, en el desarrollo de la investigación, con veracidad. Se tiene en cuenta por encima de toda la propiedad intelectual; responsabilidad social y ética profesional. Se respeta el trabajo de otros autores en cuanto al tema expuesto, por ello se las referencias serán citadas en todo momento que se haya usado una idea ajena. Todas las referencias han sido realizadas siguiendo la normativa ISO-690. De igual manera este proyecto será está abierto a ser verificado por el TURNITIN, y así demostrar este proyecto de investigación como legítimo.

IV. RESULTADOS

4.1. Resultados del objetivo general

A continuación, se presentan los resultados de la investigación, los cuales permitieron el desarrollo de la determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible.

El proyecto se encuentra ubicado sobre la Carretera PE-24, Carretera Calachota-Ayauca ubicados en el Departamento de Lima, Provincia de Yauyos, distrito de Ayauca.

Altitud

La altitud del trazo de la Carretera tramo Calachota - Quiriman - Aucampi - Ayauca, distrito de Ayauca - Yauyos – lima, se desarrolla a una altitud por encima de los 1730 m.s.n.m. el tramo se inicia en el pueblo de Calachota, con una altitud de 1730 m.s.n.m y continua en ascenso, hasta llegar al distrito de Ayauca a una altura de 3150 m.s.n.m.

Clima

La carretera en estudio presenta un clima típico de la faja costanera varía de acuerdo a la altitud y la geomorfología del lugar presentando una temperatura promedio anual de 21° C con presencia de humedad relativa en la noche presentando un suelo residual en las pendientes moderadas La zona en estudio presenta un régimen pluvial muy irregular por encontrarse en el comienzo de la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos, generalmente las precipitaciones pluviales se registran entre los meses de diciembre a abril, siendo los de mayor precipitación los meses entre enero a marzo.

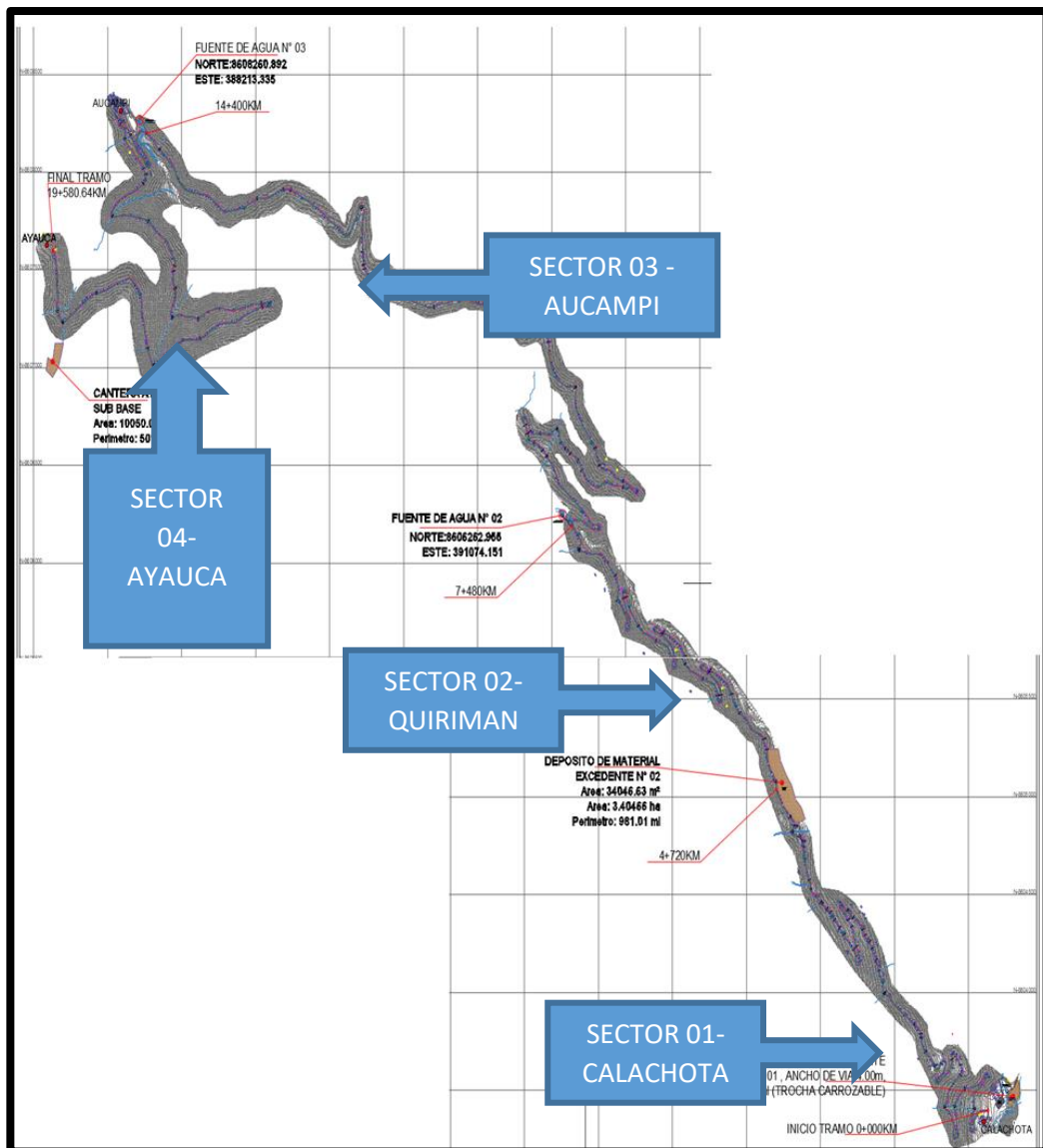
La cuenca del río Cañete es la que tiene influencia directa en el área donde se emplaza la carretera.

La evaluación de la capacidad estructural del pavimento basada en la medida de la deflexión, determinada con la Viga Benkelman para este informe, inicia en el Kilómetro 0+000, específicamente en el Inicio de la carretera y finalizando en el Kilómetro 19+085, a la altura de la entrada a la zona urbana del distrito de Ayauca, teniendo una longitud total de 19.085 Kilómetros.

El desarrollo de la investigación se basó en realizar la evaluación del comportamiento estructural del pavimento flexible en todas las capas conformantes del pavimento flexible durante proceso de ejecución, considerándose cuatros sectores:

- Sector 01.- Tramo Calachota (km 0+000 al km 2+000).
- Sector 02.- Tramo Quiriman (km 2+000 al km 10+400).
- Sector 03.- Tramo Aucampi (km 10+400 al km 16+100).
- Sector 04.- Tramo Ayauca (km 16+100 al km 19+085).

Figura 9: Ubicación de sectores evaluados en la carretera en estudio.



Fuente. Elaboración propia

Por lo que se determinó realizar la investigación en 1km de cada tramo por lo que se realizó las lecturas a través de la viga Benkelman en las siguientes progresivas.

Tabla 15: Sectores evaluados.

DESCRIPCION	TRAMOS EVALUADOS	
	INICIO	FIN
SECTOR 01	0 + 000	1 + 000
SECTOR 02	4 + 500	5 + 500
SECTOR 03	14 + 000	15 + 000
SECTOR 04	17 + 000	18 + 000

Fuente: Elaboración propia

Los estudios de suelos realizados determino que el perfil estratigráfico de las zonas de estudio es Heterogéneo, en algunos sectores cambiantes, pero uniformizando el terreno de fundación predomina la clasificación SM y GM (Grava limosa y arena limosa). Los suelos o estratos que predominan son de origen residual, es decir son materiales completamente meteorizados que eventual y aleatoriamente alternan con depósitos de suelos transportados de origen coluvial o coluviones. A continuación, se resume los tipos de suelos según el método S.U.C.S encontrados en los sectores intervenidos:

Tabla 16: Resumen de los tipos de suelos según el metodos SUCS.

TRAMO	UBICACIÓN DE CALICATA	TIPO DE SUELO
SECTOR 01 - CALACHOTA	0+500	Grava limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 64.40%. con presencia de rocas de diámetro medio 1.00m en 60%.
SECTOR 02- QUIRIMAN	5+000	Grava limosa de mediana plasticidad con material granular equivalente a 66.39%.
SECTOR 03- AUCAMPI	14 + 500	Suelo limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 47.35%. Con presencia de rocas de diámetro medio 0.40m, en un 20% del volumen total.
SECTOR 04- AYAUCA	17 + 500	Grava limo-arcilloso de baja plasticidad con material granular equivalente a 59.03%. Con presencia de rocas de diámetro medio 0.40m, en un 10% del volumen total.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Resumen de los ensayos.

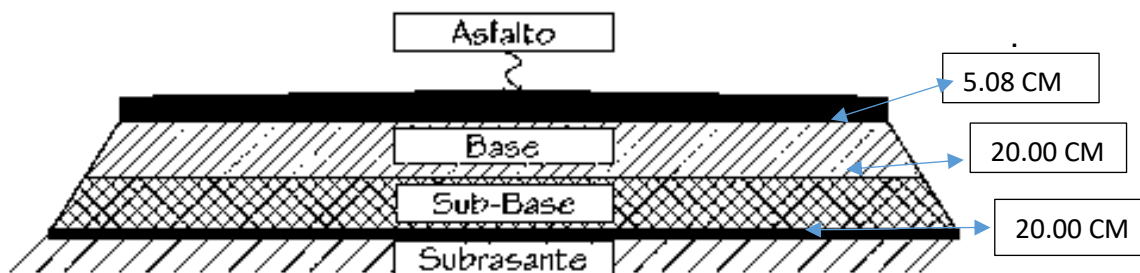
RESUMEN DE ENSAYOS																	
N°	CALICATA N°	UBICACIÓN	PROFUNDIDA D	CLASIFICACION		LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD	% DE GRAVA	% DE ARENA	% DE LIMO- ARCILLA	HUMEDAD NATURAL	HUMEDAD OPTIMA	DENSIDAD MAX SECA	CBR (%)		
				SUCS	AASHTO										al 95%	al 100%	
1	C - 01	00+750	1.50 mt	GM-GC	A-2-4(0)	24.28	17.81	6.47	48.63%	15.77%	35.59%	1.96%	6.20%	2.046 gr/cm3	13.1	18.18	
2	C-02	05+000	1.50 mt	GM	A-2-4(0)	31.28	27.94	3.34	39.69%	26.70%	33.61%	3.52%	9.85%	1.939 gr/cm3	12.9	17.96	
3	C-03	14+500	1.50 mt	ML-CL	A-4(4)	26.61	20.63	5.98	22.69%	24.66%	52.65%	9.13%	10.97%	2.033 gr/cm3	11.66	14.17	
4	C-04	17+500	1.50 mt	GM-GC	A-4(2)	25.79	20.98	4.81	48.03%	8.00%	43.97%	18.02%	11.67%	1.905 gr/cm3	12.4	17.41	
												PROMEDIO =	8.16%	9.67%	1.981 gr/cm3	12.52	16.93
												MEDIANA=	6.32%	10.41%	1.986 gr/cm3	12.65	17.69

Fuente: Elaboración Propia

Para la presente investigación se tendrá en cuenta el CBR de cada sector evaluado como dato para los cálculos de deflexión admisible.

El proyecto Mejoramiento de la Carretera Calachota-Quiriman-Aucampi-Ayauca, comprende la construcción de 19.085 Km de pavimentos flexibles con las siguientes características.

Figura 10: Esquema de estructura de pavimento a construirse



Fuente: Elaboración propia

4.2. Resultados de los objetivos específicos N° 02

Cálculo de Deflexiones Admisibles:

- Determinar las deflexiones admisibles en las capas del pavimento flexible, para tener un buen control y encontrar puntos que denoten inestabilidad.

Datos preliminares:

Tabla 18: Datos para calculo de deflexiones .

DESCRIPCION		TRAMO	SECTOR 01	SECTOR 02	SECTOR 03	SECTOR 04
ESAL		244000				
PERIODO DE DISEÑO(AÑOS)		20				
CBR (%)		13.1	12.9	11.6	12.4	
MODULO RESILIENTE (PSI)		13,256.98	13,127.09	12,264.34	12,799.14	
ESPESOR	SUB BASE (CM)	20				
	BASE (CM)	20				
	CARPETA ASFALTICA (CM)	5.08				

Fuente: Elaboración propia

ESAL: Obtenido del Estudio de Tránsito

Cálculo de Modulo Resiliente.

- $MR01 = 2555 \times CBR^{0.64} = 2555 \times 13.1 \%^{0.64} = 13,256.98$
- $MR02 = 2555 \times CBR^{0.64} = 2555 \times 12.9 \%^{0.64} = 13,127.09$
- $MR03 = 2555 \times CBR^{0.64} = 2555 \times 11.6 \%^{0.64} = 12,264.34$
- $MR04 = 2555 \times CBR^{0.64} = 2555 \times 12.4 \%^{0.64} = 12,799.14$

Cálculo de Radio del área de contacto (llanta-pavimento, estampa circular)

$$a = \sqrt{\frac{P}{\pi p}}$$

Donde: Presión de inflado $p = 80$ psi

Carga del eje = 18000 lb

$$a = \sqrt{\frac{4500}{\pi (80)}} = 4.23" = 10.74 \text{ cm}$$

Cálculo de Deflexiones Admisibles -Subrasante.

Datos:

Tabla 19: Datos para cálculo de la deflexión admisible en Subrasante.

Sector	E Subrasante (kg/cm ²)	u	q(kg/cm ²)	a(cm)
01-Calachota	1310	0.45	5.64	10.74
02-Quiriman	1290	0.45	5.64	10.74
03-Aucampi	1160	0.45	5.64	10.74
04-Ayauca	1240	0.45	5.64	10.74

Fuente: Elaboración propia

La deflexión de la subrasante se puede determinar mediante la ecuación siguiente (Boussinesq):

$$W_0 = 2 * \frac{(1 - \nu^2)}{E} q * a$$

Donde: W0 = Deflexión Máxima para la capa de subrasante.

ν : Módulo de Poisson para subrasante.

q: Carga aplicada en la llanta dual, por el camión C-2 (8200 kg en el eje posterior)

a: Radio del área de contacto (llanta-pavimento, estampa circular)

Tabla 20: Cálculo de la deflexión admisible para Subrasante

Tramo	Reemplazamos los datos:	Deflexiones Admisibles	Para efectos de Control
Sector 01	$W_0 = 2x \frac{(1 - 0.45^2)}{1310} x 5.64 x 10.74$	$74^{-2}mm$	
Sector 02	$W_0 = 2x \frac{(1 - 0.45^2)}{1290} x 5.64 x 10.74$	$75^{-2}mm$	
Sector 03	$W_0 = 2x \frac{(1 - 0.45^2)}{1160} x 5.64 x 10.74$	$83^{-2}mm$	
Sector 04	$W_0 = 2x \frac{(1 - 0.45^2)}{1240} x 5.64 x 10.74$	$78^{-2}mm$	

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de Deflexiones Admisibles -Sub base granular

Para el cálculo de la deflexión Admisible de la subbase granular (CBR 40%), se utilizará el sistema de bicapa y se utilizará la Ecuación de Burmister:

$$W_0 = C * \frac{q * a}{E_2} F_2$$

Donde: W0: Deflexión máxima para capa de sub-base granular.

C: 1,5 cuando la placa circular análoga al área cargada uniformemente, se supone flexible como en el caso de las llantas neumáticas

E2: Módulo de Elasticidad de la subrasante.

F2: Factor determinado en el ábaco adjunto.

h1: Espesor de la sub-base granular.

CBR de subbase granular (%): 40

Calculamos el Módulo de Elasticidad de la Subbase mediante las siguientes ecuaciones:

$$E_0 = k * CBR$$

Donde k=100 para suelos granulares gruesos

$$E_0 = 130 * CBR^{0.714}$$

Tabla 21: Datos para cálculo de la deflexión admisible en Sub base granular

Sector	E Sub Base (kg/cm2)		
	100x CBR	130xCBR^0.714	Asumimos
01-Calachota	4000	815.97	4000
02-Quiriman	4000	807.06	4000
03-Aucampi	4000	748.11	4000
04-Ayauca	4000	784.60	4000

Fuente: Elaboración propia

Determinamos el factor F2 mediante el Abaco con los datos siguientes:

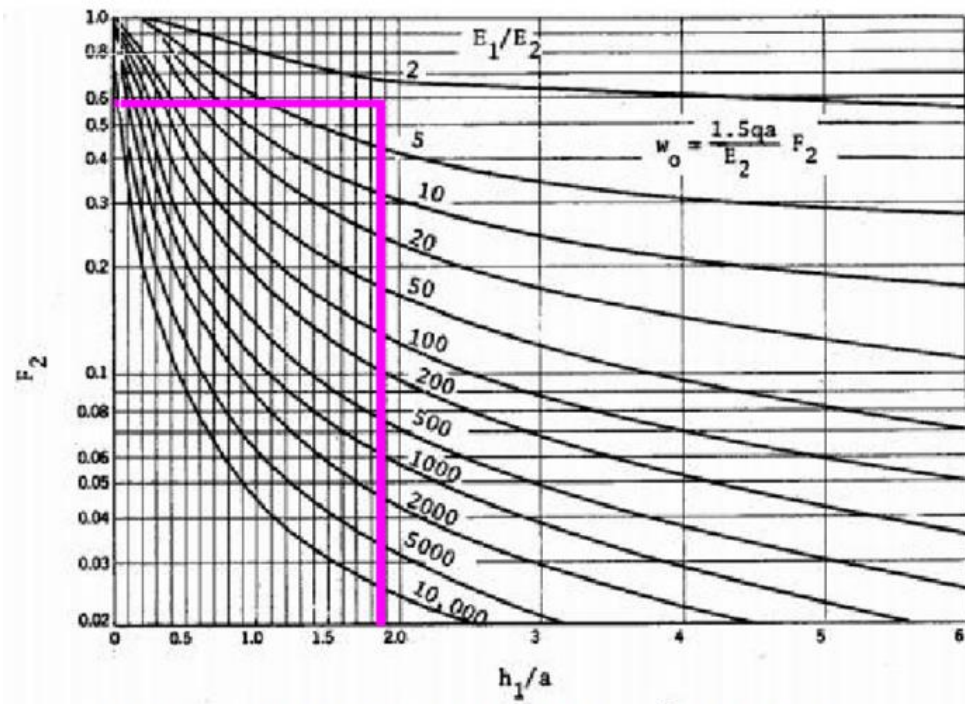
Tabla 22: Calculo de F2-Sub base granular

Tramo	E1 (kg/cm2)	E2 (kg/cm2)	h1 (cm)	q (kg/cm2)	a (cm)	Factor F2	
						$\frac{h_1}{a}$	$\frac{E_1}{E_2}$
Sector 01	4000	1310	20	5.64	10.74	1.86	3.05
Sector 02	4000	1290	20	5.64	10.74	1.86	3.10
Sector 03	4000	1160	20	5.64	10.74	1.86	3.45
Sector 04	4000	1240	20	5.64	10.74	1.86	3.23

Fuente: Elaboración propia

Para Sector 01: Del ábaco se obtiene F2=0.58

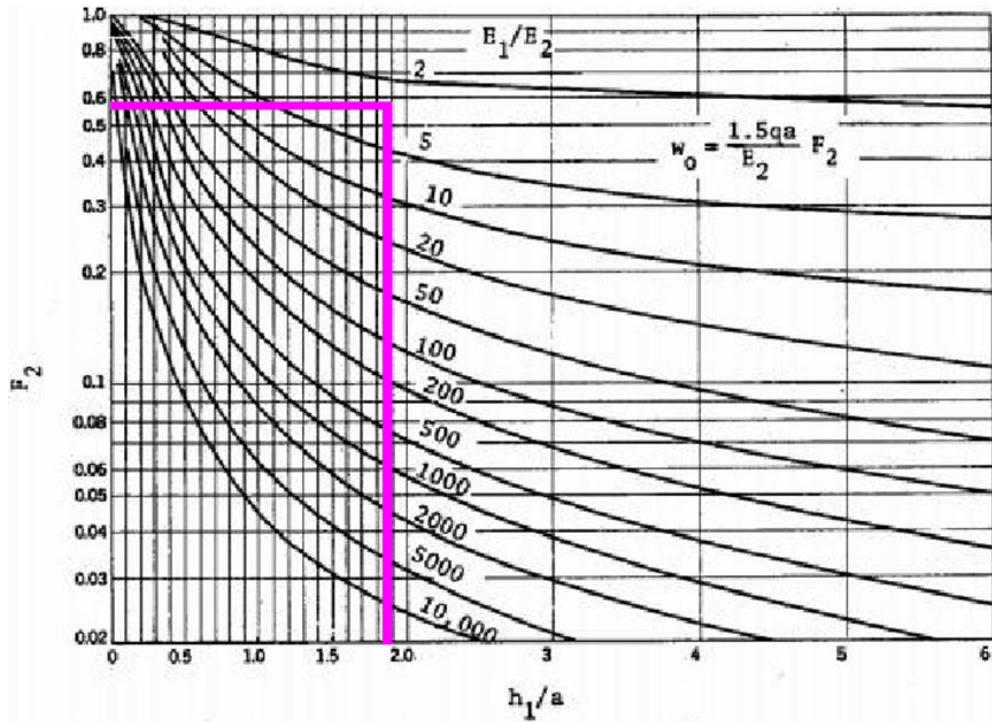
Figura 11: Factor de deflexión F2 -Sub base Sector 01-Calachota



Fuente: Elaboración propia en base a Burmister, 1943

Para Sector 02: Del ábaco se obtiene $F_2=0.57$

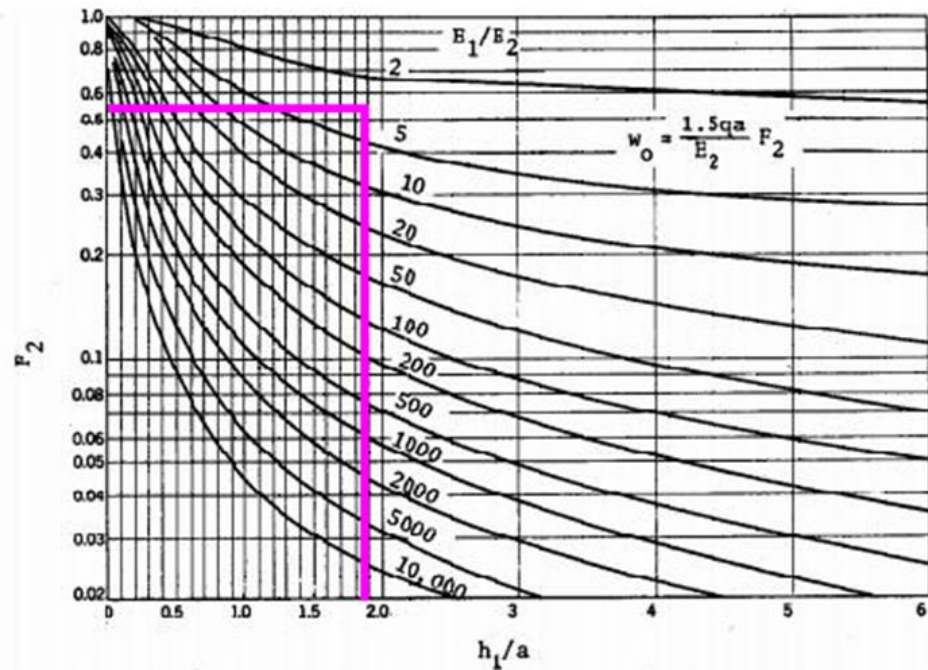
Figura 12: Factor de deflexión F_2 -Sub base Sector 02-Quiriman.



Fuente: Elaboración propia en base a Burmister, 1943

Para Sector 03.-Del ábaco se obtiene $F_2=0.54$

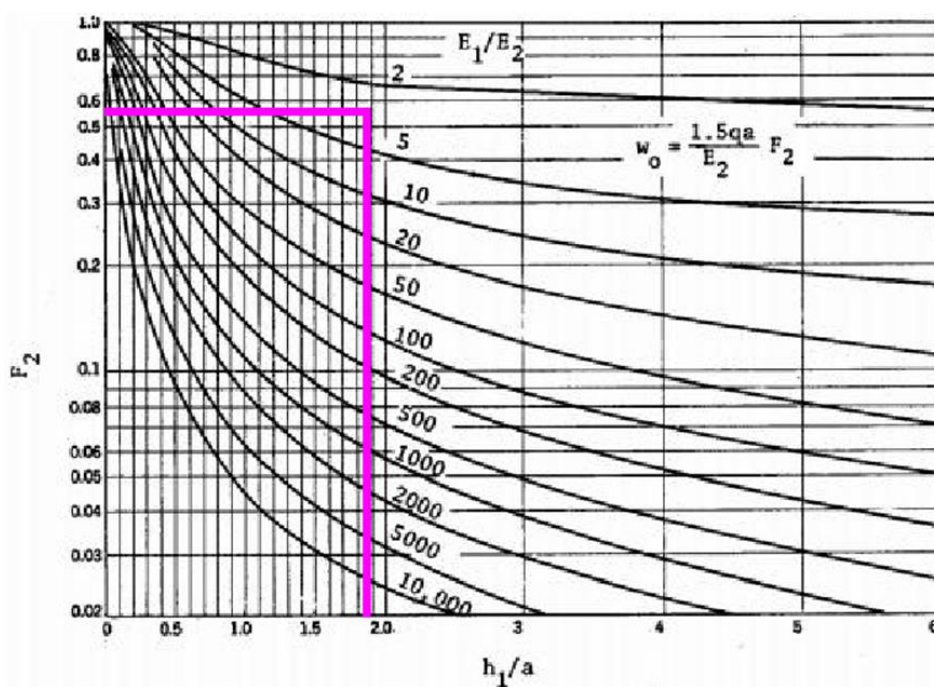
Figura 13: Factor de deflexión F_2 -Sub base Sector 02-Aucampi.



Fuente: Elaboración propia en base a Burmister, 1943

Para Sector 04.-Del ábaco se obtiene $F_2=0.56$

Figura 14: Factor de deflexión F2 -Sub base Sector 02-Aucampi.



Fuente: Elaboración propia en base a Burmister, 1943

Con los datos hallados anteriormente mencionamos reemplazamos en la ecuación:

Tabla 23: Cálculo de deflexiones admisibles Sub base granular.

Tramo	Reemplazamos los datos:	Resultado	Calculo de Deflexion Caracteristica	Deflexiones Admisibles	Para efectos de Control
Sector 01	$W_0 = 1.5x \left(\frac{5.64x10.74}{1310} \right) x0.58$	40.23	$DC = W_0 + 1.645 * \sigma$	$73^{-2}mm$	
Sector 02	$W_0 = 1.5x \left(\frac{5.64x10.74}{1290} \right) x0.57$	40.15	$DC = W_0 + 1.645 * \sigma$	$73^{-2}mm$	
Sector 03	$W_0 = 1.5x \left(\frac{5.64x10.74}{1160} \right) x0.54$	42.3	$DC = W_0 + 1.645 * \sigma$	$75^{-2}mm$	
Sector 04	$W_0 = 1.5x \left(\frac{5.64x10.74}{1240} \right) x0.56$	41.03	$DC = W_0 + 1.645 * \sigma$	$74^{-2}mm$	

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de Deflexión Admisible -Base Granular

Para la determinar de la deflexión admisible en la base granular, se emplea la misma ecuación de Burmister:

$$W_0 = C * \frac{q * a}{E_2} F_2$$

Primero debemos de obtener el CBR equivalente de la capa de sub-base y subrasante, mediante la siguiente ecuación

$$CBR_{equivalente} = \left(\frac{CBR_{SR}^{1/3} * h_{SR} + CBR_{SB}^{1/3} * h_{SB}}{h_{SR} * h_{SB}} \right)^{1/3}$$

Reemplazando obtenemos el siguiente resultado:

Tabla 24: Cálculo de CBR equivalente

Tramo	CBRSR	CBRSB	hSR (cm)	hSB (cm)	CBR Equivalente
Sector 01	13.10%	40.00%	150	20	14.47%
Sector 02	12.90%	40.00%	150	20	14.45%
Sector 03	11.60%	40.00%	150	20	14.31%
Sector 04	12.40%	40.00%	150	20	14.40%

Fuente: Elaboración propia

Determinamos el factor F2 mediante el Abaco con los datos siguientes:

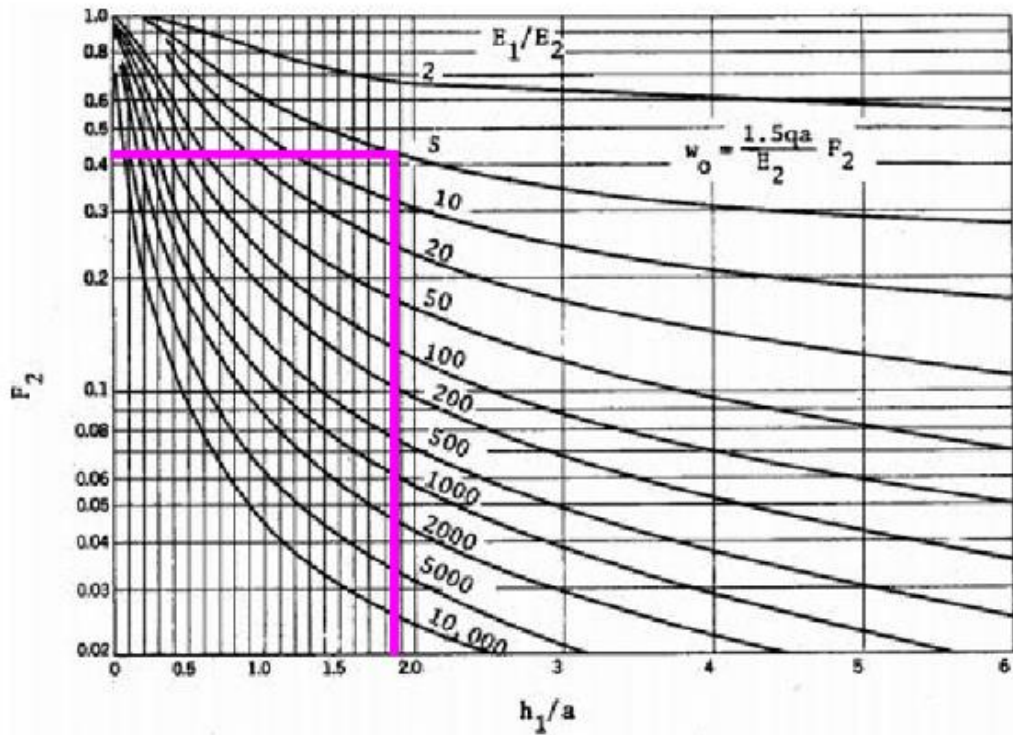
Tabla 25: Cálculo de F2-Base granular

Tramo	E1 (kg/cm2)	E2 (kg/cm2)	h1 (cm)	q (kg/cm2)	a (cm)	Factor F2	
						$\frac{h1}{a}$	$\frac{E1}{E2}$
Sector 01	7500	1447	20	5.64	10.74	1.86	5.18
Sector 02	7500	1445	20	5.64	10.74	1.86	5.19
Sector 03	7500	1431	20	5.64	10.74	1.86	5.24
Sector 04	7500	1440	20	5.64	10.74	1.86	5.21

Fuente: Elaboración propia

Para Sector 01.-Del ábaco se obtiene F2=0.42

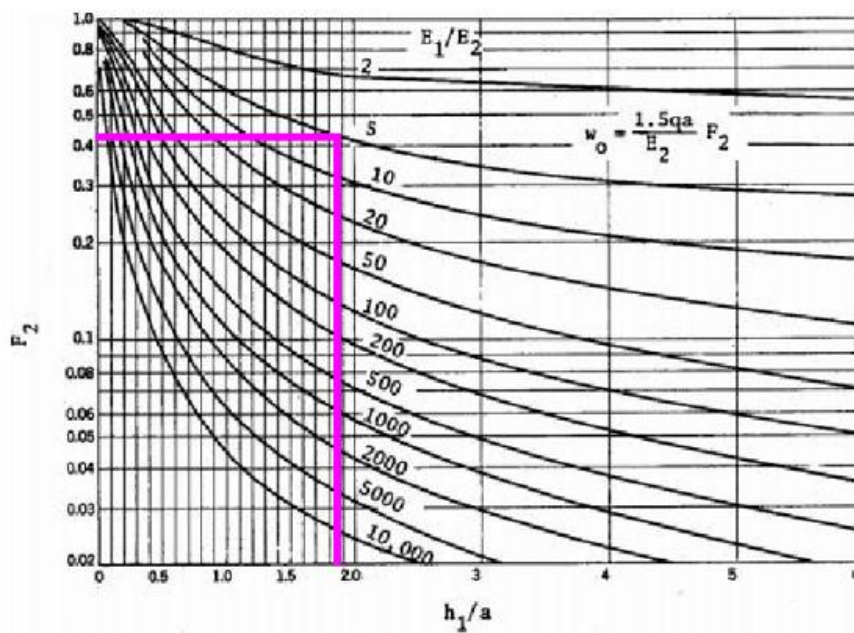
Figura 15: Factor de deflexión F2 -Base granular Sector 01-Calachota



Fuente: Elaboración propia en base a Burmister, 1943

Para Sector 02.-Del ábaco se obtiene $F_2=0.42$

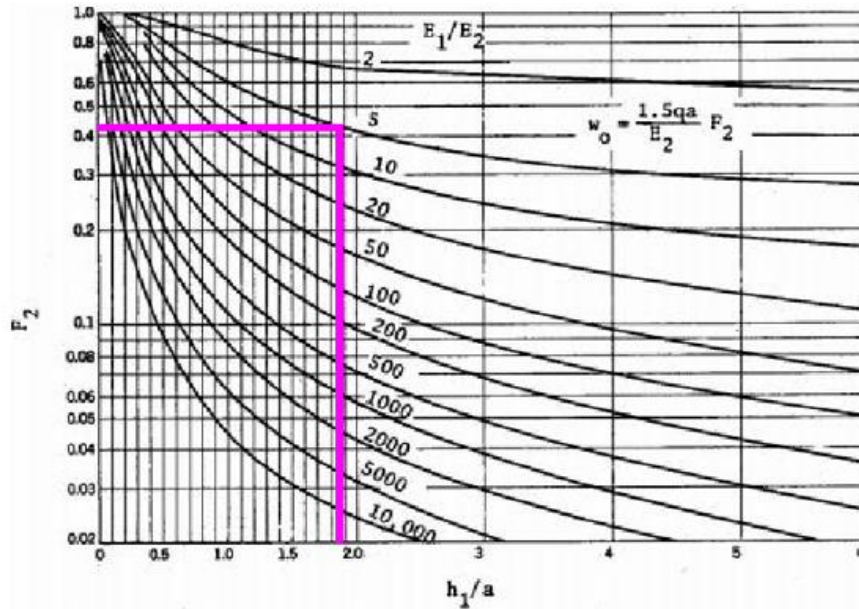
Figura 16: Factor de deflexión F2 -Base granular Sector 02-Quiriman



Fuente: Elaboración propia en base a Burmister, 1943

Para Sector 03.-Del ábaco se obtiene $F_2=0.41$

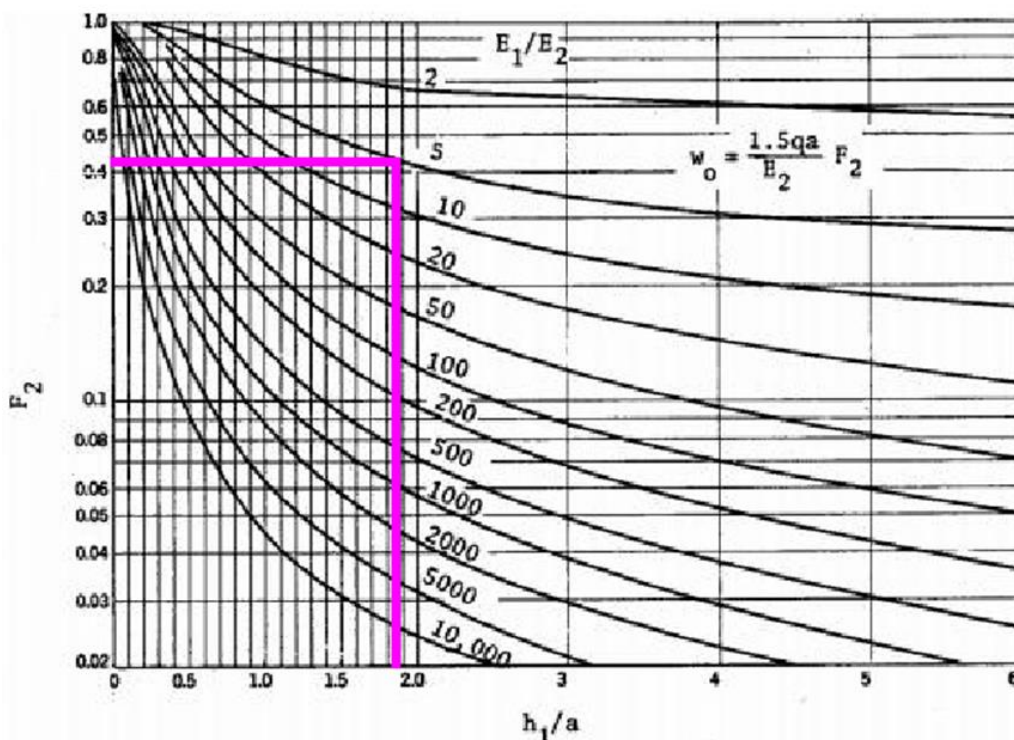
Figura 17: Factor de deflexión F_2 -Base granular Sector 03-Aucampi



Fuente: Elaboración propia en base a Burmister, 1943

Para Sector 04.-Del ábaco se obtiene $F_2=0.42$

Figura 18: Factor de deflexión F_2 -Base granular Sector 04-Ayauca.



Fuente: Elaboración propia en base a Burmister, 1943

Con los datos hallados anteriormente mencionamos reemplazamos en la ecuación:

Tabla 26: Cálculo de deflexiones admisibles Base Granular

Tramo	Reemplazamos los datos:	Resultado	Calculo de Deflexion Caracteristica	Deflexiones Admisibles	Para efectos de Control
Sector 01	$W_o = 1.5x \left(\frac{5.64x10.74}{1310} \right) x0.42$	29.13	$DC = W0 + 1.645 * \sigma$	$62^{-2}mm$	
Sector 02	$W_o = 1.5x \left(\frac{5.64x10.74}{1290} \right) x0.42$	29.58	$DC = W0 + 1.645 * \sigma$	$62^{-2}mm$	
Sector 03	$W_o = 1.5x \left(\frac{5.64x10.74}{1160} \right) x0.41$	32.11	$DC = W0 + 1.645 * \sigma$	$65^{-2}mm$	
Sector 04	$W_o = 1.5x \left(\frac{5.64x10.74}{1240} \right) x0.42$	30.78	$DC = W0 + 1.645 * \sigma$	$64^{-2}mm$	

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de la deflexión Admisible para Carpeta Asfáltica

Para el cálculo de la deflexión admisible para la carpeta asfáltica, emplearemos la siguiente ecuación (Criterio Conrevial)

$$D_a = \left(\frac{1.15}{N} \right)^{\frac{1}{4}}$$

D_a : Deflexión Admisible (Según Conrevial)

N: EAL de diseño (en millones de ejes equivalentes)

Tabla 27: Cálculo de deflexiones -Carpeta asfáltica

Tramo	ESAL	Dax10-2 mm	Para efectos de Control
Sector 01-04	244,000	47.00	

Fuente: Elaboración propia

Resumen de Deflexiones Admisibles Calculados:

Para el control de las deflexiones se emplearán las deflexiones admisibles calculadas.

Tabla 28: Cuadro resumen de deflexiones admisibles calculadas.

<u>Capa</u>	<u>Sector 01</u>	<u>Sector 02</u>	<u>Sector 03</u>	<u>Sector 04</u>
Sub Rasante	74.00	75.00	83.00	78.00
Sub Base	73.00	73.00	75.00	74.00
Base	62.00	62.00	65.00	64.00
Carpeta Asfáltica	47.00	47.00	47.00	47.00

Fuente: Elaboración propia

4.3. Resultados de los objetivos específicos N° 02

Determinar y comparar el comportamiento estructural en la Subrasante, Sub base, Base granular y Carpeta asfáltica de los sectores Calachota-Quiriman-Aucampi y Ayauca.

- Se tomaron 160 puntos de ensayo en la vía separados aproximadamente 25 m según las especificaciones técnicas del proyecto
- Se tomaron las mediciones de deflexiones en campo haciendo el uso de una Viga Benkelman, la cual poseía una relación de Brazos de 1 :4.
- Se usó un Vehículo tipo camión, el cual poseía un peso de 8.200 Ton en el eje posterior, y una presión de inflado de sus llantas de 85 PSI, cumpliendo así con el peso estipulado en la Norma ASTM 4695.
- La carretera a evaluar consta de 19.085 Km, pero para un mejor análisis, se dividió el estudio en cuatro sectores de 1000 metros cada uno, con la finalidad de observar mejor el comportamiento de la subrasante en estudio, teniendo en cuenta las características físico-químico de los suelos y el CBR.

Evaluación deflectométrico a nivel de Sub base Granular

Tabla 29: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Subrasante Sector 01

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)						PARAMETROS S/C			T.amb		PARAMETROS C/C			
		1 ^{er} DIAL					2 ^o DIAL		D (0.01mm)		Rc	(°C)	F.C	D (0.01mm)		Rc
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do	D25	(m)			Do	D25	(m)
0 + 000	Der.	0	4	7	9	13	0	4	52	16	87	24	1.0	52	16	87
0 + 025	Izq.	0	4	5	7	12	0	6	48	24	130	24	1.0	48	24	130
0 + 050	Der.	0	1	5	10	12	0	6	48	24	130	24	1.0	48	24	130
0 + 075	Izq.	0	4	6	10	13	0	5	52	20	98	25	1.0	52	20	98
0 + 100	Der.	0	4	5	7	12	0	5	48	20	112	25	1.0	48	20	112
0 + 125	Izq.	0	1	5	9	12	0	5	48	20	112	25	1.0	48	20	112
0 + 150	Der.	0	4	6	9	11	0	5	44	20	130	25	1.0	44	20	130
0 + 175	Izq.	0	4	6	10	13	0	6	52	24	112	26	1.0	52	24	112
0 + 200	Der.	0	4	9	7	13	0	5	52	20	98	26	1.0	52	20	98
0 + 225	Izq.	0	4	7	9	14	0	6	56	24	98	26	1.0	56	24	98
0 + 250	Der.	0	1	4	5	15	0	6	60	24	87	27	1.0	60	24	87
0 + 275	Izq.	0	4	6	9	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
0 + 300	Der.	0	5	7	10	14	0	7	56	28	112	27	1.0	56	28	112
0 + 325	Izq.	0	4	5	7	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
0 + 350	Der.	0	4	5	6	15	0	6	60	24	87	27	1.0	60	24	87
0 + 375	Izq.	0	4	5	9	14	0	6	56	24	98	27	1.0	56	24	98
0 + 400	Der.	0	4	6	9	15	0	6	60	24	87	28	1.0	60	24	87
0 + 425	Izq.	0	4	6	7	13	0	6	52	24	112	28	1.0	52	24	112
0 + 450	Der.	0	5	7	11	15	0	6	60	24	87	28	1.0	60	24	87
0 + 475	Izq.	0	4	6	9	14	0	6	56	24	98	28	1.0	56	24	98
0 + 500	Der.	0	5	4	7	16	0	7	64	28	87	28	1.0	64	28	87
0 + 525	Izq.	0	5	6	9	15	0	7	60	28	98	28	1.0	60	28	98
0 + 550	Der.	0	5	4	5	14	0	6	56	24	98	27	1.0	56	24	98
0 + 575	Izq.	0	6	7	6	15	0	6	60	24	87	27	1.0	60	24	87
0 + 600	Der.	0	5	7	10	14	0	5	56	20	87	27	1.0	56	20	87
0 + 625	Izq.	0	5	6	7	15	0	6	60	24	87	27	1.0	60	24	87
0 + 650	Der.	0	4	5	11	15	0	6	60	24	87	27	1.0	60	24	87
0 + 675	Izq.	0	4	6	10	14	0	6	56	24	98	27	1.0	56	24	98
0 + 700	Der.	0	5	7	11	15	0	7	60	28	98	26	1.0	60	28	98
0 + 725	Izq.	0	5	6	9	16	0	7	64	28	87	26	1.0	64	28	87
0 + 750	Der.	0	6	7	5	15	0	6	60	24	87	26	1.0	60	24	87
0 + 775	Izq.	0	6	10	12	16	0	5	64	20	71	26	1.0	64	20	71
0 + 800	Der.	0	4	6	11	15	0	5	60	20	78	27	1.0	60	20	78
0 + 825	Izq.	0	4	9	10	14	0	7	56	28	112	27	1.0	56	28	112
0 + 850	Der.	0	4	5	6	15	0	7	60	28	98	27	1.0	60	28	98
0 + 875	Izq.	0	7	10	12	14	0	6	56	24	98	25	1.0	56	24	98
0 + 900	Der.	0	5	9	11	15	0	6	60	24	87	25	1.0	60	24	87
0 + 925	Izq.	0	4	7	12	15	0	6	60	24	87	25	1.0	60	24	87
0 + 950	Der.	0	5	7	10	14	0	6	56	24	98	25	1.0	56	24	98
0 + 975	Izq.	0	5	6	10	15	0	7	60	28	98	25	1.0	60	28	98
1 + 000	Der.	0	5	7	11	13	0	4	52	16	87	25	1.0	52	16	87

	DESCRIPCION	PARAMETROS CORREGIDOS			
		Do	D25	Rc	
1.	<u>DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc)</u> Dc = D + 1.645 * σ	41	41	41	
2.	<u>DEFLEXION ADMISIBLE (Da)</u> Da = 74 (0.01mm)				
	Cantidad	N	41	41	
	Valor Mínimo	X _{min}	44	16	
	Valor Máximo	X _{max}	64	28	
	Promedio	D	56	24	
	Desviación Estándar	σ	5	3	
	Coefficiente de Variación	Cv	9	13	
	Deflexion Caracteristica (0.01mm)	Dc	64	29	124
Deflexion Admisible (0.01mm)	Da		74		
Do < Da		OK	64	<	74

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Subrasante Sector 02

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)						PARAMETROS S/C			T. amb		PARAMETROS C/C			
		1º DIAL			2º DIAL			D (0.01mm)		Rc	(°C)	F. C	D (0.01mm)		Rc	
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do	D25			(m)	Do	D25	(m)
4+500	Izq.	0	3	5	9	14	0	7	56	28	112	24	1.0	56	28	112
4 + 525	Der.	0	5	5	8	16	0	6	64	24	78	24	1.0	64	24	78
4+550	Izq.	0	2	3	5	15	0	7	60	28	98	24	1.0	60	28	98
4 + 575	Der.	0	3	5	6	16	0	5	64	20	71	25	1.0	64	20	71
4+600	Izq.	0	3	5	8	15	0	6	60	24	87	25	1.0	60	24	87
4 + 625	Der.	0	2	5	6	13	0	5	52	20	98	25	1.0	52	20	98
4+650	Izq.	0	2	5	9	16	0	6	64	24	78	25	1.0	64	24	78
4 + 675	Der.	0	5	6	8	15	0	7	60	28	98	26	1.0	60	28	98
4 + 700	Izq.	0	5	6	8	15	0	5	60	20	78	26	1.0	60	20	78
4 + 725	Der.	0	3	5	6	16	0	7	64	28	87	26	1.0	64	28	87
4 + 750	Izq.	0	2	5	5	14	0	5	56	20	87	27	1.0	56	20	87
4 + 775	Der.	0	3	5	8	14	0	6	56	24	98	27	1.0	56	24	98
4 + 800	Izq.	0	3	5	9	12	0	4	48	16	98	27	1.0	48	16	98
4 + 825	Der.	0	3	6	9	15	0	7	60	28	98	27	1.0	60	28	98
4 + 850	Izq.	0	2	5	6	15	0	6	60	24	87	27	1.0	60	24	87
4 + 875	Der.	0	3	5	5	15	0	6	60	24	87	27	1.0	60	24	87
4 + 900	Izq.	0	5	8	9	16	0	6	64	24	78	28	1.0	64	24	78
4 + 925	Der.	0	5	6	9	16	0	6	64	24	78	28	1.0	64	24	78
4 + 950	Izq.	0	5	6	9	15	0	6	60	24	87	28	1.0	60	24	87
4 + 975	Der.	0	5	5	8	14	0	5	56	20	87	28	1.0	56	20	87
5+000	Der.	0	5	6	9	15	0	6	60	24	87	28	1.0	60	24	87
5+025	Izq.	0	3	8	9	15	0	6	60	24	87	28	1.0	60	24	87
5+050	Der.	0	5	5	9	17	0	6	68	24	71	27	1.0	68	24	71
5+075	Izq.	0	5	6	9	15	0	7	60	28	98	27	1.0	60	28	98
5+100	Der.	0	3	5	8	15	0	6	60	24	87	27	1.0	60	24	87
5+125	Izq.	0	3	5	9	17	0	6	68	24	71	27	1.0	68	24	71
5+150	Der.	0	5	8	9	16	0	5	64	20	71	27	1.0	64	20	71
5+175	Izq.	0	6	5	5	15	0	6	60	24	87	27	1.0	60	24	87
5+200	Der.	0	3	5	6	15	0	6	60	24	87	26	1.0	60	24	87
5+225	Izq.	0	5	6	9	16	0	7	64	28	87	26	1.0	64	28	87
5+250	Der.	0	3	6	9	17	0	6	68	24	71	26	1.0	68	24	71
5+275	Izq.	0	5	5	8	15	0	7	60	28	98	26	1.0	60	28	98
5+300	Der.	0	5	6	9	15	0	5	60	20	78	27	1.0	60	20	78
5+325	Izq.	0	5	5	3	17	0	6	68	24	71	27	1.0	68	24	71
5+350	Der.	0	5	6	9	15	0	5	60	20	78	27	1.0	60	20	78
5+375	Izq.	0	5	6	8	14	0	7	56	28	112	25	1.0	56	28	112
5+400	Der.	0	5	8	9	15	0	5	60	20	78	25	1.0	60	20	78
5+425	Izq.	0	3	5	8	15	0	5	60	20	78	25	1.0	60	20	78
5+450	Der.	0	5	5	9	15	0	6	60	24	87	25	1.0	60	24	87
5+475	Izq.	0	3	5	8	17	0	6	68	24	71	25	1.0	68	24	71
5+500	Der.	0	5	8	9	16	0	5	64	20	71	25	1.0	64	20	71

1.	<u>DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc)</u>	DESCRIPCION			PARAMETROS CORREGIDOS		
	$D_c = D + 1.645 \cdot \sigma$				Do	D25	Rc
2.	<u>DEFLEXION ADMISIBLE (Da)</u>	Cantidad	N	41	41	41	
		Valor Minimo	X _{min}	48	16	71	
		Valor Maximo	X _{máx}	68	28	112	
		Promedio	D	61	24	85	
		Desviación Estándar	σ	4	3	10	
		Coefficiente de Variación	C _v	7	13	12	
		Deflexion Carasteristica (0.01mm)	D _c	68	29	102	
		Deflexion Admisible (0.01mm)	D _a		75		
		Do < Da	OK	68	<	75	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Subrasante Sector 03

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)					PARAMETROS S/C					T. amb		PARAMETROS C/C		
		1 ^{er} DIAL					2 ^o DIAL		D (0.01mm)		Rc	(°C)	F.C	D (0.01mm)		Rc
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do	D25	(m)			Do	D25	(m)
14 + 000	Izq.	0	3	8	12	17	0	7	68	28	78	24	1.0	68	28	78
14 + 025	Der.	0	5	8	11	18	0	7	72	28	71	24	1.0	72	28	71
14 + 050	Izq.	0	2	5	7	17	0	6	68	24	71	24	1.0	68	24	71
14 + 075	Der.	0	3	7	9	19	0	8	76	32	71	25	1.0	76	32	71
14 + 100	Izq.	0	3	8	11	18	0	8	72	32	78	25	1.0	72	32	78
14 + 125	Der.	0	2	7	9	17	0	7	68	28	78	25	1.0	68	28	78
14 + 150	Izq.	0	2	8	12	18	0	8	72	32	78	25	1.0	72	32	78
14 + 175	Der.	0	5	9	11	17	0	7	68	28	78	26	1.0	68	28	78
14 + 200	Izq.	0	5	9	11	18	0	8	72	32	78	26	1.0	72	32	78
14 + 225	Der.	0	3	7	9	17	0	8	68	32	87	26	1.0	68	32	87
14 + 250	Izq.	0	2	7	8	15	0	7	60	28	98	27	1.0	60	28	98
14 + 275	Der.	0	3	8	11	17	0	7	68	28	78	27	1.0	68	28	78
14 + 300	Izq.	0	3	8	12	16	0	7	64	28	87	27	1.0	64	28	87
14 + 325	Der.	0	3	9	13	17	0	8	68	32	87	27	1.0	68	32	87
14 + 350	Izq.	0	2	7	9	18	0	7	72	28	71	27	1.0	72	28	71
14 + 375	Der.	0	3	7	8	18	0	8	72	32	78	27	1.0	72	32	78
14 + 400	Izq.	0	5	11	13	19	0	7	76	28	65	28	1.0	76	28	65
14 + 425	Der.	0	5	9	12	19	0	7	76	28	65	28	1.0	76	28	65
14 + 450	Izq.	0	5	9	13	19	0	8	76	32	71	28	1.0	76	32	71
14 + 475	Der.	0	5	8	11	18	0	7	72	28	71	28	1.0	72	28	71
14 + 500	Der.	0	5	9	13	20	0	9	80	36	71	28	1.0	80	36	71
14 + 525	Izq.	0	3	11	13	18	0	8	72	32	78	28	1.0	72	32	78
14 + 550	Der.	0	5	8	12	19	0	8	76	32	71	27	1.0	76	32	71
14 + 575	Izq.	0	5	9	13	17	0	7	68	28	78	27	1.0	68	28	78
14 + 600	Der.	0	3	7	11	17	0	8	68	32	87	27	1.0	68	32	87
14 + 625	Izq.	0	3	8	12	17	0	6	68	24	71	27	1.0	68	24	71
14 + 650	Der.	0	5	11	13	19	0	8	76	32	71	27	1.0	76	32	71
14 + 675	Izq.	0	6	7	8	19	0	8	76	32	71	27	1.0	76	32	71
14 + 700	Der.	0	3	7	9	18	0	7	72	28	71	26	1.0	72	28	71
14 + 725	Izq.	0	5	9	13	18	0	8	72	32	78	26	1.0	72	32	78
14 + 750	Der.	0	3	9	12	19	0	8	76	32	71	26	1.0	76	32	71
14 + 775	Izq.	0	5	8	11	18	0	7	72	28	71	26	1.0	72	28	71
14 + 800	Der.	0	5	9	12	20	0	8	80	32	65	27	1.0	80	32	65
14 + 825	Izq.	0	5	7	5	18	0	8	72	32	78	27	1.0	72	32	78
14 + 850	Der.	0	5	9	12	18	0	7	72	28	71	27	1.0	72	28	71
14 + 875	Izq.	0	5	9	11	17	0	6	68	24	71	25	1.0	68	24	71
14 + 900	Der.	0	5	11	12	16	0	5	64	20	71	25	1.0	64	20	71
14 + 925	Izq.	0	3	8	11	17	0	7	68	28	78	25	1.0	68	28	78
14 + 950	Der.	0	5	7	12	17	0	6	68	24	71	25	1.0	68	24	71
14 + 975	Izq.	0	3	8	11	18	0	7	72	28	71	25	1.0	72	28	71
15 + 000	Der.	0	5	11	13	19	0	7	76	28	65	25	1.0	76	28	65

	DESCRIPCION	PARAMETROS CORREGIDOS		
		Do	D25	Rc
1. DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc) $D_c = D + 1.645 \cdot \sigma$	Cantidad	N	41	41
	Valor Mínimo	X_{min}	60	20
	Valor Máximo	X_{max}	80	36
	Promedio	D	71	29
	Desviación Estándar	σ	4	3
	Coficiente de Variación	Cv	6	11
	Deflexion Característica (0.01mm)	Dc	78	35
	Deflexion Admisible (0.01mm)	Da		83
	Do < Da	OK	78	<
2. DEFLEXION ADMISIBLE (Da) $D_a = 83 \text{ (0.01mm)}$				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Subrasante Sector 04

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)							PARAMETROS S/C			T.amb		PARAMETROS C/C		
		1º DIAL					2º DIAL		D (0.01mm)		Rc	(°C)	F.C	D (0.01mm)		Rc
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do	D25	(m)			Do	D25	(m)
17 + 000	Izq.	0	4	7	9	14	0	6	56	24	98	24	1.0	56	24	98
17 + 025	Der.	0	2	4	7	15	0	5	60	20	78	24	1.0	60	20	78
17 + 050	Izq.	0	4	4	10	13	0	5	52	20	98	24	1.0	52	20	98
17 + 075	Der.	0	2	5	10	15	0	4	60	16	71	25	1.0	60	16	71
17 + 100	Izq.	0	4	4	7	16	0	4	64	16	65	25	1.0	64	16	65
17 + 125	Der.	0	2	4	9	14	0	5	56	20	87	25	1.0	56	20	87
17 + 150	Izq.	0	5	5	9	15	0	4	60	16	71	25	1.0	60	16	71
17 + 175	Der.	0	4	5	10	15	0	4	60	16	71	26	1.0	60	16	71
17 + 200	Izq.	0	5	9	7	16	0	7	64	28	87	26	1.0	64	28	87
17 + 225	Der.	0	2	7	9	15	0	4	60	16	71	26	1.0	60	16	71
17 + 250	Izq.	0	5	2	4	15	0	7	60	28	98	27	1.0	60	28	98
17 + 275	Der.	0	7	5	4	14	0	6	56	24	98	27	1.0	56	24	98
17 + 300	Izq.	0	5	7	9	16	0	7	64	28	87	27	1.0	64	28	87
17 + 325	Der.	0	4	4	4	15	0	5	60	20	78	27	1.0	60	20	78
17 + 350	Izq.	0	2	3	8	16	0	5	64	20	71	27	1.0	64	20	71
17 + 375	Der.	0	4	4	2	16	0	7	64	28	87	27	1.0	64	28	87
17 + 400	Izq.	0	3	4	2	17	0	6	68	24	71	28	1.0	68	24	71
17 + 425	Der.	0	4	7	5	16	0	5	64	20	71	28	1.0	64	20	71
17 + 450	Izq.	0	5	7	2	15	0	5	60	20	78	28	1.0	60	20	78
17 + 475	Der.	0	4	5	8	16	0	7	64	28	87	28	1.0	64	28	87
17 + 500	Der.	0	4	4	7	16	0	6	64	24	78	28	1.0	64	24	78
17 + 525	Izq.	0	5	5	9	16	0	7	64	28	87	28	1.0	64	28	87
17 + 550	Der.	0	3	5	8	15	0	7	60	28	98	27	1.0	60	28	98
17 + 575	Izq.	0	7	7	5	15	0	5	60	20	78	27	1.0	60	20	78
17 + 600	Der.	0	3	4	9	14	0	6	56	24	98	27	1.0	56	24	98
17 + 625	Izq.	0	3	4	8	15	0	5	60	20	78	27	1.0	60	20	78
17 + 650	Der.	0	3	3	8	14	0	4	56	16	78	27	1.0	56	16	78
17 + 675	Izq.	0	3	4	5	15	0	7	60	28	98	27	1.0	60	28	98
17 + 700	Der.	0	5	5	7	16	0	7	64	28	87	26	1.0	64	28	87
17 + 725	Izq.	0	3	4	9	16	0	5	64	20	71	26	1.0	64	20	71
17 + 750	Der.	0	4	5	7	15	0	7	60	28	98	26	1.0	60	28	98
17 + 775	Izq.	0	3	8	10	16	0	7	64	28	87	26	1.0	64	28	87
17 + 800	Der.	0	2	5	4	17	0	7	68	28	78	27	1.0	68	28	78
17 + 825	Izq.	0	5	7	9	15	0	7	60	28	98	27	1.0	60	28	98
17 + 850	Der.	0	2	4	8	16	0	5	64	20	71	27	1.0	64	20	71
17 + 875	izq.	0	3	9	10	16	0	7	64	28	87	25	1.0	64	28	87
17 + 900	Der.	0	3	4	7	16	0	5	64	20	71	25	1.0	64	20	71
17 + 925	Izq.	0	2	7	8	15	0	6	60	24	87	25	1.0	60	24	87
17 + 950	Der.	0	5	7	10	16	0	7	64	28	87	25	1.0	64	28	87
17 + 975	Izq.	0	3	4	6	15	0	6	60	24	87	25	1.0	60	24	87
18 + 000	Der.	0	5	7	8	16	0	6	64	24	78	25	1.0	64	24	78

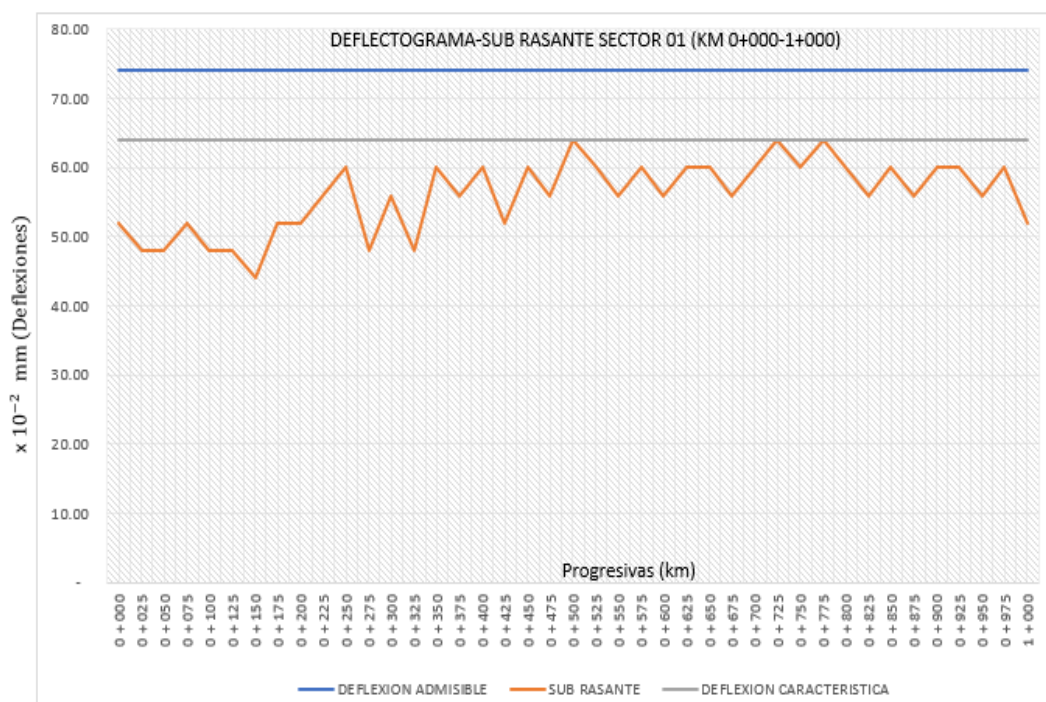
1.	DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc)	DESCRIPCION	PARAMETROS CORREGIDOS			
			Do	D25	Rc	
	$D_c = D + 1.645 \cdot \sigma$	Cantidad	N	41	41	41
		Valor Minimo	X _{min}	52	16	65
		Valor Maximo	X _{max}	68	28	98
		Promedio	D	61	23	83
		Desviacion Estándar	σ	3	4	10
		Coficiente de Variacion	C _v	6	19	12
		Deflexion Carasteristica (0.01mm)	D _c	67	29	96
		Deflexion Admisible (0.01mm)	D _a		78	
		Do < Da	OK	67	<	78

Fuente: Elaboración propia.

Comportamiento estructural - Subrasante

Determinación del comportamiento estructural de la Subrasante mediante el uso de la viga Benkelman del sector 01-Calachota.

Figura 19: Deflectograma – Sub Rasante sector 01.



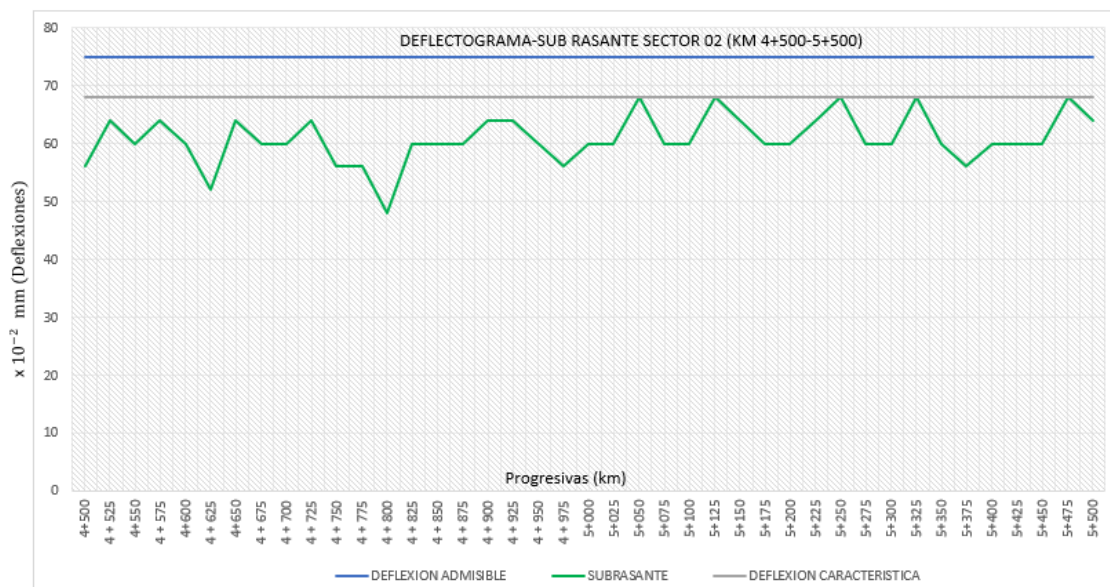
Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (GM-GC) y según la clasificación AASHTO en A-2-4(0). Que comprenden Grava limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 64.40%, con presencia de rocas de diámetro medio 1.00m en 60% y tiene un CBR= 13.10%.

En la Figura 19 se muestra las deflexiones mediante la Viga Benkelman en la subrasante en el Sector 01, los datos varían desde 44×10^{-2} mm a 64×10^{-2} mm. Los resultados reflejan que las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 74×10^{-2} mm y deflexión característica que es 64×10^{-2} mm.

Determinación del comportamiento estructural de la Subrasante mediante el uso de la viga Benkelman del sector 02 - Quiriman.

Figura 20: Deflectograma – Sub Rasante sector 02.



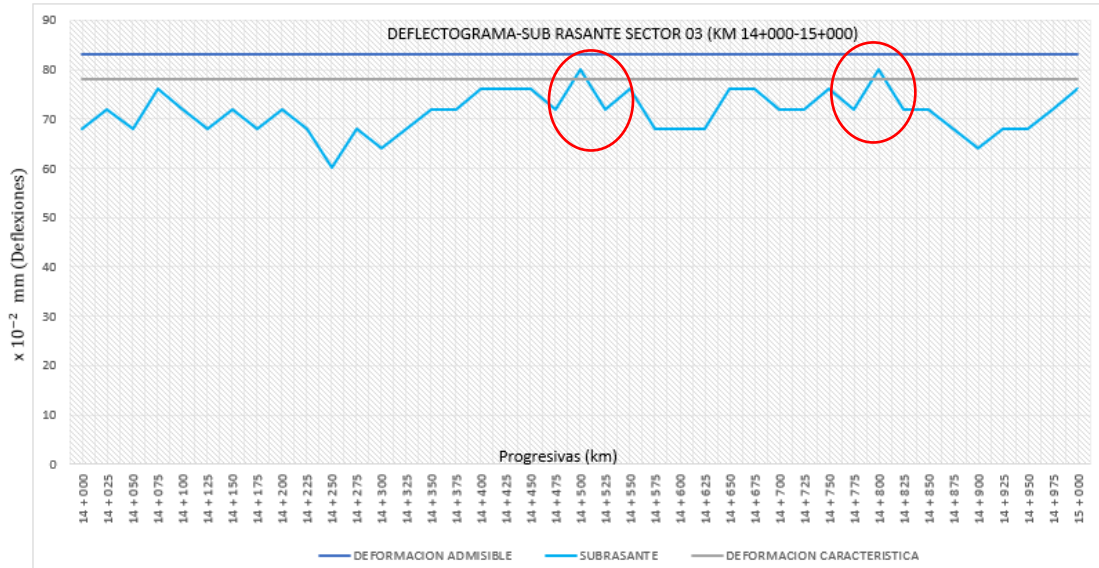
Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (GM) y según a clasificación AASHTO en A-2-4 (O). Que comprenden Grava limosa de mediana plasticidad con material granular equivalente a 66.39% y el CBR= 12.90 %.

En la figura 20 se muestra las deflexiones obtenidas mediante la Viga Benkelman en la subrasante en el Sector 02, los datos varían desde 48×10^{-2} mm a 68×10^{-2} mm, las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 75×10^{-2} mm, y la deflexión característica que es 66×10^{-2} mm.

Determinación del comportamiento estructural de la Subrasante mediante el uso de la viga Benkelman del sector 03 - Aucampi

Figura 21: Deflectograma – Sub Rasante sector 03.



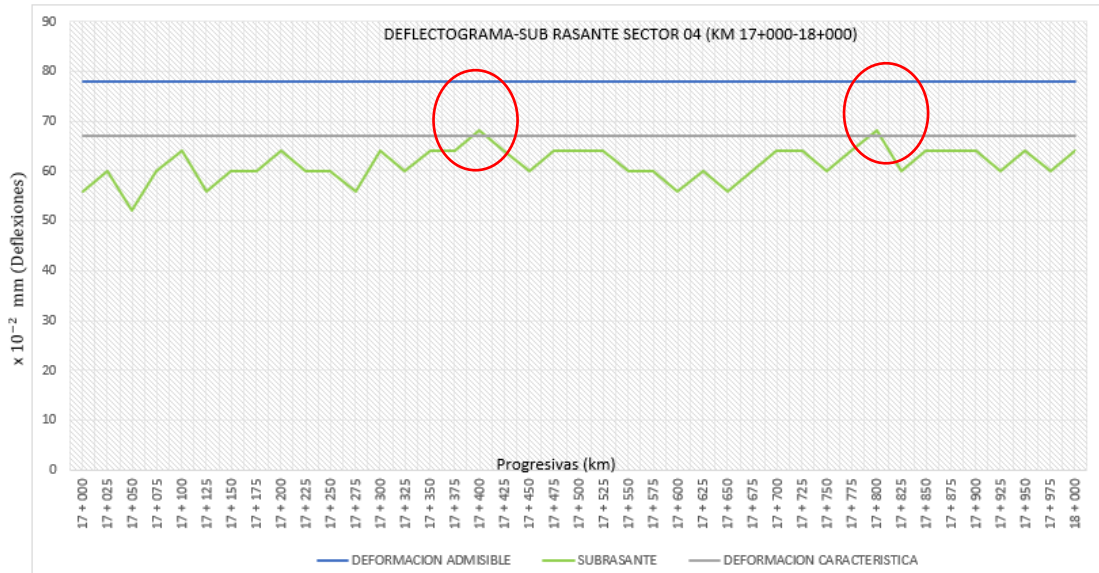
Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (ML-CL) y según la clasificación AASHTO en A-4 (4). Que comprenden Suelo limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 47.35%. Con presencia de rocas de diametro medio 0.40m, en un 20% del volumen total y el CBR= 11.60 %.

En la figura 21 se muestra las deflexiones obtenidas mediante la Viga Benkelman en la subrasante del Sector 03, los datos varían desde 60×10^{-2} mm a 80×10^{-2} mm, las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 83×10^{-2} , sin embargo, en el km 14+500 y 14+800 donde la deflexión es 80×10^{-2} mm supera a la deflexión característica que es 78×10^{-2} mm, por lo que se deduce que en el tramo donde sobrepasa la deflexión característica se ha producido un problema al conformar la subrasante o que haya alto contenido de humedad ,se tomó las medidas correctivas a fin de asegurar la calidad del pavimento.

Determinación del comportamiento estructural de la Subrasante mediante el uso de la viga Benkelman del sector 03 - Aucampi

Figura 22: Deflectograma – Sub Rasante sector 04.



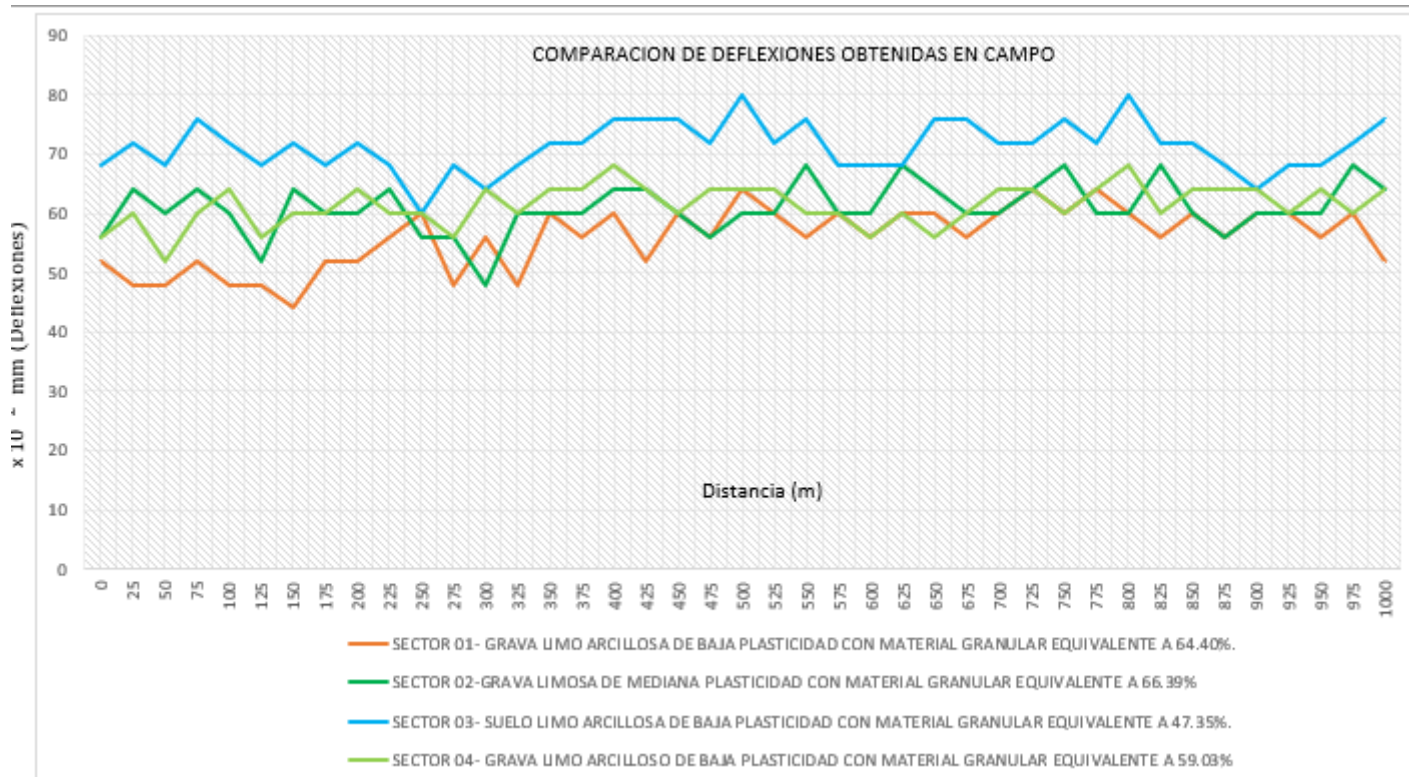
Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (GM-GC) y según la clasificación AASHTO en A-4 (2). Que comprenden Grava limo-arcilloso de baja plasticidad con material granular equivalente a 59.03%. Con presencia de rocas de diámetro medio 0.40m, en un 10% del volumen total y el CBR= 12.40 %.

En la figura 22 se muestra las deflexiones obtenidas mediante la Viga Benkelman en la subrasante del Sector 04, los datos varían desde 52×10^{-2} mm a 68×10^{-2} mm, las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 78×10^{-2} mm, sin embargo, en el km 17+400 y 17+800 donde la deflexión es 68×10^{-2} mm supera superando ligeramente a la deflexión característica que es 67×10^{-2} mm, Los tramos que superan la deflexión característica ha tenido una mala conformación de subrasante o alto contenido de humedad, por lo tanto, se procedió a tomar las medidas correctivas a fin de asegurar la calidad del pavimento

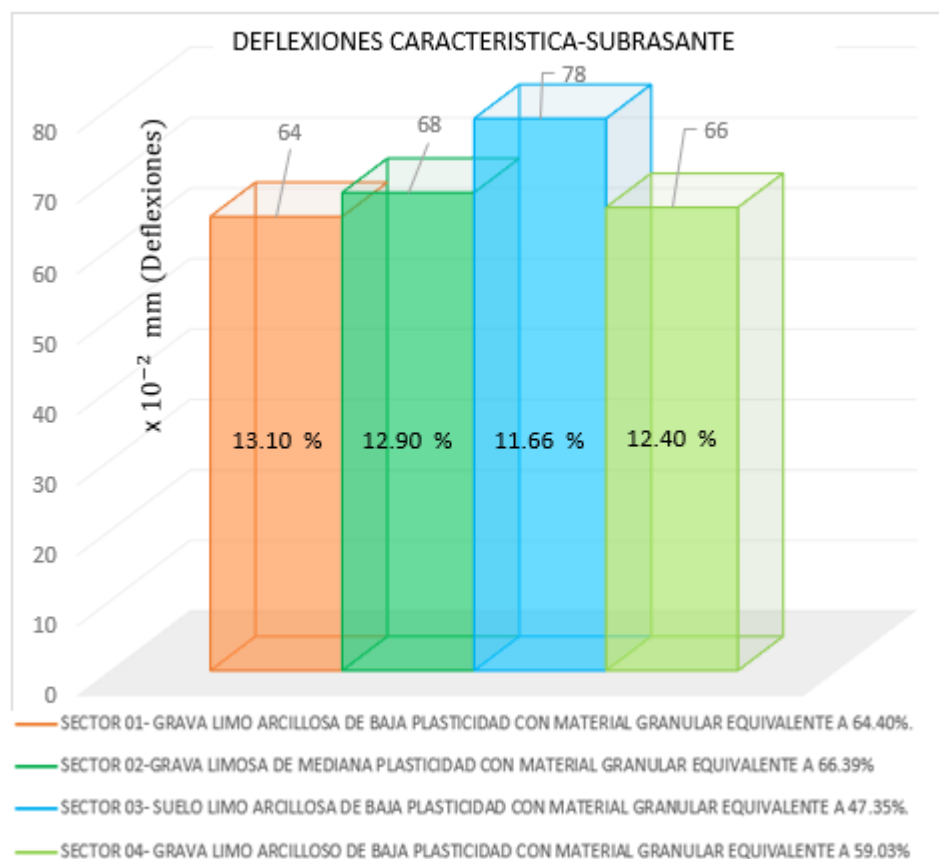
Comparativo de las deflexiones a nivel obtenidas en campo de subrasante

Figura 23: Comparación de deflexiones en relación a los suelos conformante de la Subrasante



Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Comparación de deflexiones Admisibles - Subrasante



En la Figura 23 se muestra la información relevante a nivel de subrasante, el CBR de los terrenos de fundación obtenidos en el estudio de las calicatas son distintos y los suelos poseen distintas características físicas -químicas.

Asimismo, el comportamiento de las deflexiones en cada uno de los sectores no es homogéneo esto se debe a que los suelos tienen diferentes características.

La obtención del CBR es importante, ya que como se puede notar en la figura 23, el sector que posee un suelo con un Valor de CBR menor origina mayor deflexión a comparación del Sector con un Valor de CBR mayor genera menor deflexión.

En la Figura 24 se muestra los resultados obtenido de deflexiones característica, por lo que podemos determinar que un suelo con Valor de CBR menor suele deformarse más que un suelo con valor de CBR Superior,

tal es el caso de la Subrasante del Sector 01 tiene una deflexión característica de 63×10^{-2} mm vs la subrasante del Sector 03 cuya deflexión característica es 77×10^{-2} mm.

La exploración del suelo de fundación a través de las calicatas juega un papel importante ya que las calicatas nos dan las características de los suelos de fundación.

En la figura 23 se observa que las deflexiones obtenidas son dispersas, esto se explica a varios factores como el valor del CBR, las características físicas-Químicas del suelo, así como el proceso constructivo y control de calidad llevada en obra.

El análisis deflectométrico en la Subrasante determina que para el Sector 01 que posee un suelo de tipo Grava limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 64.40% y CBR 13.10%, la deflexión característica es 64×10^{-2} mm por lo que se convierte en el sector donde las deflexiones han sido bajas a comparación de los demás sectores , mientras que en el Sector 02 cuyo suelo es grava limosa de mediana plasticidad con material granular equivalente a 66.39% obtuvo una deflexión característica de 68×10^{-2} mm y sector 04 que posee un suelo de tipo grava limo-arcilloso de baja plasticidad con material granular equivalente a 59.03% , la deflexión característica para ambos sectores es 67×10^{-2} mm teniendo deflexiones intermedias a comparación de los demás sectores. El sector 03 cuyo suelo es de tipo Suelo limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 47.35% resulta ser el sector donde se da las mayores deflexiones teniendo una Deflexión característica de 78×10^{-2} mm.

En la evaluación de la subrasante hubo deflexiones que sobrepasan el valor de las deflexiones característica por lo que se procedió a realizar las correcciones en dichos tramos.

A través de la evaluación de deflexiones se pudo hallar las zonas inestables por lo que se tomó las medidas correctivas en el momento indicado.

Evaluación deflectométrico a nivel de Sub base Granular

Tabla 33: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Sub base granular
Sector 01.

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)						PARAMETROS S/C			T.amb		PARAMETROS C/C			
		1 ^{er} DIAL					2 ^o DIAL		D (0.01mm)		Rc	°C	F.C	D (0.01mm)		Rc
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do	D25	(m)			Do	D25	(m)
0 + 000	Der.	0	2	5	6	10	0	5	40	20	156	25	1.0	40	20	156
0 + 025	Izq.	0	2	3	5	8	0	5	32	20	260	25	1.0	32	20	260
0 + 050	Der.	0	1	3	7	9	0	5	36	20	195	25	1.0	36	20	195
0 + 075	Izq.	0	2	4	7	10	0	4	40	16	130	25	1.0	40	16	130
0 + 100	Der.	0	2	3	5	11	0	4	44	16	112	25	1.0	44	16	112
0 + 125	Izq.	0	1	3	6	10	0	5	40	20	156	25	1.0	40	20	156
0 + 150	Der.	0	2	4	6	9	0	4	36	16	156	26	1.0	36	16	156
0 + 175	Izq.	0	2	4	7	9	0	4	36	16	156	26	1.0	36	16	156
0 + 200	Der.	0	2	6	5	10	0	5	40	20	156	26	1.0	40	20	156
0 + 225	Izq.	0	2	5	6	13	0	4	52	16	87	26	1.0	52	16	87
0 + 250	Der.	0	1	2	3	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
0 + 275	Izq.	0	2	4	6	9	0	5	36	20	195	27	1.0	36	20	195
0 + 300	Der.	0	3	5	7	10	0	5	40	20	156	27	1.0	40	20	156
0 + 325	Izq.	0	2	3	5	9	0	5	36	20	195	27	1.0	36	20	195
0 + 350	Der.	0	2	3	4	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130
0 + 375	Izq.	0	2	3	6	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
0 + 400	Der.	0	2	4	6	12	0	5	48	20	112	28	1.0	48	20	112
0 + 425	Izq.	0	2	4	5	12	0	5	48	20	112	28	1.0	48	20	112
0 + 450	Der.	0	3	5	9	11	0	5	44	20	130	28	1.0	44	20	130
0 + 475	Izq.	0	2	4	6	12	0	4	48	16	98	28	1.0	48	16	98
0 + 500	Der.	0	3	2	5	10	0	4	40	16	130	28	1.0	40	16	130
0 + 525	Izq.	0	3	4	6	12	0	5	48	20	112	28	1.0	48	20	112
0 + 550	Der.	0	3	2	3	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
0 + 575	Izq.	0	4	5	4	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
0 + 600	Der.	0	3	5	7	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
0 + 625	Izq.	0	3	4	5	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
0 + 650	Der.	0	2	3	9	11	0	4	44	16	112	27	1.0	44	16	112
0 + 675	Izq.	0	2	4	7	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
0 + 700	Der.	0	3	5	9	13	0	5	52	20	98	26	1.0	52	20	98
0 + 725	Izq.	0	3	4	6	11	0	5	44	20	130	26	1.0	44	20	130
0 + 750	Der.	0	4	5	3	12	0	5	48	20	112	26	1.0	48	20	112
0 + 775	Izq.	0	4	7	9	12	0	4	48	16	98	26	1.0	48	16	98
0 + 800	Der.	0	2	4	9	12	0	4	48	16	98	27	1.0	48	16	98
0 + 825	Izq.	0	2	6	7	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
0 + 850	Der.	0	2	3	4	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130
0 + 875	Izq.	0	5	7	9	12	0	5	48	20	112	25	1.0	48	20	112
0 + 900	Der.	0	3	6	9	12	0	5	48	20	112	25	1.0	48	20	112
0 + 925	Izq.	0	2	5	9	13	0	4	52	16	87	25	1.0	52	16	87
0 + 950	Der.	0	3	5	7	12	0	5	48	20	112	25	1.0	48	20	112
0 + 975	Izq.	0	3	4	7	12	0	5	48	20	112	24	1.0	48	20	112
1 + 000	Der.	0	3	5	9	12	0	5	48	20	112	24	1.0	48	20	112

	DESCRIPCION	PARAMETROS CORREGIDOS		
		Do	D25	Rc
1.	<u>DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc)</u> Dc = D + 1.645 * σ			
	Cantidad	N	41	41
	Valor Mínimo	X _{min}	32	16
	Valor Máximo	X _{máx}	52	20
	Promedio	D	44	19
	Desviación Estándar	σ	5	2
	Coefficiente de Variación	Cv	12	10
	Deflexion Carasteristica (0.01mm)	Dc	53	22
	Deflexion Admisible (0.01mm)	Da	73	73
	Do < Da	OK	53	<

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Sub base granular Sector 02

PROGRESIVA	LA DO	LECTURAS (0.01mm)							PARAMETROS S/C			T.amb		PARAMETROS C/C		
		1° DIAL					2° DIAL		D (0.01mm)		Rc	(°C)	F.C	D (0.01mm)		Rc
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do	D25	(m)			Do	D25	(m)
4+500	Izq.	0	3	5	8	14	0	5	56	20	87	25	1.0	56	20	87
4+525	Der.	0	4	5	7	13	0	6	52	24	112	25	1.0	52	24	112
4+550	Izq.	0	2	3	4	12	0	6	48	24	130	25	1.0	48	24	130
4+575	Der.	0	3	4	5	13	0	6	52	24	112	25	1.0	52	24	112
4+600	Izq.	0	3	5	7	12	0	6	48	24	130	25	1.0	48	24	130
4+625	Der.	0	2	4	5	10	0	4	40	16	130	25	1.0	40	16	130
4+650	Izq.	0	2	5	8	13	0	6	52	24	112	26	1.0	52	24	112
4+675	Der.	0	4	5	7	12	0	6	48	24	130	26	1.0	48	24	130
4+700	Izq.	0	4	5	7	12	0	6	48	24	130	26	1.0	48	24	130
4+725	Der.	0	3	4	5	12	0	6	48	24	130	26	1.0	48	24	130
4+750	Izq.	0	2	4	5	10	0	6	40	24	195	27	1.0	40	24	195
4+775	Der.	0	3	5	7	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
4+800	Izq.	0	3	5	8	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
4+825	Der.	0	3	5	9	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
4+850	Izq.	0	2	4	5	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
4+875	Der.	0	3	4	5	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
4+900	Izq.	0	5	7	9	13	0	4	52	16	87	28	1.0	52	16	87
4+925	Der.	0	4	5	8	13	0	6	52	24	112	28	1.0	52	24	112
4+950	Izq.	0	5	5	9	12	0	6	48	24	130	28	1.0	48	24	130
4+975	Der.	0	4	5	7	12	0	6	48	24	130	28	1.0	48	24	130
5+000	Der.	0	4	5	9	12	0	6	48	24	130	28	1.0	48	24	130
5+025	Izq.	0	3	7	9	12	0	6	48	24	130	28	1.0	48	24	130
5+050	Der.	0	4	5	8	14	0	7	56	28	112	27	1.0	56	28	112
5+075	Izq.	0	4	5	9	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
5+100	Der.	0	3	4	7	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
5+125	Izq.	0	3	5	8	14	0	6	56	24	98	27	1.0	56	24	98
5+150	Der.	0	5	7	9	13	0	6	52	24	112	27	1.0	52	24	112
5+175	Izq.	0	5	4	5	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
5+200	Der.	0	3	4	5	12	0	6	48	24	130	26	1.0	48	24	130
5+225	Izq.	0	4	5	9	12	0	5	48	20	112	26	1.0	48	20	112
5+250	Der.	0	3	5	8	14	0	5	56	20	87	26	1.0	56	20	87
5+275	Izq.	0	5	5	7	12	0	4	48	16	98	26	1.0	48	16	98
5+300	Der.	0	4	5	8	13	0	5	52	20	98	27	1.0	52	20	98
5+325	Izq.	0	5	4	3	14	0	5	56	20	87	27	1.0	56	20	87
5+350	Der.	0	4	5	8	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
5+375	Izq.	0	5	5	7	12	0	6	48	24	130	25	1.0	48	24	130
5+400	Der.	0	4	7	8	12	0	5	48	20	112	25	1.0	48	20	112
5+425	Izq.	0	3	5	7	12	0	5	48	20	112	25	1.0	48	20	112
5+450	Der.	0	4	4	8	12	0	5	48	20	112	25	1.0	48	20	112
5+475	Izq.	0	3	5	7	14	0	5	56	20	87	25	1.0	56	20	87
5+500	Der.	0	5	7	9	13	0	4	52	16	87	25	1.0	52	16	87

	DESCRIPCION	PARAMETROS CORREGIDOS		
		Do	D25	Rc
1.	<u>DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc)</u> $Dc = D + 1.645 \cdot \sigma$			
	Cantidad	N	41	41
	Valor Minimo	X _{min}	40	16
	Valor Maximo	X _{máx}	56	28
	Promedio	D	49	22
	Desviacion Estándar	σ	4	3
	Coefficiente de Variacion	C _v	8	14
	Deflexion Caracteristica (0.01mm)	Dc	56	27
	Deflexion Admsible (0.01mm)	Da		73
	Do < Da	OK	56	<

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Sub base granular Sector 03

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)							PARAMETROS S/C			T. amb		PARAMETROS C/C		
		1° DIAL					2° DIAL		D (0.01mm)		Rc	(°C)	F.C	D (0.01mm)		Rc
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do	D25	(m)			Do	D25	(m)
14 + 000	Izq.	0	2	5	7	13	0	6	52	24	112	25	1.0	52	24	112
14 + 025	Der.	0	2	4	5	14	0	5	56	20	87	25	1.0	56	20	87
14 + 050	Izq.	0	2	4	8	12	0	6	48	24	130	25	1.0	48	24	130
14 + 075	Der.	0	2	5	8	14	0	5	56	20	87	25	1.0	56	20	87
14 + 100	Izq.	0	1	4	5	13	0	6	52	24	112	25	1.0	52	24	112
14 + 125	Der.	0	2	4	7	14	0	6	56	24	98	25	1.0	56	24	98
14 + 150	Izq.	0	2	5	7	13	0	6	52	24	112	26	1.0	52	24	112
14 + 175	Der.	0	2	5	8	14	0	3	56	12	71	26	1.0	56	12	71
14 + 200	Izq.	0	2	7	5	15	0	4	60	16	71	26	1.0	60	16	71
14 + 225	Der.	0	2	5	7	14	0	6	56	24	98	26	1.0	56	24	98
14 + 250	Izq.	0	1	2	4	13	0	5	52	20	98	27	1.0	52	20	98
14 + 275	Der.	0	2	2	4	15	0	6	60	24	87	27	1.0	60	24	87
14 + 300	Izq.	0	2	5	5	14	0	5	56	20	87	27	1.0	56	20	87
14 + 325	Der.	0	2	4	4	13	0	6	52	24	112	27	1.0	52	24	112
14 + 350	Izq.	0	2	2	4	13	0	6	52	24	112	27	1.0	52	24	112
14 + 375	Der.	0	2	2	5	15	0	6	60	24	87	27	1.0	60	24	87
14 + 400	Izq.	0	2	2	5	13	0	6	52	24	112	28	1.0	52	24	112
14 + 425	Der.	0	1	7	5	12	0	4	48	16	98	28	1.0	48	16	98
14 + 450	Izq.	0	2	5	6	15	0	6	60	24	87	28	1.0	60	24	87
14 + 475	Der.	0	2	2	4	13	0	5	52	20	98	28	1.0	52	20	98
14 + 500	Der.	0	2	4	5	14	0	5	56	20	87	28	1.0	56	20	87
14 + 525	Izq.	0	2	5	7	15	0	6	60	24	87	28	1.0	60	24	87
14 + 550	Der.	0	2	4	4	14	0	5	56	20	87	27	1.0	56	20	87
14 + 575	Izq.	0	4	5	6	13	0	6	52	24	112	27	1.0	52	24	112
14 + 600	Der.	0	2	5	6	14	0	6	56	24	98	27	1.0	56	24	98
14 + 625	Izq.	0	2	4	5	13	0	6	52	24	112	27	1.0	52	24	112
14 + 650	Der.	0	2	2	4	14	0	4	56	16	78	27	1.0	56	16	78
14 + 675	Izq.	0	2	2	5	15	0	5	60	20	78	27	1.0	60	20	78
14 + 700	Der.	0	4	5	5	14	0	7	56	28	112	26	1.0	56	28	112
14 + 725	Izq.	0	2	4	7	15	0	4	60	16	71	26	1.0	60	16	71
14 + 750	Der.	0	4	5	4	14	0	6	56	24	98	26	1.0	56	24	98
14 + 775	Izq.	0	2	5	8	13	0	5	52	20	98	26	1.0	52	20	98
14 + 800	Der.	0	2	5	4	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
14 + 825	Izq.	0	2	5	7	15	0	6	60	24	87	27	1.0	60	24	87
14 + 850	Der.	0	2	4	4	13	0	4	52	16	87	27	1.0	52	16	87
14 + 875	Izq.	0	1	5	5	15	0	6	60	24	87	25	1.0	60	24	87
14 + 900	Der.	0	4	4	5	14	0	5	56	20	87	25	1.0	56	20	87
14 + 925	Izq.	0	2	5	5	14	0	5	56	20	87	25	1.0	56	20	87
14 + 950	Der.	0	2	5	8	16	0	5	64	20	71	25	1.0	64	20	71
14 + 975	Izq.	0	2	4	5	14	0	7	56	28	112	25	1.0	56	28	112
15 + 000	Der.	0	2	5	5	13	0	6	52	24	112	25	1.0	52	24	112

1.	DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc)	DESCRIPCION	PARAMETROS CORREGIDOS			
			Do	D25	Rc	
	$D_c = D + 1.645 \cdot \sigma$	Cantidad	N	41	41	41
		Valor Minimo	X _{min}	48	12	71
		Valor Maximo	X _{max}	64	28	130
		Promedio	D	55	22	96
		Desviacion Estándar	σ	4	3	15
		Coefficiente de Variacion	C _v	7	16	16
2.	DEFLEXION ADMISIBLE (Da)	Deflexion Caracteristica (0.01mm)	D _c	61	28	121
	Da = 75 (0.01mm)	Deflexion Admisible (0.01mm)	D _a		75	
		Do < Da	OK	61	<	75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Sub base granular Sector 04

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)							PARAMETROS S/C			T.amb		PARAMETROS C/C		
		1º DIAL					2º DIAL		D (0.01mm)		Rc	(°C)	F.C	D (0.01mm)		Rc
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do	D25	(m)			Do	D25	(m)
17 + 000	Izq.	0	4	6	8	12	0	6	48	24	130	25	1.0	48	24	130
17 + 025	Der.	0	2	4	6	12	0	6	48	24	130	25	1.0	48	24	130
17 + 050	Izq.	0	4	4	9	11	0	7	44	28	195	25	1.0	44	28	195
17 + 075	Der.	0	2	5	9	13	0	6	52	24	112	25	1.0	52	24	112
17 + 100	Izq.	0	4	4	6	14	0	5	56	20	87	25	1.0	56	20	87
17 + 125	Der.	0	2	4	8	12	0	6	48	24	130	25	1.0	48	24	130
17 + 150	Izq.	0	5	5	8	11	0	7	44	28	195	26	1.0	44	28	195
17 + 175	Der.	0	4	5	9	13	0	5	52	20	98	26	1.0	52	20	98
17 + 200	Izq.	0	5	8	6	14	0	6	56	24	98	26	1.0	56	24	98
17 + 225	Der.	0	2	6	8	13	0	6	52	24	112	26	1.0	52	24	112
17 + 250	Izq.	0	5	2	4	13	0	6	52	24	112	27	1.0	52	24	112
17 + 275	Der.	0	6	5	4	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
17 + 300	Izq.	0	5	6	8	13	0	6	52	24	112	27	1.0	52	24	112
17 + 325	Der.	0	4	4	4	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
17 + 350	Izq.	0	2	3	7	14	0	5	56	20	87	27	1.0	56	20	87
17 + 375	Der.	0	4	4	2	14	0	6	56	24	98	27	1.0	56	24	98
17 + 400	Izq.	0	3	4	2	13	0	6	52	24	112	28	1.0	52	24	112
17 + 425	Der.	0	4	6	5	15	0	6	60	24	87	28	1.0	60	24	87
17 + 450	Izq.	0	5	6	2	13	0	6	52	24	112	28	1.0	52	24	112
17 + 475	Der.	0	4	5	7	14	0	5	56	20	87	28	1.0	56	20	87
17 + 500	Der.	0	4	4	6	14	0	5	56	20	87	28	1.0	56	20	87
17 + 525	Izq.	0	5	5	8	14	0	6	56	24	98	28	1.0	56	24	98
17 + 550	Der.	0	3	5	7	13	0	4	52	16	87	27	1.0	52	16	87
17 + 575	Izq.	0	6	6	5	13	0	5	52	20	98	27	1.0	52	20	98
17 + 600	Der.	0	3	4	8	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
17 + 625	Izq.	0	3	4	7	13	0	6	52	24	112	27	1.0	52	24	112
17 + 650	Der.	0	3	3	7	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
17 + 675	Izq.	0	3	4	5	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
17 + 700	Der.	0	5	5	6	14	0	6	56	24	98	26	1.0	56	24	98
17 + 725	Izq.	0	3	4	8	14	0	5	56	20	87	26	1.0	56	20	87
17 + 750	Der.	0	4	5	6	13	0	6	52	24	112	26	1.0	52	24	112
17 + 775	Izq.	0	3	7	9	14	0	6	56	24	98	26	1.0	56	24	98
17 + 800	Der.	0	2	5	4	14	0	6	56	24	98	27	1.0	56	24	98
17 + 825	Izq.	0	5	6	8	13	0	6	52	24	112	27	1.0	52	24	112
17 + 850	Der.	0	2	4	7	14	0	5	56	20	87	27	1.0	56	20	87
17 + 875	Izq.	0	3	8	9	14	0	6	56	24	98	25	1.0	56	24	98
17 + 900	Der.	0	3	4	6	15	0	5	60	20	78	25	1.0	60	20	78
17 + 925	Izq.	0	2	6	7	13	0	4	52	16	87	25	1.0	52	16	87
17 + 950	Der.	0	5	6	9	15	0	6	60	24	87	25	1.0	60	24	87
17 + 975	Izq.	0	3	4	5	13	0	6	52	24	112	25	1.0	52	24	112
18 + 000	Der.	0	5	6	5	14	0	5	56	20	87	25	1.0	56	20	87

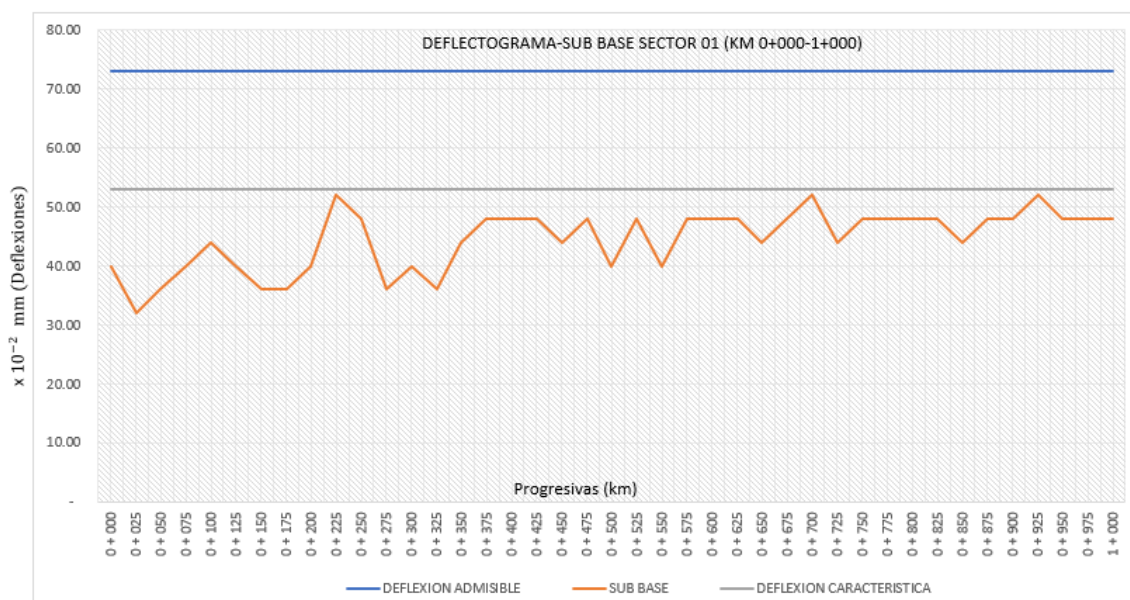
DESCRIPCION	PARAMETROS CORREGIDOS		
	Do	D25	Rc
1. <u>DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc)</u> $Dc = D + 1.645 \cdot \sigma$			
2. <u>DEFLEXION ADMISIBLE (Da)</u> $Da = 74 \text{ (0.01mm)}$			
Cantidad	N	41	41
Valor Minimo	X _{min}	44	16
Valor Maximo	X _{max}	60	28
Promedio	D	53	23
Desviación Estándar	σ	4	3
Coficiente de Variacion	Cv	8	12
Deflexion Caracteristica (0.01mm)	Dc	59	27
Deflexion Admisible (0.01mm)	Da		74
Do < Da	OK	59	< 74

Fuente: Elaboración propia

Comportamiento estructural-SUB BASE GRANULAR

Determinación del comportamiento estructural de la Sub Base granular mediante el uso de la viga Benkelman del sector 01-Calachota.

Figura 25: Deflectograma – Sub Base granular sector 01.

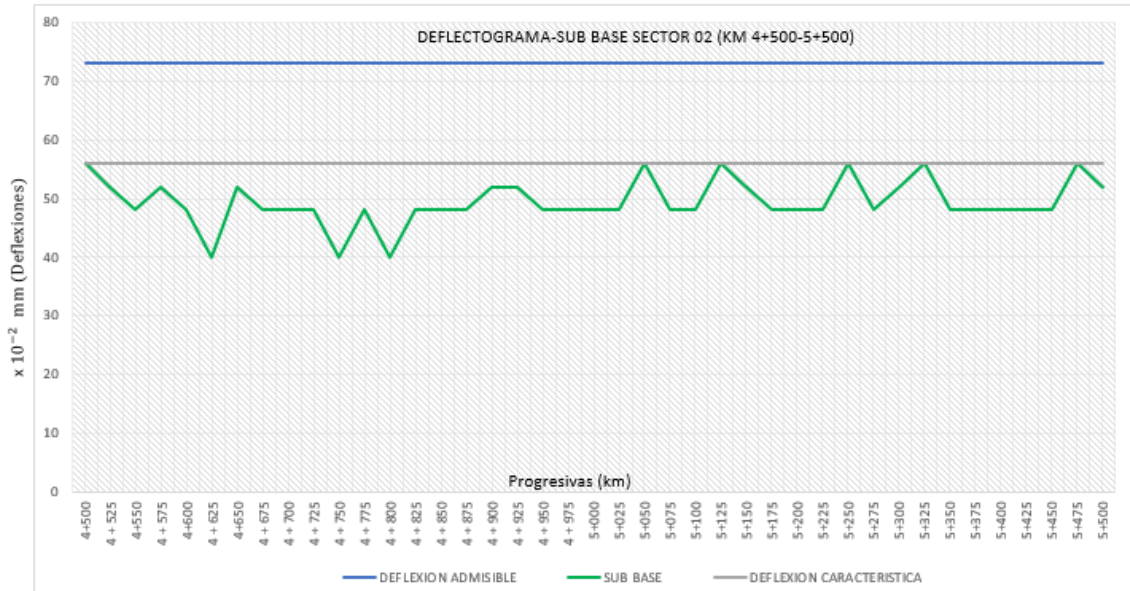


Fuente: Elaboración propia

- De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (GM-GC) y según la clasificación AASHTO en A-2-4{0). Que comprenden Grava limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 64.40%.con presencia de rocas de diámetro medio 1.00m en 60% y tiene un CBR= 13.10%
- En la figura 25 se observa que las deflexiones obtenidas en la Sub base en el Sector 01 con la Viga Benkelman varían desde 32×10^{-2} mm a 52×10^{-2} mm, cuyos resultados reflejan que las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 73×10^{-2} mm y la deflexión característica que es 53×10^{-2} mm. Dicho tramo no presenta zonas críticas, ni dificultades.

Determinación del comportamiento estructural de la Sub Base granular mediante el uso de la viga Benkelman del sector 02-Quiriman.

Figura 26: Deflectograma – Sub base granular sector 02.



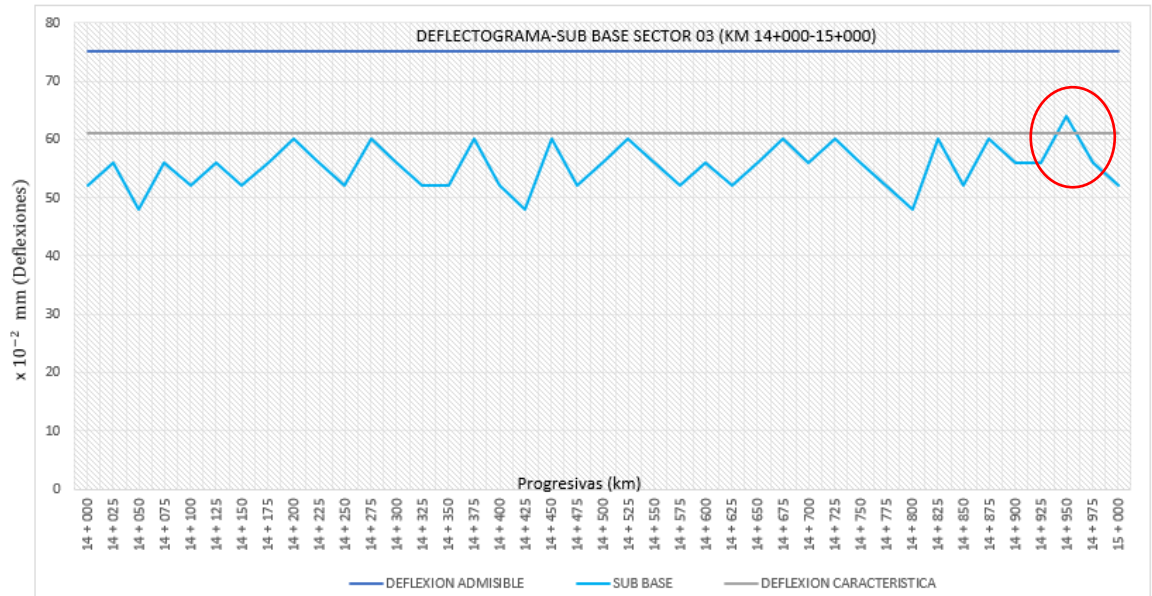
Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (GM) y según a clasificación AASHTO en A-2-4 (O). Que comprenden Grava limosa de mediana plasticidad con material granular equivalente a 66.39% y CBR= 12.90%.

En la figura 26 se observa las deflexiones obtenidas mediante la Viga Benkelman en la sub base granular del Sector 02, se observa que los datos varían desde 40×10^{-2} mm a 56×10^{-2} mm, las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 73×10^{-2} y la deflexión característica que es 56×10^{-2} mm. Dicho tramo no presenta zonas críticas, ni dificultades.

- Determinación del comportamiento estructural de la Sub Base granular mediante el uso de la viga Benkelman del sector 03-Aucampi.

Figura 27: Deflectograma – Sub base granular sector 03.



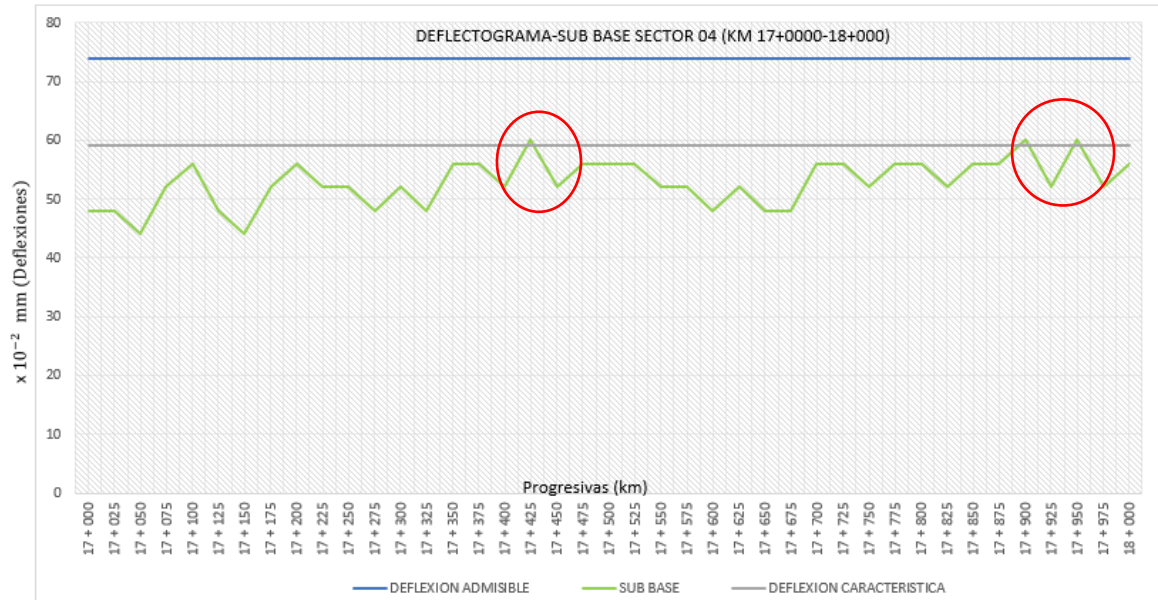
Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (ML-CL) y según a clasificación AASHTO en A-4 (4). Que comprenden Suelo limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 47.35%. Con presencia de rocas de diametro medio 0.40m, en un 20% del volumen total y CBR= 11.60%.

En la figura 27 se observa que las deflexiones obtenidas en la sub base granular en el sector 03 varían desde 48×10^{-2} mm a 64×10^{-2} mm, las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 75×10^{-2} mm, sin embargo, en el km 14+950 la deflexión es 64×10^{-2} mm supera a la deflexión característica que es 61×10^{-2} mm. Se deduce que en el punto donde supera la deflexión característica ha existido saturación de los materiales debido a la filtración de un canal pequeño adyacente, por lo que se tuvo que reparar dicho tramo reemplazando el material saturado por otro seco.

- Determinación del comportamiento estructural de la Sub Base granular mediante el uso de la viga Benkelman del sector 04-Ayauca.

Figura 28: Deflectograma – Sub base granular sector 04.

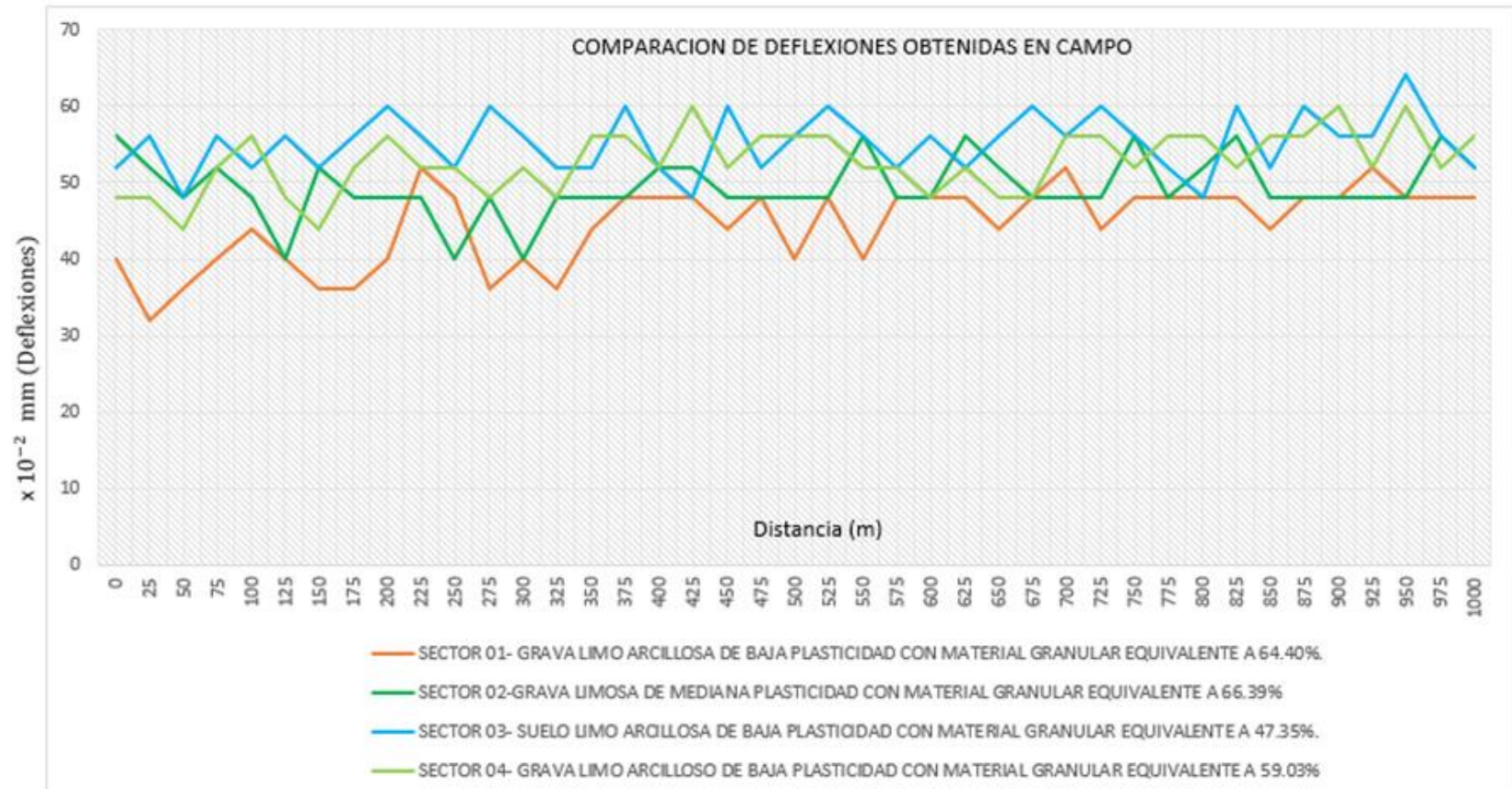


Fuente: Elaboración propia

- De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (GM-GC) y según la clasificación AASHTO en A-4 (2). Que comprenden Grava limo-arcilloso de baja plasticidad con material granular equivalente a 59.03%. Con presencia de rocas de diametro medio 0.40m, en un 10% del volumen total y CBR= 12.40%.
- En la figura 28 se observa que las deflexiones obtenidas en la sub base granular en el sector 04 varían desde 44×10^{-2} mm a 60×10^{-2} mm y que las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 74×10^{-2} mm, sin embargo, sin embargo, en el km 17+500, km 17+550 y km 17+975 donde la deflexión es 60×10^{-2} mm supera ligeramente a la deflexión característica que es 59×10^{-2} mm.

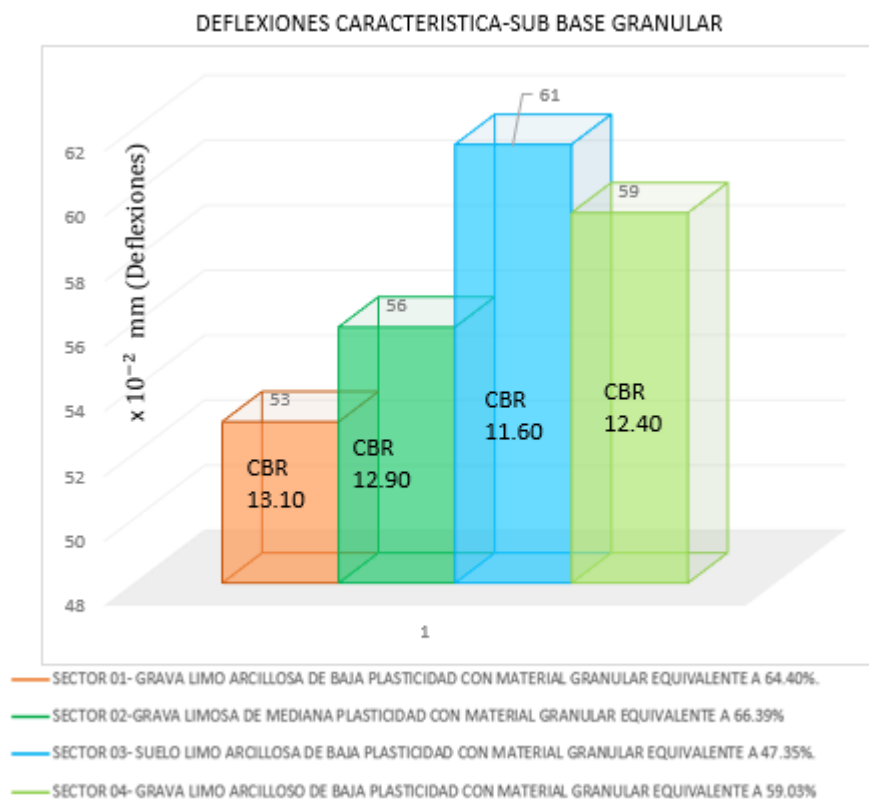
Los puntos que sobrepasan la deflexión característica fueron intervenidos y se procedió a tomar las medidas correctivas a fin de asegurar la calidad del pavimento.

Figura 29: Comparación de deflexiones en relación a los suelos conformante de la plataforma- Sub Base granular



Fuente: Elaboración propia

Figura 30: Comparación de deflexiones Característica en relación a los suelos conformante de la plataforma- Sub Base granular



■ En la Figura 29 se muestra las deflexiones obtenidas después de la conformación de la sub base granular , donde cada sector evaluado muestra una línea de distinto color, teniendo al sector 01 de color anaranjado, sector 02 color verde oscuro, sector 03 color celeste y sector 04 de color verde claro, Siendo la línea celeste la predominante por lo que indica que en el Sector 04 existe mayor deflexión en que los demás sectores ,mientras la línea de color anaranjado posee las menores deflexiones , las líneas verde oscuro y claro lo cual es el sector 02 y sector 04 respectivamente poseen deflexiones intermedias y semejantes.

■ El análisis deflectométrico en la Sub base granular determina que para el Sector 01 que posee un suelo de fundación tipo Grava limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 64.40% y CBR 13.10% posee una deflexión característica es 53×10^{-2} mm por lo que se convierte en el

sector donde las deflexiones han sido bajas a comparación de los demás sectores , mientras que en el Sector 02 cuyo suelo de fundación es grava limosa de mediana plasticidad con material granular equivalente a 66.39% y CBR 12.90 % posee una deflexión característica de 56×10^{-2} mm y sector 04 que posee un suelo de tipo grava limo-arcilloso de baja plasticidad con material granular equivalente a 59.03% y CBR 12.40 % tiene una deflexión característica de 59×10^{-2} . El sector 03 cuyo suelo de fundación es de tipo Suelo limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 47.35% y CBR 11.60% resulta ser el sector donde se da las mayores deflexiones teniendo una Deflexión característica de 61×10^{-2} mm.

Evaluación deflectométrico a nivel de Base Granular

Tabla 37: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Base granular Sector 01

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)						PARAMETROS S/C			T.amb		PARAMETROS C/C			
		1º DIAL					2º DIAL		D (0.01mm)		Rc	°C	F.C	D (0.01mm)		Rc
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do	D25	(m)			Do	D25	(m)
0 + 000	Der.	0	2	4	5	8	0	3	32	12	156	27	1.0	32	12	156
0 + 025	Izq.	0	2	2	4	7	0	3	28	12	195	27	1.0	28	12	195
0 + 050	Der.	0	1	2	5	8	0	3	32	12	156	27	1.0	32	12	156
0 + 075	Izq.	0	2	3	5	9	0	2	36	8	112	27	1.0	36	8	112
0 + 100	Der.	0	2	2	4	7	0	2	28	8	156	27	1.0	28	8	156
0 + 125	Izq.	0	1	2	5	8	0	3	32	12	156	27	1.0	32	12	156
0 + 150	Der.	0	2	3	5	9	0	2	36	8	112	27	1.0	36	8	112
0 + 175	Izq.	0	2	3	5	8	0	2	32	8	130	27	1.0	32	8	130
0 + 200	Der.	0	2	5	4	10	0	3	40	12	112	27	1.0	40	12	112
0 + 225	Izq.	0	2	4	5	8	0	2	32	8	130	27	1.0	32	8	130
0 + 250	Der.	0	1	2	2	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
0 + 275	Izq.	0	2	3	5	8	0	3	32	12	156	27	1.0	32	12	156
0 + 300	Der.	0	2	4	5	9	0	4	36	16	156	27	1.0	36	16	156
0 + 325	Izq.	0	2	2	4	8	0	3	32	12	156	27	1.0	32	12	156
0 + 350	Der.	0	2	2	3	8	0	3	32	12	156	27	1.0	32	12	156
0 + 375	Izq.	0	2	2	5	11	0	4	44	16	112	27	1.0	44	16	112
0 + 400	Der.	0	2	3	5	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
0 + 425	Izq.	0	2	3	4	8	0	3	32	12	156	27	1.0	32	12	156
0 + 450	Der.	0	2	4	6	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
0 + 475	Izq.	0	2	3	5	8	0	2	32	8	130	27	1.0	32	8	130
0 + 500	Der.	0	2	2	4	9	0	2	36	8	112	27	1.0	36	8	112
0 + 525	Izq.	0	2	3	5	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
0 + 550	Der.	0	2	2	2	9	0	2	36	8	112	27	1.0	36	8	112
0 + 575	Izq.	0	3	4	3	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
0 + 600	Der.	0	2	4	5	7	0	3	28	12	195	27	1.0	28	12	195
0 + 625	Izq.	0	2	3	4	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
0 + 650	Der.	0	2	2	6	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
0 + 675	Izq.	0	2	3	5	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
0 + 700	Der.	0	2	4	6	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
0 + 725	Izq.	0	2	3	5	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
0 + 750	Der.	0	3	4	2	8	0	4	32	16	195	27	1.0	32	16	195
0 + 775	Izq.	0	3	5	7	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
0 + 800	Der.	0	2	3	6	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
0 + 825	Izq.	0	2	5	5	9	0	4	36	16	156	27	1.0	36	16	156
0 + 850	Der.	0	2	2	3	8	0	3	32	12	156	27	1.0	32	12	156
0 + 875	Izq.	0	4	5	7	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
0 + 900	Der.	0	2	5	6	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
0 + 925	Izq.	0	2	4	7	10	0	2	40	8	98	27	1.0	40	8	98
0 + 950	Der.	0	2	4	5	11	0	4	44	16	112	27	1.0	44	16	112
0 + 975	Izq.	0	2	3	5	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
1 + 000	Der.	0	2	4	6	10	0	3	40	12	112	27	1.0	40	12	112

	DESCRIPCION	PARAMETROS CORREGIDOS				
		Do	D25	Rc		
1.	<u>DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc)</u> Dc = D + 1.645 * σ	Cantidad	N	41	41	41
		Valor Mínimo	X _{min}	28	8	98
		Valor Maximo	X _{máx}	44	16	195
		Promedio	D	36	12	137
		Desviación Estándar	σ	4	3	23
		Coefficiente de Variación	Cv	12	24	17
	Deflexion Carasteristica (0.01mm)	Dc		43	17	176
	Deflexion Admisible (0.01mm)	Da			62	
	Do < Da	OK		43	<	62

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Base granular Sector 02

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)							PARAMETROS S/C			T.amb		PARAMETROS C/C		
		1º DIAL					2º DIAL		D (0.01mm)		Rc	(°C)	F.C	D (0.01mm)		Rc
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do	D25	(m)			Do	D25	(m)
4+500	Izq.	0	2	4	6	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
4 + 525	Der.	0	3	4	5	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130
4+550	Izq.	0	2	2	3	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
4 + 575	Der.	0	2	3	5	11	0	4	44	16	112	27	1.0	44	16	112
4+600	Izq.	0	2	4	5	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
4 + 625	Der.	0	2	3	5	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
4+650	Izq.	0	2	4	6	11	0	4	44	16	112	27	1.0	44	16	112
4 + 675	Der.	0	3	5	5	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
4 + 700	Izq.	0	3	5	5	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
4 + 725	Der.	0	2	3	5	9	0	4	36	16	156	27	1.0	36	16	156
4 + 750	Izq.	0	2	3	4	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
4 + 775	Der.	0	2	4	5	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
4 + 800	Izq.	0	2	4	6	8	0	3	32	12	156	27	1.0	32	12	156
4 + 825	Der.	0	2	5	7	9	0	4	36	16	156	27	1.0	36	16	156
4 + 850	Izq.	0	2	3	5	10	0	3	40	12	112	27	1.0	40	12	112
4 + 875	Der.	0	2	3	4	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
4 + 900	Izq.	0	4	5	7	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130
4 + 925	Der.	0	3	5	6	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
4 + 950	Izq.	0	4	5	7	10	0	3	40	12	112	27	1.0	40	12	112
4 + 975	Der.	0	3	4	5	10	0	3	40	12	112	27	1.0	40	12	112
5+000	Der.	0	3	5	7	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
5+025	Izq.	0	2	5	7	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
5+050	Der.	0	3	4	6	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
5+075	Izq.	0	3	5	7	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
5+100	Der.	0	2	3	5	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
5+125	Izq.	0	2	4	6	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
5+150	Der.	0	4	5	7	11	0	4	44	16	112	27	1.0	44	16	112
5+175	Izq.	0	5	3	4	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130
5+200	Der.	0	2	3	5	9	0	3	36	12	130	27	1.0	36	12	130
5+225	Izq.	0	3	5	7	9	0	4	36	16	156	27	1.0	36	16	156
5+250	Der.	0	2	5	6	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
5+275	Izq.	0	4	4	5	9	0	6	36	24	260	27	1.0	36	24	260
5+300	Der.	0	3	5	6	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
5+325	Izq.	0	4	3	2	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
5+350	Der.	0	3	5	6	10	0	5	40	20	156	27	1.0	40	20	156
5+375	Izq.	0	4	5	5	9	0	5	36	20	195	27	1.0	36	20	195
5+400	Der.	0	3	5	6	10	0	5	40	20	156	27	1.0	40	20	156
5+425	Izq.	0	2	4	5	9	0	4	36	16	156	27	1.0	36	16	156
5+450	Der.	0	3	3	6	9	0	5	36	20	195	27	1.0	36	20	195
5+475	Izq.	0	2	4	5	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
5+500	Der.	0	4	5	7	12	0	4	48	16	98	27	1.0	48	16	98

DESCRIPCION	PARAMETROS CORREGIDOS		
	Do	D25	Rc
1. <u>DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc)</u> $D_c = D + 1.645 \cdot \sigma$	Cantidad	N	41 41 41
	Valor Minimo	X _{min}	32 12 98
	Valor Maximo	X _{máx}	48 24 260
	Promedio	D	40 16 135
	Desviacion Estándar	σ	5 4 29
	Coefficiente de Variacion	C _v	12 22 22
	Deflexion Carasteristica (0.01mm)	D _c	48 22 183
	Deflexion Admisible (0.01mm)	D _a	62
	Do < Da	OK	48 < 62

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Base granular Sector 03

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)							PARAMETROS S/C			T. amb		PARAMETROS C/C		
		1° DIAL					2° DIAL		D (0.01mm)		Rc	(°C)	F.C	D (0.01mm)		Rc
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do	D25	(m)			Do	D25	(m)
14 + 000	Izq.	0	2	5	6	10	0	5	40	20	156	27	1.0	40	20	156
14 + 025	Der.	0	2	3	5	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
14 + 050	Izq.	0	2	3	7	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130
14 + 075	Der.	0	2	4	7	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
14 + 100	Izq.	0	1	3	5	10	0	6	40	24	195	27	1.0	40	24	195
14 + 125	Der.	0	2	3	6	13	0	6	52	24	112	27	1.0	52	24	112
14 + 150	Izq.	0	2	4	6	11	0	6	44	24	156	27	1.0	44	24	156
14 + 175	Der.	0	2	4	7	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
14 + 200	Izq.	0	2	6	5	13	0	5	52	20	98	27	1.0	52	20	98
14 + 225	Der.	0	2	5	6	11	0	6	44	24	156	27	1.0	44	24	156
14 + 250	Izq.	0	1	2	3	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
14 + 275	Der.	0	2	2	3	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
14 + 300	Izq.	0	2	5	4	11	0	6	44	24	156	27	1.0	44	24	156
14 + 325	Der.	0	2	3	3	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
14 + 350	Izq.	0	2	2	3	11	0	6	44	24	156	27	1.0	44	24	156
14 + 375	Der.	0	2	2	4	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
14 + 400	Izq.	0	2	2	4	14	0	5	56	20	87	27	1.0	56	20	87
14 + 425	Der.	0	1	6	4	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
14 + 450	Izq.	0	2	5	5	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
14 + 475	Der.	0	2	2	3	10	0	6	40	24	195	27	1.0	40	24	195
14 + 500	Der.	0	2	3	5	12	0	7	48	28	156	27	1.0	48	28	156
14 + 525	Izq.	0	2	4	6	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
14 + 550	Der.	0	2	3	3	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
14 + 575	Izq.	0	3	5	5	13	0	6	52	24	112	27	1.0	52	24	112
14 + 600	Der.	0	2	5	5	12	0	7	48	28	156	27	1.0	48	28	156
14 + 625	Izq.	0	2	3	5	12	0	8	48	32	195	27	1.0	48	32	195
14 + 650	Der.	0	2	2	3	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
14 + 675	Izq.	0	2	2	4	13	0	5	52	20	98	27	1.0	52	20	98
14 + 700	Der.	0	3	4	5	12	0	4	48	16	98	27	1.0	48	16	98
14 + 725	Izq.	0	2	3	6	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130
14 + 750	Der.	0	3	4	3	12	0	4	48	16	98	27	1.0	48	16	98
14 + 775	Izq.	0	2	4	7	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130
14 + 800	Der.	0	2	4	3	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130
14 + 825	Izq.	0	2	5	6	11	0	4	44	16	112	27	1.0	44	16	112
14 + 850	Der.	0	2	3	3	12	0	3	48	12	87	27	1.0	48	12	87
14 + 875	Izq.	0	1	4	5	13	0	4	52	16	87	27	1.0	52	16	87
14 + 900	Der.	0	3	3	5	12	0	7	48	28	156	27	1.0	48	28	156
14 + 925	Izq.	0	2	5	4	14	0	6	56	24	98	27	1.0	56	24	98
14 + 950	Der.	0	2	5	7	12	0	5	48	20	112	27	1.0	48	20	112
14 + 975	Izq.	0	2	3	4	10	0	6	40	24	195	27	1.0	40	24	195
15 + 000	Der.	0	2	5	4	11	0	7	44	28	195	27	1.0	44	28	195

1.	DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc)	DESCRIPCION			PARAMETROS CORREGIDOS		
		Do	D25	Rc	Do	D25	Rc
	$D_c = D + 1.645 \cdot \sigma$	Cantidad	N	41	41	41	
		Valor Minimo	X _{min}	40	12	87	
		Valor Maximo	X _{máx}	56	32	195	
		Promedio	D	47	22	133	
		Desviacion Estándar	σ	4	4	31	
		Coefficiente de Variacion	Cv	8	17	24	
		Deflexion Caracteristica (0.01mm)	D _c	53	29	185	
		Deflexion Admisible (0.01mm)	D _a		65		
		Do < Da	OK	53	<	65	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de Base granular Sector 04

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)								PARAMETROS S/C			T.amb		PARAMETROS C/C		
		1º DIAL					2º DIAL			D (0.01mm)		Rc	(°C)	F.C	D (0.01mm)		Rc
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do	D25	(m)	Do			D25	(m)	
17 + 000	Izq.	0	3	5	6	11	0	6	44	24	156	27	1.0	44	24	156	
17 + 025	Der.	0	2	3	5	10	0	5	40	20	156	27	1.0	40	20	156	
17 + 050	Izq.	0	3	3	7	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130	
17 + 075	Der.	0	2	4	7	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130	
17 + 100	Izq.	0	3	3	5	11	0	6	44	24	156	27	1.0	44	24	156	
17 + 125	Der.	0	2	3	6	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130	
17 + 150	Izq.	0	4	4	6	9	0	4	36	16	156	27	1.0	36	16	156	
17 + 175	Der.	0	3	4	7	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130	
17 + 200	Izq.	0	4	6	5	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130	
17 + 225	Der.	0	2	5	6	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130	
17 + 250	Izq.	0	4	2	3	10	0	6	40	24	195	27	1.0	40	24	195	
17 + 275	Der.	0	5	4	3	9	0	5	36	20	195	27	1.0	36	20	195	
17 + 300	Izq.	0	4	5	6	10	0	6	40	24	195	27	1.0	40	24	195	
17 + 325	Der.	0	3	3	3	9	0	5	36	20	195	27	1.0	36	20	195	
17 + 350	Izq.	0	2	2	5	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130	
17 + 375	Der.	0	3	3	2	11	0	6	44	24	156	27	1.0	44	24	156	
17 + 400	Izq.	0	2	3	2	10	0	5	40	20	156	27	1.0	40	20	156	
17 + 425	Der.	0	3	5	4	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130	
17 + 450	Izq.	0	4	5	2	10	0	5	40	20	156	27	1.0	40	20	156	
17 + 475	Der.	0	3	4	5	11	0	6	44	24	156	27	1.0	44	24	156	
17 + 500	Der.	0	3	3	5	13	0	6	52	24	112	27	1.0	52	24	112	
17 + 525	Izq.	0	4	4	6	11	0	6	44	24	156	27	1.0	44	24	156	
17 + 550	Der.	0	2	4	5	10	0	4	40	16	130	27	1.0	40	16	130	
17 + 575	Izq.	0	5	5	4	10	0	5	40	20	156	27	1.0	40	20	156	
17 + 600	Der.	0	2	3	6	9	0	5	36	20	195	27	1.0	36	20	195	
17 + 625	Izq.	0	2	3	5	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130	
17 + 650	Der.	0	2	2	5	11	0	6	44	24	156	27	1.0	44	24	156	
17 + 675	Izq.	0	2	3	4	12	0	7	48	28	156	27	1.0	48	28	156	
17 + 700	Der.	0	4	4	5	11	0	6	44	24	156	27	1.0	44	24	156	
17 + 725	Izq.	0	2	3	6	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130	
17 + 750	Der.	0	3	4	5	10	0	6	40	24	195	27	1.0	40	24	195	
17 + 775	Izq.	0	2	5	7	11	0	7	44	28	195	27	1.0	44	28	195	
17 + 800	Der.	0	2	4	3	11	0	6	44	24	156	27	1.0	44	24	156	
17 + 825	Izq.	0	4	5	6	10	0	6	40	24	195	27	1.0	40	24	195	
17 + 850	Der.	0	2	3	5	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130	
17 + 875	Izq.	0	2	6	7	11	0	6	44	24	156	27	1.0	44	24	156	
17 + 900	Der.	0	2	3	5	12	0	7	48	28	156	27	1.0	48	28	156	
17 + 925	Izq.	0	2	5	5	10	0	5	40	20	156	27	1.0	40	20	156	
17 + 950	Der.	0	4	5	7	12	0	6	48	24	130	27	1.0	48	24	130	
17 + 975	Izq.	0	2	3	4	10	0	6	40	24	195	27	1.0	40	24	195	
18 + 000	Der.	0	4	5	4	11	0	5	44	20	130	27	1.0	44	20	130	

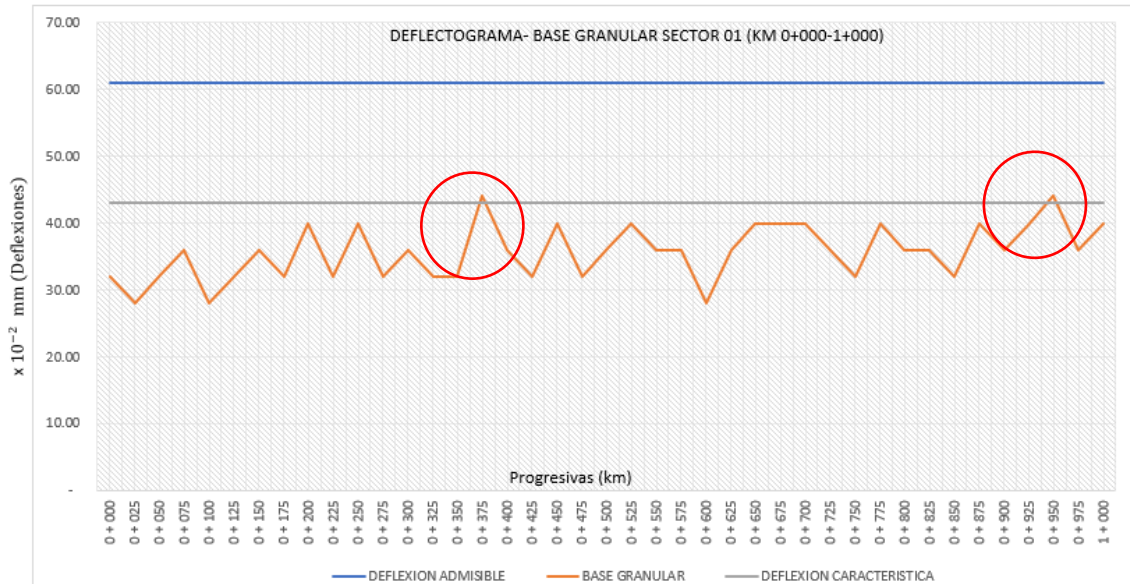
<p>NOTA:</p> <p>1. <u>DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc)</u></p> <p style="text-align: center;">$D_c = D + 1.645 \cdot \sigma$</p> <p>2. <u>DEFLEXION ADMISIBLE (Da)</u></p> <p style="text-align: center;">$D_a = 64 \text{ (0.01mm)}$</p>	DESCRIPCION		PARAMETROS CORREGIDOS		
	Do	D25	Rc		
	Cantidad	N	41	41	41
	Valor Minimo	X _{min}	36	16	112
	Valor Maximo	X _{max}	52	28	195
	Promedio	D	43	22	155
	Desviacion Estándar	σ	4	3	25
	Coefficiente de Variacion	Cv	9	15	16
	Deflexion Carasteristica (0.01mm)	Dc	49	27	196
	Deflexion Admisible (0.01mm)	Da		64	
Do < Da	OK	49	<	64	

Fuente: Elaboración propia

Comportamiento estructural- BASE GRANULAR

Determinación del comportamiento estructural de la Base granular mediante el uso de la viga Benkelman del sector 01-Calachota.

Figura 31: Deflectograma – Base granular sector 01



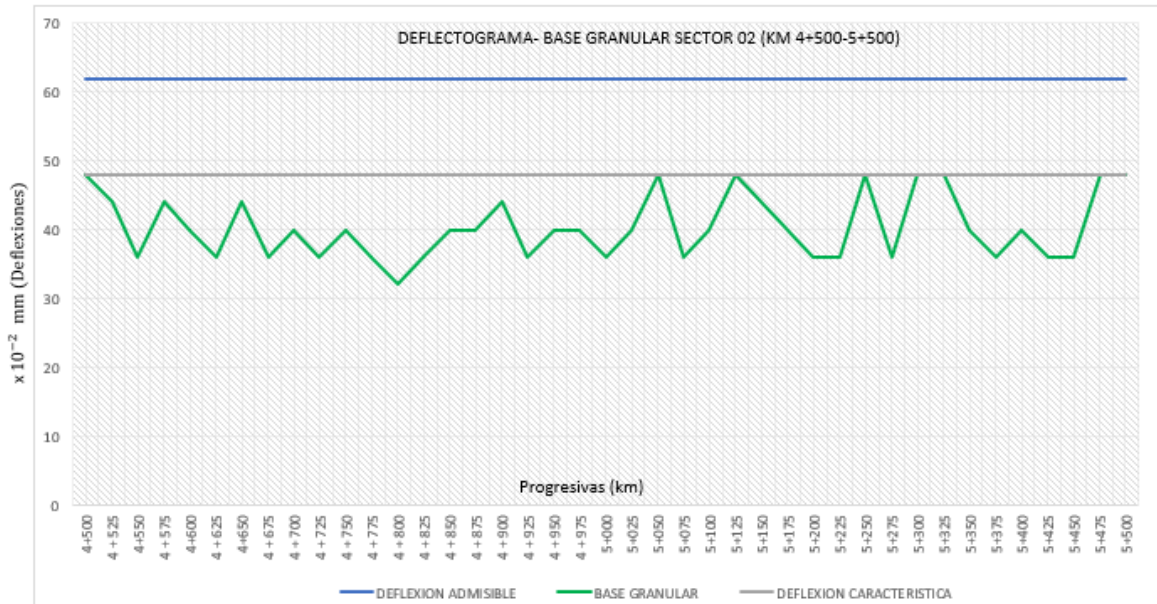
Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (GM-GC) y según la clasificación AASHTO en A-2-4{0). Que comprenden Grava limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 64.40%.con presencia de rocas de diámetro medio 1.00m en 60% y tiene un CBR= 13.10%.

En la figura 31 se observa que las deflexiones de la Base granular del Sector 01 obtenidas con la Viga Benkelman, los resultados varían desde 28×10^{-2} mm a 44×10^{-2} , asimismo se reflejan que las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 61×10^{-2} mm, no obstante, se observa que en dos tramos del km 0+375 y km 0+950 la deflexión es 44×10^{-2} mm por lo que supera a la deflexión característica que es 43×10^{-2} mm, nos hace deducir que los tramos donde existe una ligera superación de la deflexión característica, haya habido una mala conformación de la base granular por lo que se procedió a tomar medidas correctivas.

Determinación del comportamiento estructural de la Base granular mediante el uso de la viga Benkelman del sector 02-Quiriman.

Figura 32: Deflectograma – Base granular sector 02.



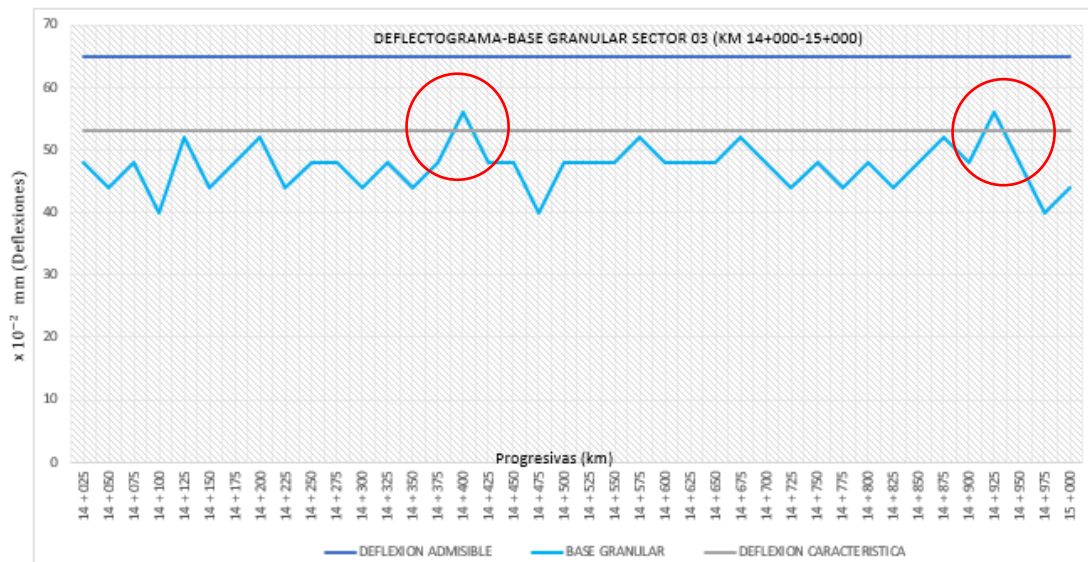
Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (GM) y según la clasificación AASHTO en A-2-4 (O). Que comprenden Grava limosa de mediana plasticidad con material granular equivalente a 66.39% y CBR= 12.90%.

En la figura 32 se observa las deflexiones obtenidas mediante la Viga Benkelman en la base granular se observa que los datos varían desde 32×10^{-2} mm a 48×10^{-2} mm, las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 62×10^{-2} y la deflexión característica que es 48×10^{-2} mm.

Determinación del comportamiento estructural de la Base granular mediante el uso de la viga Benkelman del sector 03-Aucampi.

Figura 33: Deflectograma – Base granular sector 03.



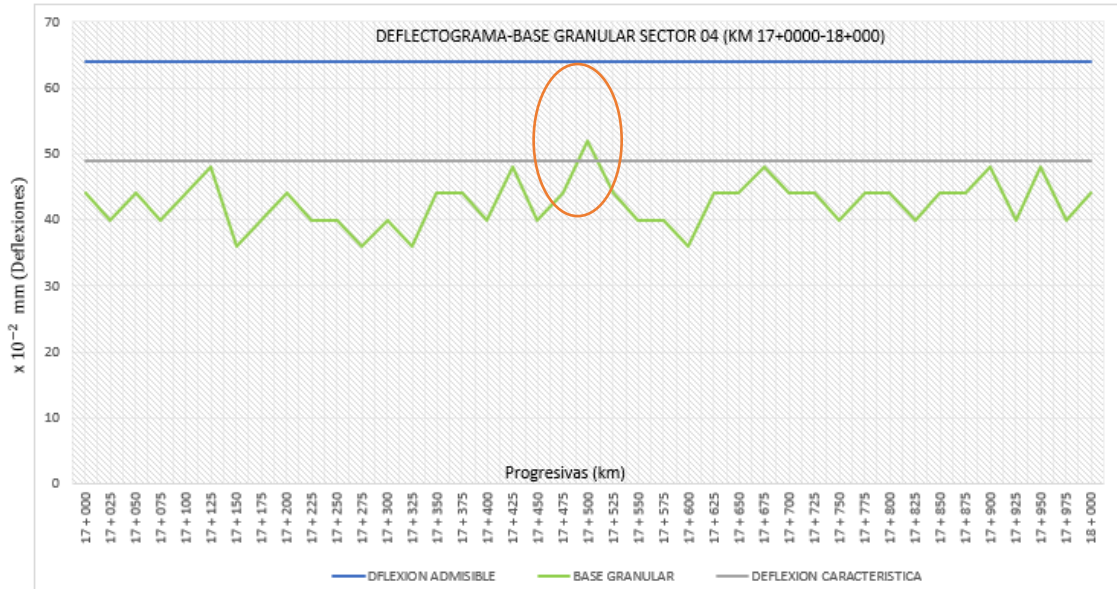
Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (ML-CL) y según a clasificación AASHTO en A-4 (4). Que comprenden Suelo limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 47.35%. Con presencia de rocas de diámetro medio 0.40m, en un 20% del volumen total y CBR= 11.60%.

En la figura 33 se observa que las deflexiones obtenidas en la base granular en el sector 03 varían desde 40×10^{-2} mm a 56×10^{-2} mm, las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 65×10^{-2} mm, sin embargo, en el km 14+400 y km 14+925 la deflexión es 56×10^{-2} mm, supera a la deflexión característica que es 53×10^{-2} mm, donde verificando se obtuvo que dicho tramo ha tenido una mala conformación de la base granular por lo que se procedió a tomar medidas correctivas.

Determinación del comportamiento estructural de la Base granular mediante el uso de la viga Benkelman del sector 04-Ayauca.

Figura 34: Deflectograma – Sub base granular sector 04.

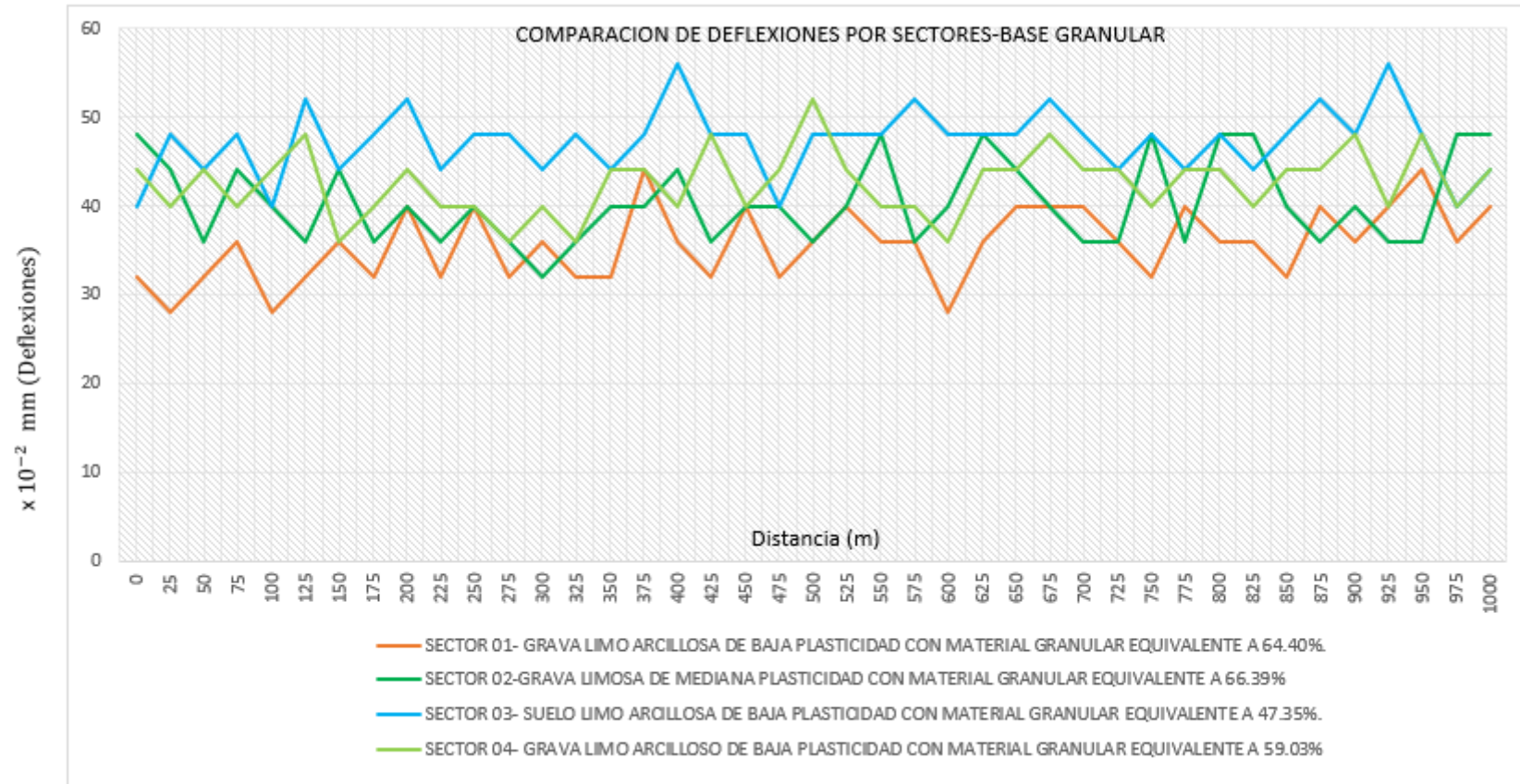


Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasificó el suelo por el sistema unificado en (GM-GC) y según a clasificación AASHTO en A-4 (2). Que comprenden Grava limo-arcilloso de baja plasticidad con material granular equivalente a 59.03%. Con presencia de rocas de diámetro medio 0.40m, en un 10% del volumen total y CBR= 12.40%.

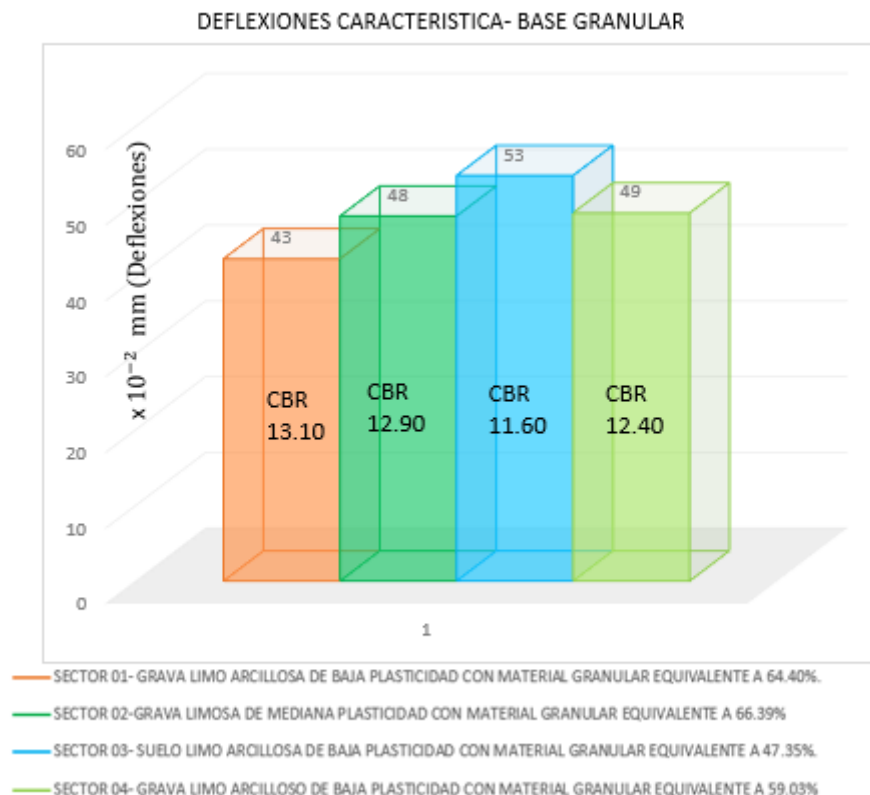
En la figura 34 se observa que las deflexiones obtenidas en la base granular en el sector 04 varían desde 36×10^{-2} mm a 52×10^{-2} mm y que las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 64×10^{-2} mm, sin embargo, en el km 17+500 donde la deflexión es 52×10^{-2} mm supera a la deflexión característica que es 49×10^{-2} mm, se procedió a evaluar dicho tramo y realizar las medidas correctivas para asegurar la calidad del pavimento.

Figura 35: Comparación de deflexiones en relación a los suelos conformante de la plataforma- Base granular



Fuente: Elaboración propia

Figura 36: Comparación de deflexiones característica en relación a los suelos conformante de la plataforma- Base granular



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 35 se muestra las deflexiones obtenidas después de la conformación de la base granular, donde cada sector evaluado muestra una línea de distinto color, teniendo al sector 01 de color anaranjado, sector 02 color verde oscuro, sector 03 color celeste y sector 04 de color verde claro, siendo que la línea anaranjado está por debajo de todas las líneas lo que representa que en el sector 01 las deflexiones son bajas, a comparación de la línea celeste que está por encima de todas las demás líneas lo que indica que las deflexiones en el sector 03 son más altas que los demás sectores.

El análisis deflectométrico en la base granular determina que para el Sector 01 que posee un suelo de fundación tipo Grava limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 64.40% y CBR 13.10% posee una deflexión característica es 43×10^{-2} mm por lo que se convierte en el

sector donde las deflexiones han sido bajas a comparación de los demás sectores , mientras que en el Sector 02 cuyo suelo de fundación es grava limosa de mediana plasticidad con material granular equivalente a 66.39% posee una deflexión característica de 48×10^{-2} mm y sector 04 que posee un suelo de tipo grava limo-arcilloso de baja plasticidad con material granular equivalente a 59.03% tiene una deflexión característica de 49×10^{-2} . El sector 03 cuyo suelo de fundación es de tipo Suelo limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 47.35% resulta ser el sector donde se da las mayores deflexiones teniendo una Deflexión característica de 53×10^{-2} mm.

Se determina que tras evaluar la deflectometría en las capas de sub base granular de los sectores, estas están interactuando en relación a los suelos conformantes de la plataforma, siendo que las mayores deflexiones se dan en el sector 03 cuyo valor de CBR es 11.60% y las menores deflexiones se dan en el sector 01 que posee un valor de CBR de 13.10 %.

Evaluación deflectométrico a nivel de Carpeta Asfáltica

Tabla 41: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de carpeta asfáltica Sector 01

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)										PARAMETROS S/C		T.amb Asfalto (°C)	Espesor R(cm)	PARAMETROS DE EVALUACION		Temp.por correccion asfalto	Corregido		Rc (m)
		1° DIAL					2° DIAL					D (0.01mm)				Do	D25		Do	D25	
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do	D25	Rc (m)										
0 + 000	Der.	0	1	3	3	5	0	2	20	8	260	32	5.0	20	8	0.943	19	8	260		
0 + 025	Izq.	0	1	2	3	4	0	2	16	8	391	32	5.0	16	8	0.943	15	8	391		
0 + 050	Der.	0	1	2	4	5	0	2	20	8	260	32	5.0	20	8	0.943	19	8	260		
0 + 075	Izq.	0	1	2	4	6	0	2	24	8	195	32	5.0	24	8	0.943	23	8	195		
0 + 100	Der.	0	1	2	3	4	0	2	16	8	391	32	5.0	16	8	0.943	15	8	391		
0 + 125	Izq.	0	1	2	3	5	0	2	20	8	260	32	5.0	20	8	0.943	19	8	260		
0 + 150	Der.	0	1	2	3	4	0	2	16	8	391	32	5.0	16	8	0.943	15	8	391		
0 + 175	Izq.	0	1	2	4	4	0	2	16	8	391	32	5.0	16	8	0.943	15	8	391		
0 + 200	Der.	0	1	3	3	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
0 + 225	Izq.	0	1	3	3	6	0	2	24	8	195	32	5.0	24	8	0.943	23	8	195		
0 + 250	Der.	0	1	1	2	6	0	3	24	12	260	32	5.0	24	12	0.943	23	11	260		
0 + 275	Izq.	0	1	2	3	5	0	2	20	8	260	32	5.0	20	8	0.943	19	8	260		
0 + 300	Der.	0	2	3	4	6	0	3	24	12	260	32	5.0	24	12	0.943	23	11	260		
0 + 325	Izq.	0	1	2	3	6	0	2	24	8	195	32	5.0	24	8	0.943	23	8	195		
0 + 350	Der.	0	1	2	2	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
0 + 375	Izq.	0	1	2	3	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195		
0 + 400	Der.	0	1	2	3	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
0 + 425	Izq.	0	1	2	3	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
0 + 450	Der.	0	2	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
0 + 475	Izq.	0	1	2	3	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
0 + 500	Der.	0	2	1	3	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
0 + 525	Izq.	0	2	2	3	6	0	3	24	12	260	32	5.0	24	12	0.943	23	11	260		
0 + 550	Der.	0	2	1	2	6	0	2	24	8	195	32	5.0	24	8	0.943	23	8	195		
0 + 575	Izq.	0	2	3	2	6	0	2	24	8	195	32	5.0	24	8	0.943	23	8	195		
0 + 600	Der.	0	2	3	4	6	0	2	24	8	195	32	5.0	24	8	0.943	23	8	195		
0 + 625	Izq.	0	2	2	3	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
0 + 650	Der.	0	1	2	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
0 + 675	Izq.	0	1	2	4	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195		
0 + 700	Der.	0	2	3	4	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195		
0 + 725	Izq.	0	2	2	3	6	0	2	24	8	195	32	5.0	24	8	0.943	23	8	195		
0 + 750	Der.	0	2	3	2	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195		
0 + 775	Izq.	0	2	4	5	6	0	2	24	8	195	32	5.0	24	8	0.943	23	8	195		
0 + 800	Der.	0	1	2	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
0 + 825	Izq.	0	1	3	4	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195		
0 + 850	Der.	0	1	2	2	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
0 + 875	Izq.	0	3	4	5	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195		
0 + 900	Der.	0	2	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
0 + 925	Izq.	0	1	3	5	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
0 + 950	Der.	0	2	3	4	6	0	3	24	12	260	32	5.0	24	12	0.943	23	11	260		
0 + 975	Izq.	0	2	2	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		
1 + 000	Der.	0	2	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156		

1.	DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc) $D_c = D + 1.645 \cdot \sigma$	DESCRIPCION			PARAMETROS CORREGIDOS		
		Cantidad	N	Do	D25	Rc	
2.	DEFLEXION ADMISIBLE (Da) $D_a = 47 \text{ (0.01mm)}$	Valor Minimo	X_{min}	15	8	156	
		Valor Maximo	X_{max}	26	11	391	
		Promedio	D	23	9	213	
3.	CORRECCION POR TEMPERATURA $D_c(20^\circ C) = \frac{D_c(T)}{1 + 8 \times 10^{-4} h(T - 20)}$	Desviacion Estándar	σ	4	1	71	
		Coficiente de Variacion	C_v	15	15	33	
		Deflexion Carasteristica (0.01mm)	D_c	29	11	329	
		Deflexion Admisible (0.01mm)	D_a		47		
		Do < Da	OK	29	<	47	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de carpeta asfáltica Sector 02

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)						PARAMETROS S/C			T.amb Asfalto (°C)	Espesor R(cm)	PARAMETROS DE EVALUACION		Temp.por correccion	Corregido			
		1° DIAL			2° DIAL			D (0.01mm)		Rc (m)			Do	D25		asfalto	Do	D25	Rc(m)
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do						D25				
4 + 500	Izq.	0	2	3	4	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
4 + 525	Der.	0	2	3	4	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
4 + 550	Izq.	0	1	2	2	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
4 + 575	Der.	0	2	2	3	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
4 + 600	Izq.	0	2	3	4	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
4 + 625	Der.	0	1	2	3	6	0	2	24	8	195	32	5.0	24	8	0.943	23	8	195
4 + 650	Izq.	0	1	3	4	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
4 + 675	Der.	0	2	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
4 + 700	Izq.	0	2	3	4	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
4 + 725	Der.	0	2	2	3	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
4 + 750	Izq.	0	1	2	3	6	0	3	24	12	260	32	5.0	24	12	0.943	23	11	260
4 + 775	Der.	0	2	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
4 + 800	Izq.	0	2	3	4	6	0	2	24	8	195	32	5.0	24	8	0.943	23	8	195
4 + 825	Der.	0	2	3	5	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
4 + 850	Izq.	0	1	2	3	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
4 + 875	Der.	0	2	2	3	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
4 + 900	Izq.	0	3	4	5	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
4 + 925	Der.	0	2	3	4	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
4 + 950	Izq.	0	3	3	5	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
4 + 975	Der.	0	2	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
5 + 000	Der.	0	2	3	5	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
5 + 025	Izq.	0	2	4	5	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
5 + 050	Der.	0	2	3	4	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
5 + 075	Izq.	0	2	3	5	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
5 + 100	Der.	0	2	2	4	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
5 + 125	Izq.	0	2	3	4	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
5 + 150	Der.	0	3	4	5	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
5 + 175	Izq.	0	3	2	3	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
5 + 200	Der.	0	2	2	3	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
5 + 225	Izq.	0	2	3	5	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
5 + 250	Der.	0	2	3	4	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
5 + 275	Izq.	0	3	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
5 + 300	Der.	0	2	3	4	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
5 + 325	Izq.	0	3	2	2	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
5 + 350	Der.	0	2	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
5 + 375	Izq.	0	3	3	4	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
5 + 400	Der.	0	2	4	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
5 + 425	Izq.	0	2	3	4	6	0	2	24	8	195	32	5.0	24	8	0.943	23	8	195
5 + 450	Der.	0	2	2	4	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
5 + 475	Izq.	0	2	3	4	6	0	3	24	12	260	32	5.0	24	12	0.943	23	11	260
5 + 500	Der.	0	3	4	5	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156

1.	DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc) $D_c = D + 1.645 \cdot \sigma$	DESCRIPCION			PARAMETROS CORREGIDOS		
		Cantidad	N		Do	D25	Rc
2.	DEFLEXION ADMISIBLE (Da) $D_a = 47 \text{ (0.01mm)}$	Valor Mínimo	X_{min}		23	8	130
		Valor Máximo	X_{max}		30	11	260
		Promedio	D		27	9	172
		Desviación Estándar	σ		2	2	30
3.	CORRECCION POR TEMPERATURA $D_c(20^\circ C) = \frac{D_c(T)}{1 + 8 \cdot 10^{-4} \cdot h(T - 20)}$	Coefficiente de Variación	C_v		8	16	17
		Deflexion Característica (0.01mm)	D_c		30	12	222
		Deflexion Admisible (0.01mm)	D_a			47	
		Do < Da	OK		30	<	47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de carpeta asfáltica Sector 03

PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)						PARAMETROS S/C		T.amb Asfalto (°C)	Espesor R(cm)	PARAMETROS DE EVALUACION		Temp. por correccion asfalto	Corregido				
		1° DIAL			2° DIAL			D (0.01mm)				Rc (m)	Do		D25	Do	D25	Rc(m)	
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do										D25
14 + 000	Izq.	0	2	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
14 + 025	Der.	0	1	2	3	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
14 + 050	Izq.	0	1	2	5	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
14 + 075	Der.	0	1	3	5	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
14 + 100	Izq.	0	1	2	3	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
14 + 125	Der.	0	2	2	4	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
14 + 150	Izq.	0	2	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
14 + 175	Der.	0	2	3	5	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
14 + 200	Izq.	0	2	4	3	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
14 + 225	Der.	0	1	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
14 + 250	Izq.	0	1	2	2	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
14 + 275	Der.	0	2	2	2	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
14 + 300	Izq.	0	2	3	3	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
14 + 325	Der.	0	2	2	2	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
14 + 350	Izq.	0	1	2	2	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
14 + 375	Der.	0	1	2	3	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
14 + 400	Izq.	0	2	2	3	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
14 + 425	Der.	0	1	4	3	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
14 + 450	Izq.	0	2	3	4	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
14 + 475	Der.	0	1	2	2	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
14 + 500	Der.	0	2	2	3	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
14 + 525	Izq.	0	2	3	4	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
14 + 550	Der.	0	2	2	2	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
14 + 575	Izq.	0	2	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
14 + 600	Der.	0	2	3	4	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
14 + 625	Izq.	0	2	2	3	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
14 + 650	Der.	0	2	2	2	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
14 + 675	Izq.	0	2	2	3	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
14 + 700	Der.	0	2	3	3	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
14 + 725	Izq.	0	1	2	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
14 + 750	Der.	0	2	3	2	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
14 + 775	Izq.	0	2	3	5	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
14 + 800	Der.	0	2	3	2	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
14 + 825	Izq.	0	1	3	4	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
14 + 850	Der.	0	1	2	2	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
14 + 875	Izq.	0	1	3	3	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
14 + 900	Der.	0	2	2	3	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
14 + 925	Izq.	0	1	3	3	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
14 + 950	Der.	0	1	3	5	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
14 + 975	Izq.	0	2	2	3	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
15 + 000	Der.	0	2	3	3	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156

1.	DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc) $D_c = D + 1.645 \cdot \sigma$	DESCRIPCION		PARAMETROS CORREGIDOS		
		Cantidad	N	Do	D25	Rc
2.	DEFLEXION ADMISIBLE (Da) $D_a = 47 \text{ (0.01mm)}$	Valor Mínimo	X_{min}	26	8	130
		Valor Máximo	X_{max}	30	11	195
3.	CORRECCION POR TEMPERATURA $D_c(20^\circ C) = \frac{D_c(T)}{1 + 8 \times 10^{-4}(T - 20)}$	Promedio	D	28	9	151
		Desviación Estándar	σ	2	1	18
		Coefficiente de Variación	Cv	7	16	12
		Deflexion Característica (0.01mm)	Dc	32	11	180
		Deflexion Admisible (0.01mm)	Da		47	
Do < Da		OK		32	<	47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44: Lecturas de deflexión con viga Benkelman a nivel de carpeta asfáltica Sector 04

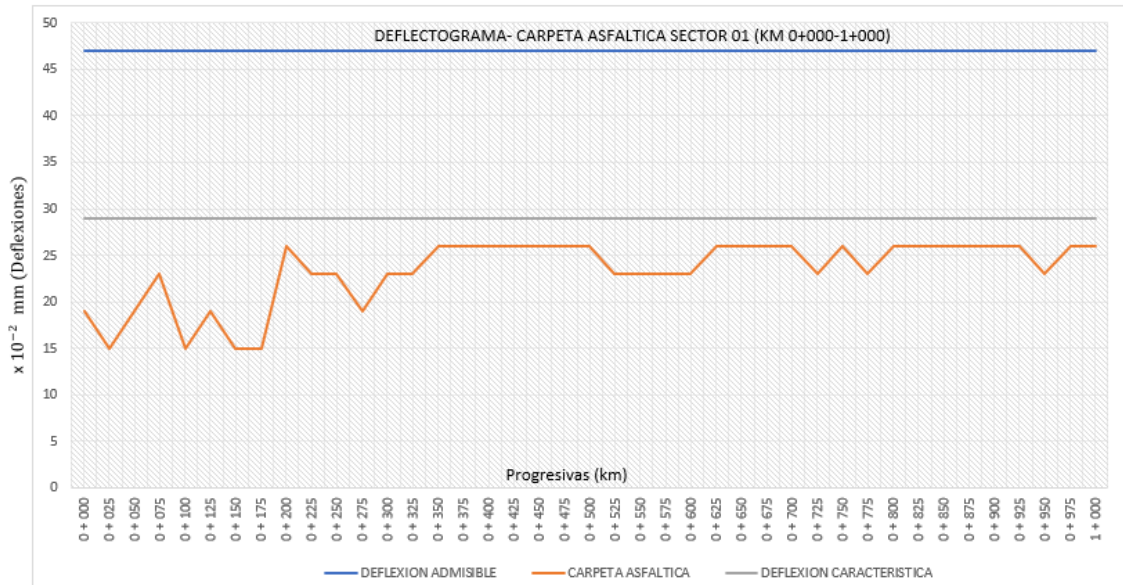
PROGRESIVA	LADO	LECTURAS (0.01mm)					PARAMETROS S/C		T.amb Asfalto (°C)	Espesor R(cm)	PARAMETROS DE EVALUACION		Temp.por correccion	Corregido		Rc (m)			
		1° DIAL					2° DIAL				Do	D25		Do	D25				
		L0	L25	L50	L100	L250	L0	LF	Do				D25				(m)		
17 + 000	Izq.	0	2	3	4	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 025	Der.	0	1	2	3	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
17 + 050	Izq.	0	2	2	5	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 075	Der.	0	1	3	5	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
17 + 100	Izq.	0	2	2	3	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
17 + 125	Der.	0	1	2	4	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 150	Izq.	0	3	3	4	6	0	2	24	8	195	32	5.0	24	8	0.943	23	8	195
17 + 175	Der.	0	2	3	5	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
17 + 200	Izq.	0	3	4	3	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 225	Der.	0	1	3	4	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
17 + 250	Izq.	0	3	1	2	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
17 + 275	Der.	0	3	3	2	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 300	Izq.	0	3	3	4	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
17 + 325	Der.	0	2	2	2	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
17 + 350	Izq.	0	1	2	4	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 375	Der.	0	2	2	1	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 400	Izq.	0	2	2	1	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
17 + 425	Der.	0	2	3	3	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 450	Izq.	0	3	3	1	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
17 + 475	Der.	0	2	3	4	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
17 + 500	Der.	0	2	2	3	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
17 + 525	Izq.	0	3	3	4	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 550	Der.	0	2	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
17 + 575	Izq.	0	3	3	3	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 600	Der.	0	2	2	4	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
17 + 625	Izq.	0	2	2	4	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 650	Der.	0	2	2	4	6	0	2	24	8	195	32	5.0	24	8	0.943	23	8	195
17 + 675	Izq.	0	2	2	3	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
17 + 700	Der.	0	3	3	3	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 725	Izq.	0	2	2	4	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 750	Der.	0	2	3	3	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
17 + 775	Izq.	0	2	4	5	8	0	2	32	8	130	32	5.0	32	8	0.943	30	8	130
17 + 800	Der.	0	1	3	2	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 825	Izq.	0	3	3	4	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
17 + 850	Der.	0	1	2	4	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 875	Izq.	0	2	4	5	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 900	Der.	0	2	2	3	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 925	Izq.	0	1	3	4	7	0	2	28	8	156	32	5.0	28	8	0.943	26	8	156
17 + 950	Der.	0	3	3	5	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156
17 + 975	Izq.	0	2	2	3	7	0	3	28	12	195	32	5.0	28	12	0.943	26	11	195
18 + 000	Der.	0	3	3	3	8	0	3	32	12	156	32	5.0	32	12	0.943	30	11	156

1.	DEFLEXION CARACTERISTICA (Dc) $D_c = D + 1.645 \cdot \sigma$	DESCRIPCION	PARAMETROS CORREGIDOS			
			Do	D25	Rc	
		Cantidad	N	41	41	41
		Valor Minimo	X _{min}	23	8	130
		Valor Maximo	X _{max}	30	11	195
		Promedio	D	28	10	165
		Desviacion Estándar	σ	2	1	22
		Coefficiente de Variacion	Cv	8	13	14
		Deflexion Característica (0.01mm)	D _c	32	12	202
		Deflexion Admisible (0.01mm)	D _a		47	
		Do < Da	OK	32	<	47

Fuente: Elaboración propia

Determinación del comportamiento estructural de la Carpeta asfáltica sector 01-Calachota.

Figura 37: Deflectograma – Carpeta asfáltica sector 01.

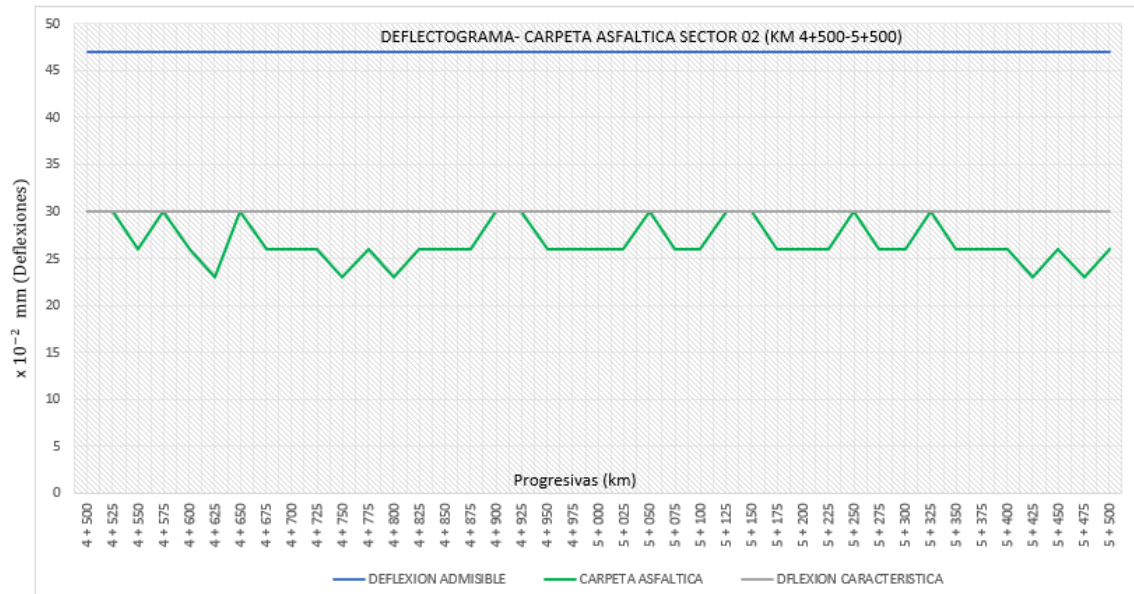


Fuente: Elaboración propia

En la figura 37 se observa que las deflexiones obtenidas en la carpeta asfáltica en el sector 01 varían desde 15×10^{-2} mm a 26×10^{-2} mm y que las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 47×10^{-2} mm y la deflexión característica que es 29×10^{-2} mm.

Determinación del comportamiento estructural de la Carpeta asfáltica mediante el uso de la viga Benkelman del sector 02-Quiriman.

Figura 38: Deflectograma – Carpeta asfáltica sector 02.

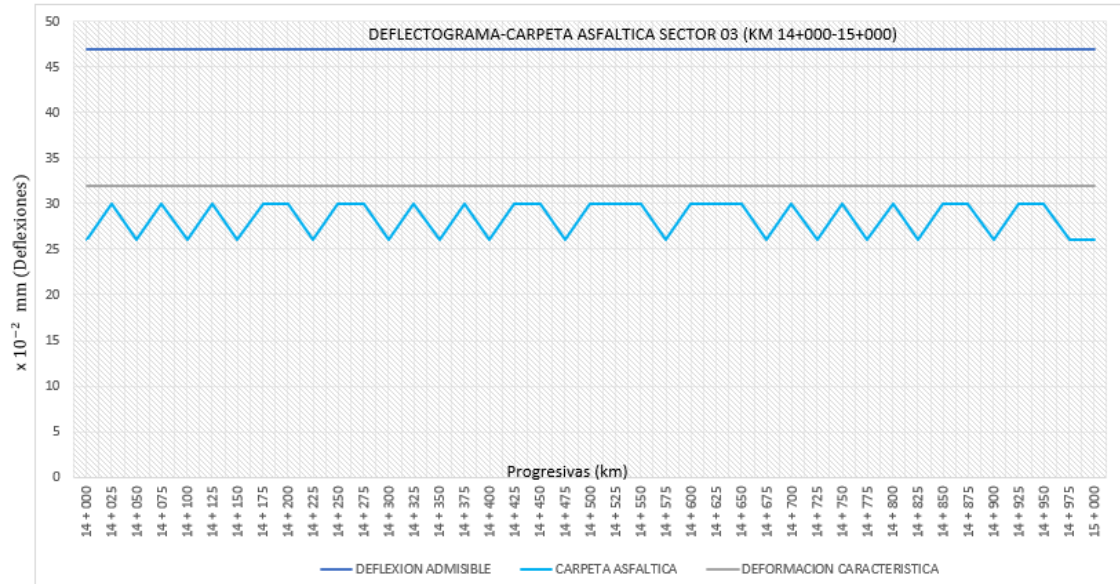


Fuente: Elaboración propia

En la figura 38 se observa que las deflexiones obtenidas en la carpeta asfáltica en el sector 01 varían desde 23×10^{-2} mm a 30×10^{-2} mm y que las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 47×10^{-2} mm y la deflexión característica que es 30×10^{-2} mm.

Determinación del comportamiento estructural de la Carpeta asfáltica mediante el uso de la viga Benkelman del sector 03-Aucampi.

Figura 39: Deflectograma – Carpeta asfáltica sector 03.

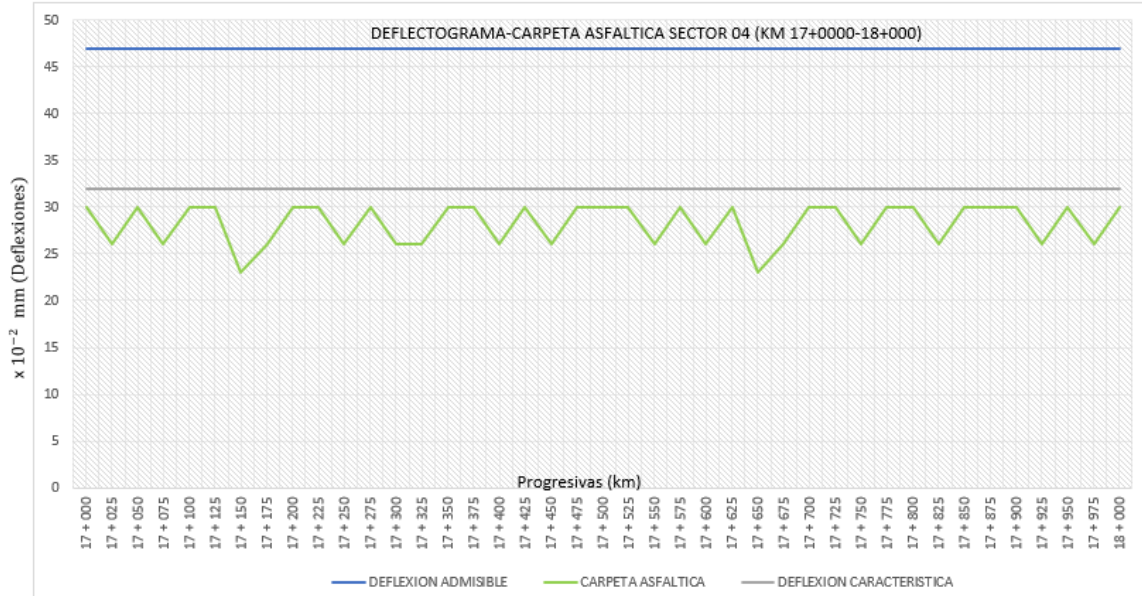


Fuente: Elaboración propia

En la figura 39 se observa que las deflexiones obtenidas en la carpeta asfáltica en el sector 01 varían desde 26×10^{-2} mm a 30×10^{-2} mm y que las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 47×10^{-2} mm y la deflexión característica que es 32×10^{-2} mm.

Determinación del comportamiento estructural de la Carpeta asfáltica mediante el uso de la viga Benkelman del sector 04-Ayauca.

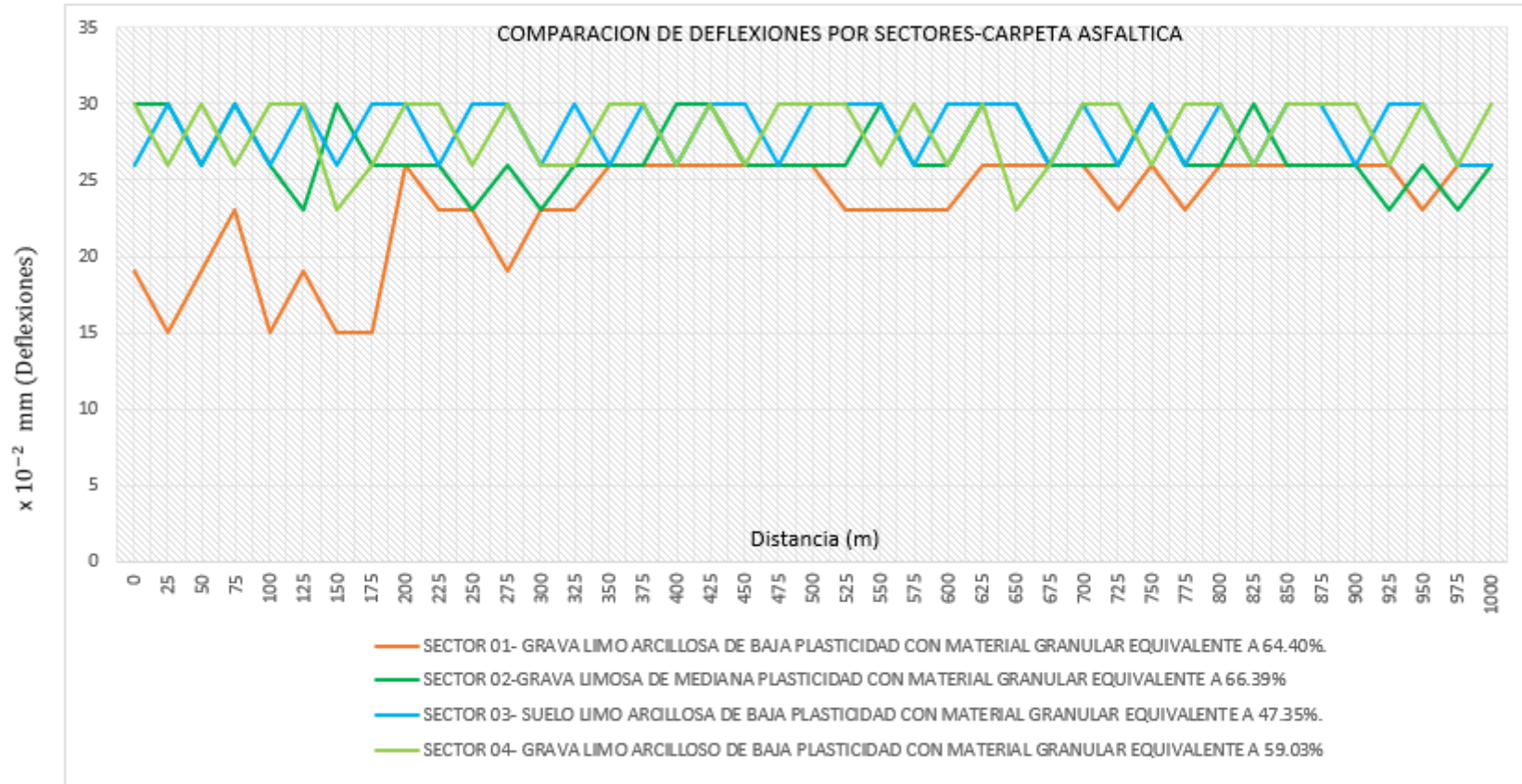
Figura 40: Deflectograma – Carpeta asfáltica sector 04.



Fuente: Elaboración propia

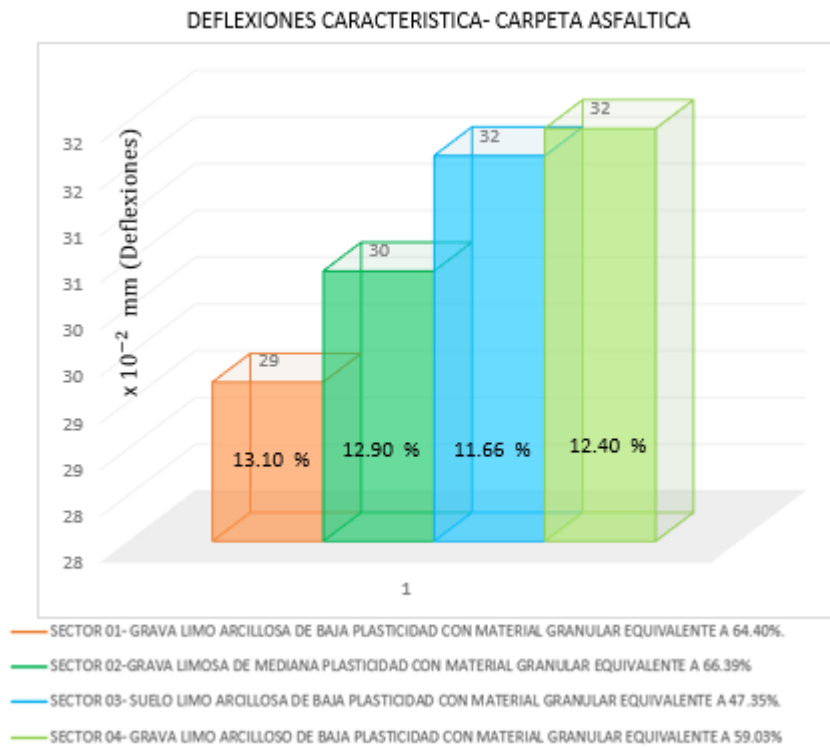
En la figura 40 se observa que las deflexiones obtenidas en la carpeta asfáltica en el sector 01 varían desde 23×10^{-2} mm a 30×10^{-2} mm y que las deflexiones obtenidas en campo se encuentran dentro de los valores de la deflexión admisible que es 47×10^{-2} mm y la deflexión característica que es 32×10^{-2} mm.

Figura 41: Comparación de deflexiones en relación a los suelos conformante de la plataforma- Carpeta asfáltica



Fuente: Elaboración propia

Figura 42: Comparación de deflexiones característica en relación a los suelos conformante de la plataforma- Carpeta Asfáltica.



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 41 se muestra las deflexiones obtenidas después de la colocación de la carpeta asfáltica, donde cada sector evaluado muestra una línea de distinto color, teniendo al sector 01 de color anaranjado, sector 02 color verde oscuro, sector 03 color celeste y sector 04 de color verde claro, siendo que la línea anaranjado está por debajo de todas las líneas lo que representa que en el sector 01 las deflexiones son bajas, a comparación de la línea celeste, verde claro y oscuro son casi similares lo cual indica que las deflexiones en el sector 02, 03 y 04 para la carpeta asfáltica es intermedia.

El análisis deflectométrico en la Carpeta asfáltica determina que para el Sector 01 que posee un suelo de fundación tipo Grava limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 64.40% y CBR 13.10% posee una deflexión característica es 29×10^{-2} mm por lo que se convierte en el sector donde las deflexiones han sido bajas a comparación de los demás

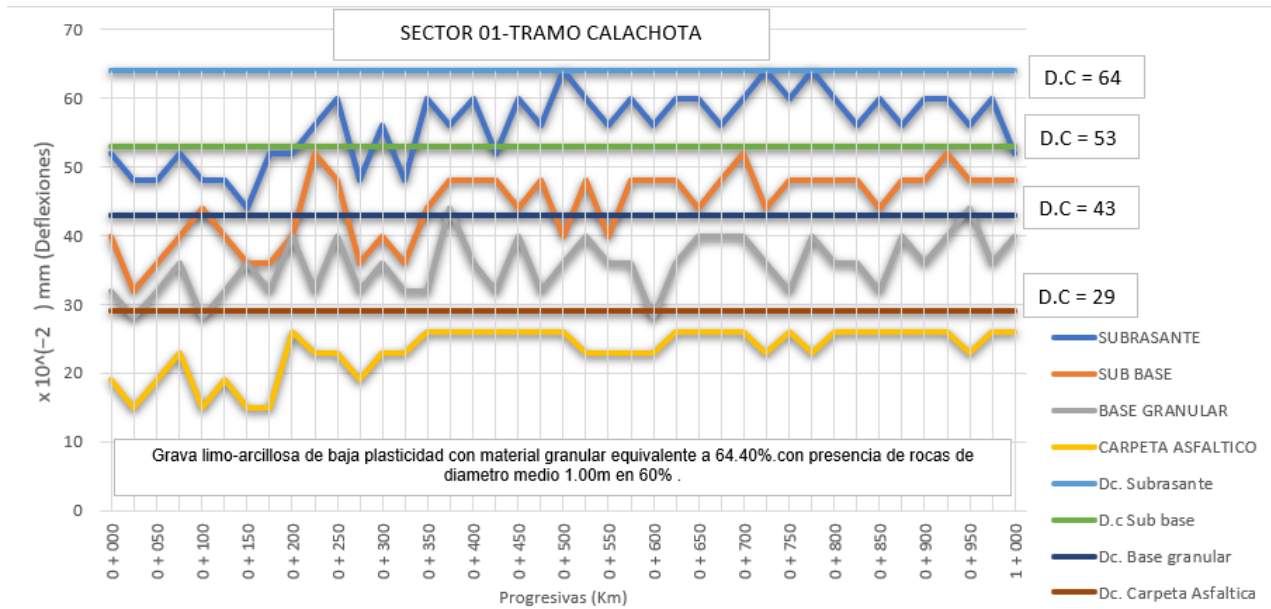
sectores , mientras que en el Sector 02 cuyo suelo de fundación es grava limosa de mediana plasticidad con material granular equivalente a 66.39% posee una deflexión característica de 30×10^{-2} mm , sector 04 que posee un suelo de tipo grava limo-arcilloso de baja plasticidad con material granular equivalente a 59.03% tiene una deflexión característica de 32×10^{-2} . El sector 03 cuyo suelo de fundación es de tipo Suelo limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 47.35% resulta ser el sector donde se da las mayores deflexiones teniendo una Deflexión característica de 32×10^{-2} mm.

Se determina que tras evaluar la deflectometria en las capas de carpeta asfáltica de los sectores, estas deflexiones no sobrepasan los 32×10^{-2} mm, nos da una buena idea del comportamiento de las capas de pavimento conformadas, por lo que se determina que la capacidad estructural del pavimento ejecutado es Bueno.

4.4. Resultados de los objetivos específicos N° 03

Comparar las deflexiones obtenidas de acuerdo a las capas estructurales de los sectores Calachota-Quiriman-Aucampi y Ayauca.

Figura 43: Interacción de deflexiones en Sub Rasante, Sub Base, Base y Carpeta Asfáltica-Sector 01.



Fuente: Elaboración propia

Luego de analizar las deflexiones dadas en la subrasante que sirve como fundación para todo el paquete estructural de pavimento, asimismo explicar su comportamiento estructural teniendo en cuenta los estudios de suelos realizado a este nivel, se presenta la evolución en las diferentes capas del pavimento flexible, evaluado en el sector 01-Calachota.

En la figura 43 se presenta las deflexiones obtenidas en la subrasante y cada una de las capas del pavimento flexible, como se observa las deflexiones en la subrasante es de color azul, la subbase granular de color anaranjado, la base granular de color plomo y la carpeta asfáltica de color amarillo.

De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (GM-GC) y según la clasificación AASHTO en A-2-4{0}. Que comprenden Grava limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 64.40%.con presencia de rocas de diámetro medio 1.00m en 60% y tiene un CBR= 13.10%.

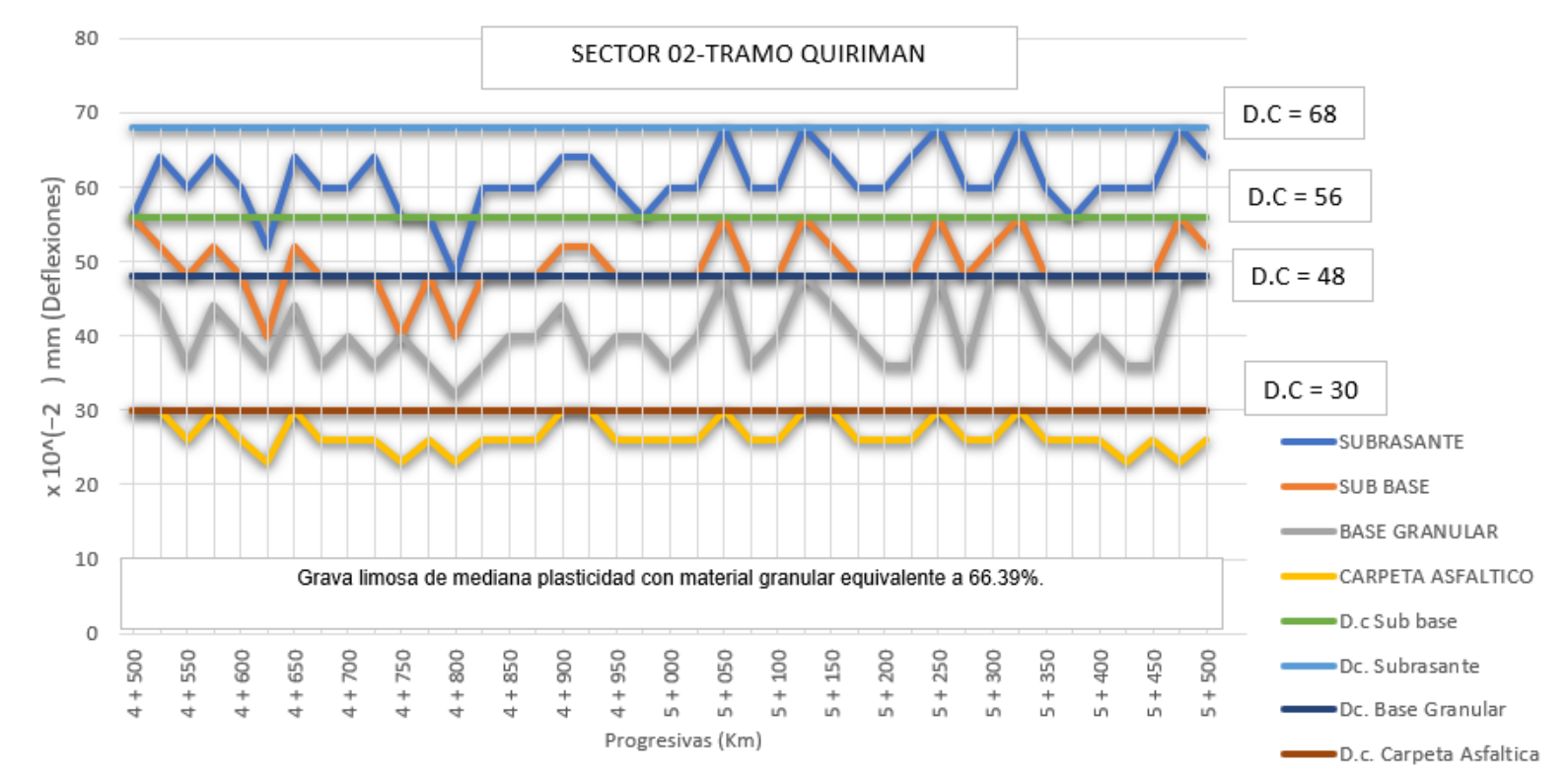
Podemos verificar que las deflexiones en la sub base y base granular se encuentran por debajo de las deflexiones características permisibles, lo que nos indica que se encontrara las deflexiones esperadas a nivel de carpeta asfáltica.

En este tramo se nota las deflexiones tanto en Sub base como en base granular evolucionan correlativamente por lo que cumplen con las especificaciones técnicas del proyecto comportándose homogéneamente hasta el nivel de base.

Las deflexiones obtenidas mediante la Viga Benkelman a nivel de carpeta asfáltica varían desde 15×10^{-2} mm a 26×10^{-2} mm, con esto nos podemos atrever a decir que la capacidad estructural del pavimento en este sector es buena. Además, que presenta un comportamiento homogéneo en todo el tamo, por lo que se deduce que además de las buenas características que presentan los suelos, también presenta una buena conformación de las capas que comprende el pavimento.

Se puede comprobar que las deflexiones van disminuyendo a medida que se construye cada capa de la estructura del pavimento.

Figura 44: Interacción de deflexiones en Sub Rasante, Sub Base, Base y Carpeta Asfáltica-Sector 02.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 44 se presenta las deflexiones obtenidas en la subrasante y cada una de las capas del pavimento flexible, como se observa las deflexiones en la subrasante es de color azul, la subbase granular de color anaranjado, la base granular de color plomo y la carpeta asfáltica de color amarillo.

De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (GM) y según a clasificación AASHTO en A-2-4 (O). Que comprenden Grava limosa de mediana plasticidad con material granular equivalente a 66.39% y CBR= 12.90%.

En la figura 44 se muestra que las deflexiones van disminuyendo, debido a que las capas del pavimento se homogenizan y las presiones ejercidas por fuerza actuante se va perdiendo al llegar al nivel subrasante.

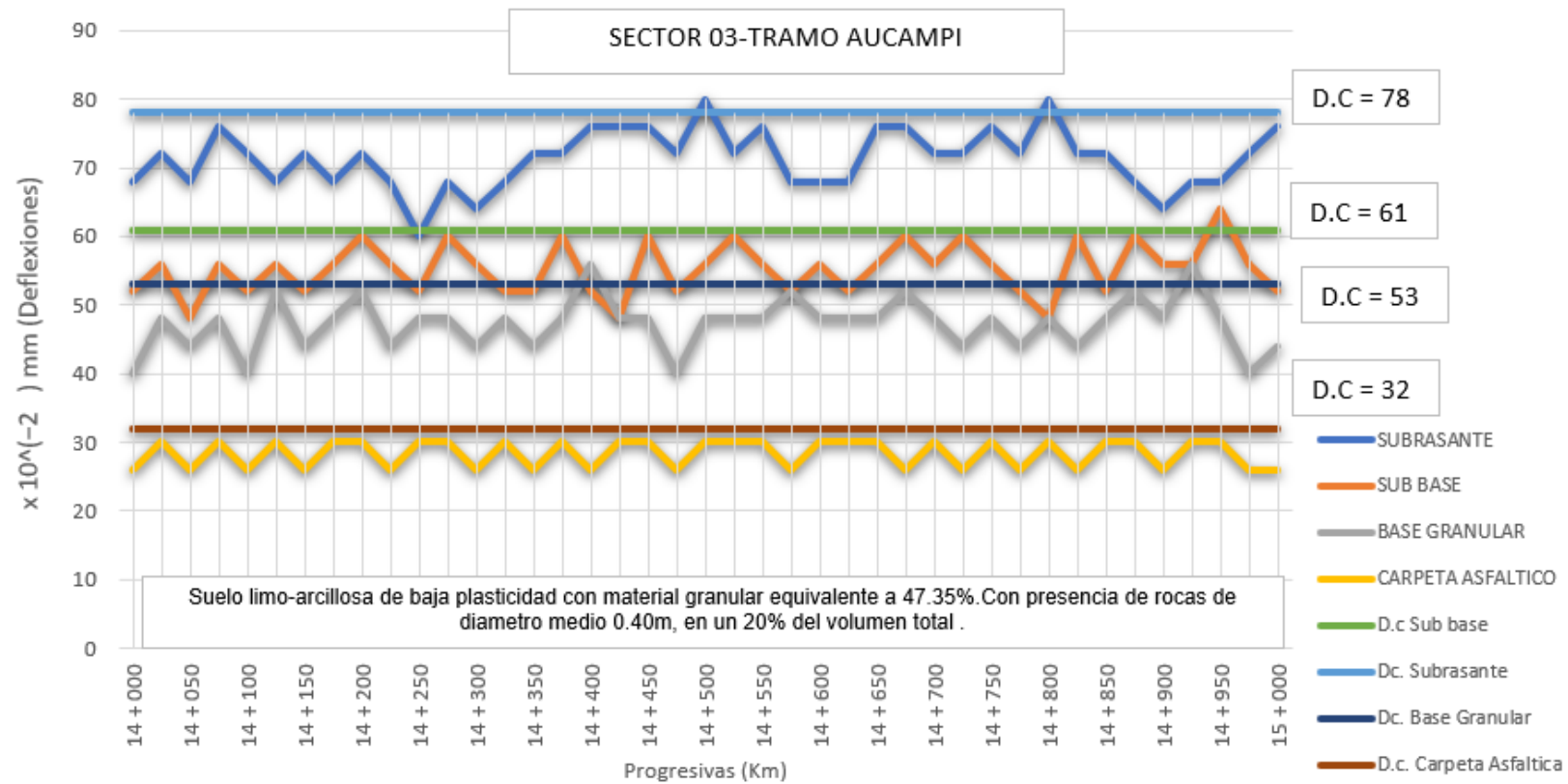
Podemos notar que las deflexiones en la subbase se encuentran en el límite permisible establecido por el estudio de deflexiones admisibles antes calculados y los valores de las lecturas de las deflexiones en la base van mejorando considerablemente. Lo que nos indica que se encontrara las deflexiones esperadas a nivel de carpeta asfáltica.

La deflexión tanto en la subbase y base evolucionan correlativamente por lo que cumplieron con lo estipulado en las especificaciones técnicas del proyecto comportándose homogéneamente hasta el nivel de base granular.

Las deflexiones mediante la Viga Benkelman a nivel de carpeta asfáltica se observa que las deflexiones varían desde 23×10^{-2} mm a 30×10^{-2} mm, con esto nos podemos atrever a decir que la capacidad estructural del pavimento en este sector es buena. Además, que presenta un comportamiento homogéneo en todo el tamo, por lo que se deduce que además de las buenas características que presentan los suelos, también presenta una buena conformación de las capas que comprende el pavimento.

Se puede comprobar que las deflexiones van disminuyendo a medida que se construye cada capa de la estructura del pavimento.

Figura 45: Interacción de deflexiones en Sub Rasante, Sub Base, Base y Carpeta Asfáltica-Sector 03



Fuente: Elaboración propia

En la figura 45 se presenta las deflexiones obtenidas en la subrasante y cada una de las capas del pavimento flexible, como se observa las deflexiones en la subrasante es de color azul, la subbase granular de color anaranjado, la base granular de color plomo y la carpeta asfáltica de color amarillo.

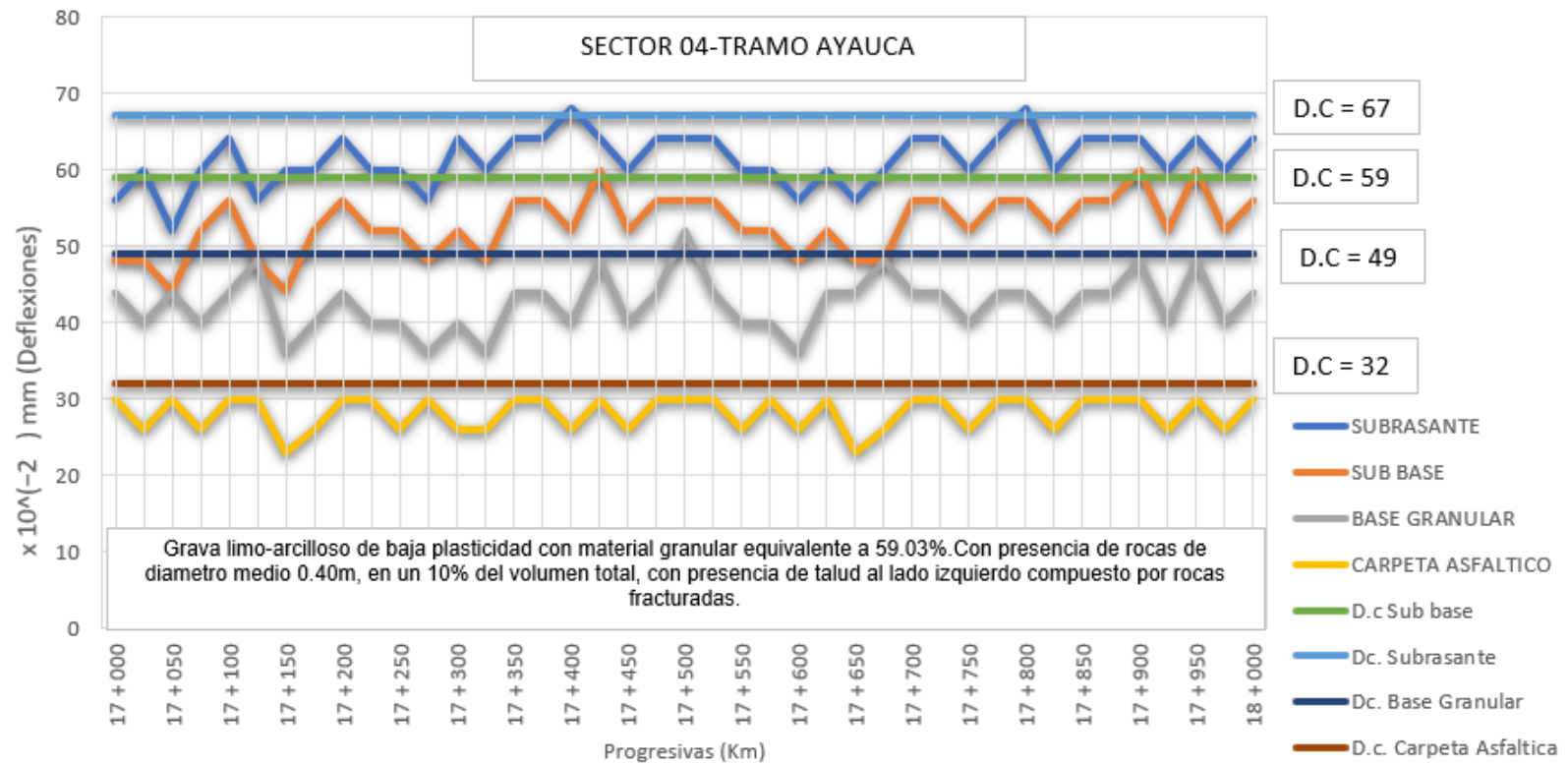
De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (ML-CL) y según a clasificación AASHTO en A-4 (4). Que comprenden Suelo limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a 47.35%. Con presencia de rocas de diámetro medio 0.40m, en un 20% del volumen total y CBR= 11.66%.

En la figura 45 se muestra que las deflexiones van disminuyendo, debido a que las capas del pavimento se homogenizan y las presiones ejercidas por fuerza actuante se va perdiendo al llegar al nivel subrasante.

Este es el sector que tiene el CBR más bajo y tiene las mayores deflexiones a comparación de los demás sectores, por lo que se determina que las deflexiones varían de manera considerable en función al CBR del suelo de fundación.

Se puede verificar que las deflexiones van disminuyendo a medida que se construye cada capa de la estructura del pavimento.

Figura 46: Interacción de deflexiones en Sub Rasante, Sub Base, Base y Carpeta Asfáltica-Sector 04.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 46 se presenta las deflexiones obtenidas en la subrasante y cada una de las capas del pavimento flexible, como se observa las deflexiones en la subrasante es de color azul, la subbase granular de color anaranjado, la base granular de color plomo y la carpeta asfáltica de color amarillo.

De los datos obtenidos en las excavaciones de las calicatas, se clasifico el suelo por el sistema unificado en (GM) y según a clasificación AASHTO en A-2-4 (O). Que comprenden Grava limosa de mediana plasticidad con material granular equivalente a 66.39% y CBR= 12.40%.

En la figura 46 se muestra que las deflexiones van disminuyendo, debido a que las capas del pavimento se homogenizan y las presiones ejercidas por fuerza actuante se va perdiendo al llegar al nivel subrasante.

En este sector se nota las deflexiones tanto en Sub base como en base granular evolucionan correlativamente por lo que cumplen con las especificaciones técnicas del proyecto comportándose homogéneamente hasta el nivel de base.

Las deflexiones mediante la Viga Benkelman a nivel de carpeta asfáltica se observa que las deflexiones varían desde 23×10^{-2} mm a 30×10^{-2} mm, con esto nos podemos atrever a decir que la capacidad estructural del pavimento en este sector es buena. Además, que presenta un comportamiento homogéneo en todo el tamo, por lo que se deduce que además de las buenas características que presentan los suelos, también presenta una buena conformación de las capas que comprende el pavimento

Se puede verificar que las deflexiones van disminuyendo a medida que se construye cada capa de la estructura del pavimento.

Tabla 45: Cuadro comparativo de resultados de Deflexiones por Sectores

Tramo	Deflexiones Característica - $\times 10^{-2}mm$				Promedio	Porcentaje de Variación
	Sector 01	Sector 02	Sector 03	Sector 04		
Subrasante	64	68	78	67	69.25	
Sub base Granular	53	56	61	59	57.25	16.18%
Base Granular	43	48	53	49	48.25	15.79%
Carpeta Asfáltica	29	30	32	32	30.75	37.50%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 45 se puede verificar que las deflexiones características obtenidas con la información de campo son distintas en cada sector, siendo el sector 03 -Aucampi el sector que obtiene las mayores deflexiones, teniendo este sector un CBR de 11.66%, siendo menor a los demás sectores. Asimismo, se observa que el Sector 01 -Calachota se presenta menores deflexiones, teniendo este sector un CBR de 13.10 %, por lo que se puede concluir que las el CBR influye en el comportamiento de la estructura del pavimento.

Asimismo, se observa que las deflexiones se van disminuyendo a medida que se construye cada capa de la estructura del pavimento, en un 16.18% en la sub rasante – Sub base granular, 15.79% en la Sub base -Base granular y en 37.5 % entre la Base granular y la carpeta asfáltica.

V. DISCUSIÓN

Las discusiones se expresaron en función de los análisis obtenidos después de analizar los objetivos tanto los específicos como el general y también el de analizar las conclusiones de los antecedentes consultados:

1. Como Jaén y Ticona (2018) en su investigación “Análisis deflectométrico por etapas y comparación con el tipo de material de cada capa estructural en la obra construcción y mejoramiento de la carretera Matarani-Punta de bombón tramo km 2+000 al km 7+000”, concluye que comprobó la disminución de las deflexiones a medida que se construye cada capa de la estructura del pavimento, en un 12% en la sub base granular, 18% en la base granular y en 27% en la carpeta asfáltica, a la hora de superponer las deflexiones en un solo sector se pudo verificar que efectivamente que las deflexiones disminuyen por que las capas de sub base y base granular se homogenizan y las presiones ejercidas por fuerzas actuante se van perdiendo al llegar a la subrasante, en este presente estudio se puede comparar que las deflexiones disminuyen de manera promedia de Sub rasante a Sub base granular 16.18 %,entre Sub base y Base granular 15.79 % y entre la capa Base granular y Carpeta asfaltico 37.5 %. Asimismo, ellos mencionan que mediante el deflectograma de se ha identificado zonas débiles difícilmente detectables mediante inspección visual para su reparación, a través de la elaboración del deflectograma se ha detectado los tramos que superan las deflexiones admisibles, se concuerda con lo mencionado ya que se comprobó que las zonas donde reflejan alta deflexión son donde ha habido fallas en la conformación de la capa o alto contenido de humedad.

2. Como Ignacio,2013 en su investigación "Análisis Deflectométrico De Las Capas Del Pavimento Flexible Con Subrasante De Suelo Arenoso En La Panamericana Norte Km 355 + 500 Al 357 + 500" menciona en una de sus conclusiones que Las deflexiones admisibles obtenidas para las carpetas de base, subbase y subrasante no se encuentran normadas por lo que se partió de los ensayos de deflexiones de obra similares y con el apoyo de ingenieros experimentados en el tema, en la presente investigación se procedió al cálculo de deflexiones admisibles a través de ecuaciones y modelos matemáticos tales como el Modelo Monocapa y Modelo Bicapa en función de los CBR del selo de cada sector. Asimismo, menciona lo siguiente La información necesaria para el presente trabajo se obtuvo con el apoyo de los técnicos de la obra los que validaron su fiel cumplimiento.

3. Para Carahuatay, 2015 en su tesis titulado Determinación Del Comportamiento Estructural Del Pavimento Flexible De La Carretera San Miguel • Pablo, Tramo San Miguel • Sunuden; Mediante el Análisis Deflectométrico, concluye que las principales fallas que se producen en el pavimento están asociadas a las deformaciones excesivas a nivel de la sub rasante, reflejando así el comportamiento del terreno de fundación y la deformación por tracción, asociado al agrietamiento de la carpeta de rodadura, efectivamente es en la subrasante donde se genera las mayores deflexiones ,por lo que si se detecta y no se realiza las correcciones va a tender a fallar , tener una subrasante con fallas va generar fallas en las siguientes capas del paquete estructural del pavimento.

VI. CONCLUSIONES

Primero: Se determinó el comportamiento estructural del pavimento flexible de la Carretera Calachota-Ayauca, a través de la recolección de datos en obra mediante el uso de la Viga Benkelman y con la interpretación de curvas de deflexiones, obteniéndose una buena capacidad estructural de los tramos evaluados. Asimismo, se llevó un exhaustivo control de las deflexiones de todas las capas estructurales del pavimento y subrasante donde se construyó el pavimento flexible a fin de identificar los tramos que denoten inestabilidad.

Segundo: Se determinó las deflexiones admisibles de cada sector para las capas de Carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante no se encuentran normadas por lo que se empleó la teoría de Monocapa (Modelo de Bousinesq), teoría Bicapa (Modelo de Burmister) y criterio Conreval, a través de ellas se logró controlar las deflexiones de cada capa en los distritos sectores logrando detectar los puntos inestables y realizar las medidas correctivas a tiempo.

Tabla 46: Cuadro de deflexiones admisibles

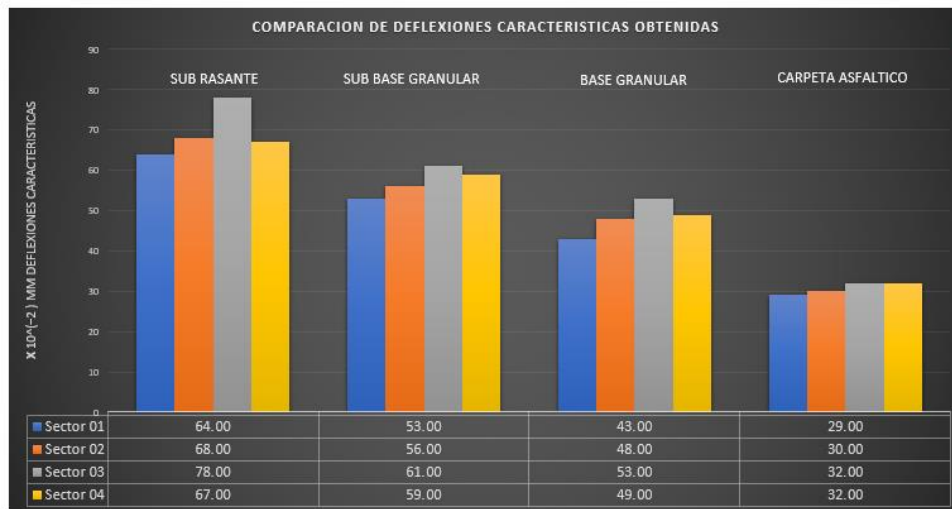
Tramo	Deflexiones Admisibles - $\times 10^{-2}mm$			
	Subrasante	Sub base Granular	Base Granular	Carpeta Asfáltica
Sector 01	74	75	83	78
Sector 02	73	73	75	74
Sector 03	62	62	65	64
Sector 04	47	47	47	47

Fuente: Elaboración propia

Tercero: Se determinó el comportamiento estructural de los sectores Calachota, Quiriman, Aucampi y Ayauca, obteniendo resultados positivos debido a que las deflexiones obtenidas en obras a través de la Viga Benkelman no superan a las deflexiones admisibles calculadas para esta presente investigación. Asimismo, se comparó y demostró que el sector 03 que tiene un Suelo limo-arcillosa de baja plasticidad con CBR 11.66%, obtienen las mayores deflexiones, mientras que el sector 01 que posee grava limo-arcillosa de baja plasticidad con CBR de 13.10% obtienen las menores deflexiones, por lo que se concluye que las características del suelo de

fundación influyen en el comportamiento de la estructura del pavimento, tal cual se muestra en la figura 47.

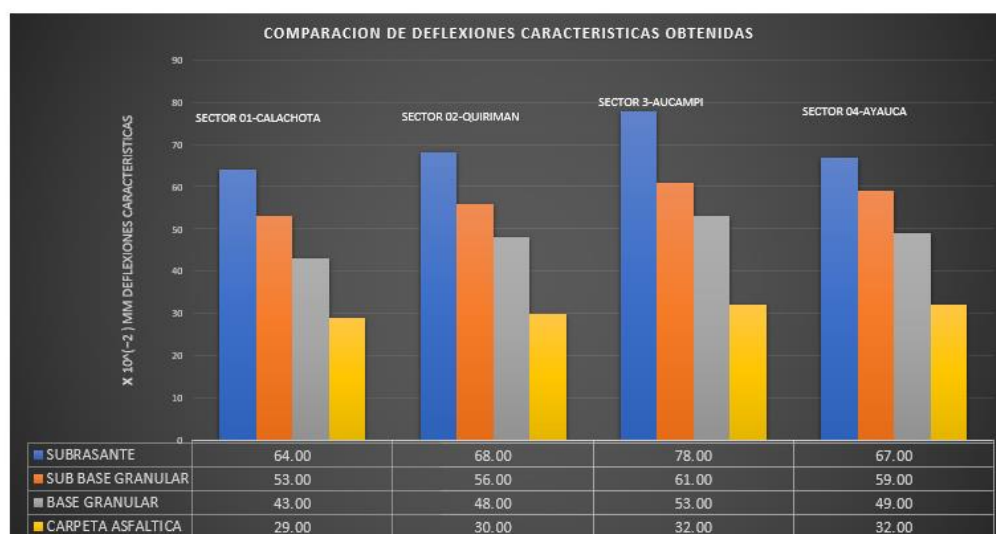
Figura 47: Comparación de Deflexiones admisibles por Capas estructurales.



Fuente: Elaboración propia

Cuarto: Se comprobó la disminución de las deflexiones a medida que se construye cada capa de la estructura del pavimento, en un 16.18% en la sub base granular, 15.79% en la base granular y en 37.5 % en la carpeta asfáltica, debido a que las capas del pavimento se homogenizan y las presiones ejercidas por fuerza actuante se va perdiendo al llegar al nivel subrasante, tal como se muestra en la figura 48.

Figura 48: Comparación de Deflexiones admisibles por Sectores.



Fuente: Elaboración propia

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de la Viga Benkelman para el análisis deflectométrico por que nos proporcionan resultados confiables, además de ser practico y eficiente.
- Se recomienda la realización de las pruebas de deflectometria en todas las obras relacionadas a conformación pavimento flexibles, ya que nos permite poder evaluar de manera temprana el comportamiento estructural durante la ejecución de la obra, determinando las fallas e inestabilidades del pavimento conformado, de tal forma se pueda realizar las medidas correctivas a tiempo.
- Tener en cuenta las especificaciones técnicas en el proceso de ejecución de los pavimentos flexibles, en cumplimiento de las normas peruanas establecidas relacionadas a la calidad de los trabajos.
- Se recomienda que las pruebas de deflectometria sean realizadas con bastante precisión y con el personal idóneo con conocimientos del tema.
- Se recomienda que se realicen la evaluación estructural a los 10 años (mitad de periodo de diseño) y a los 20 años (Fin de periodo de diseño), a fin de verificar el comportamiento de la estructura y determinar si requiere un refuerzo.

REFERENCIAS

- Barrantes y Elizondo. (2008). *“Análisis Estructural del Pavimento Esterillos – Loma”* (Informe de asesoría). San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Escobar y García. (2007). *“Análisis comparativo de la evaluación de pavimentos por medio de la Viga Benkelman y el Deflectómetro de Impacto”* (Tesis de Doctorado). San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Castro J. (2003). *“Propuesta de gestión de pavimentos para la ciudad de Piura”* (Tesis de Pregrado). Piura, Perú: Universidad Nacional de Piura.
- Jiménez L. (2014). *“diagnostico estructural de afirmado estabilizado con cloruro de magnesio mediante el modelo matemático de Hogg y Viga Benkelman”* (Tesis de Pregrado). Lima, Perú: Universidad privada de Ciencias Aplicadas.
- Ignacio. (2003). *“Análisis Deflectométrico de las capas del pavimento flexible con Subrasante de suelo arenoso en la Panamericana Norte km 355+500 al 375+500”* (Tesis de Pregrado). Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Balarezo. (2017). *Evaluación estructural usando Viga Benkelman aplicada a un pavimento* (Tesis de Pregrado). Piura, Perú: Universidad Nacional de Piura.
- Jaén y Ticona (2019). *Análisis deflectométrico por etapas y comparación con el tipo de material de cada capa estructural en la Obra Construcción Y Mejoramiento de la Carretera Matarani-Punta de Bombón Tramo Km 2+000 Al Km 7+000* (Tesis de Pregrado). Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Ignacio J. (2013). *Análisis deflectométrico de las capas del pavimento flexible con subrasante de suelo arenoso en la panamericana Norte Km 355 + 500 Al 357 + 500* (Tesis de Pregrado). Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.

Transporte (2013). *Especificaciones Generales para la construcción*. Lima: Perú.

Transporte (2016). *Manual de Ensayos de Materiales*. Lima: El Perú.

ANEXOS

Tabla 47: Matriz de Consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cómo es el comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Calachota-Allauca, en relación a los suelos conformantes de la plataforma de los sectores de Calachota-Quiriman-Aucampi y Ayauca?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar el Comportamiento estructural del pavimento flexible en relación a los suelos conformantes de la plataforma por el Método de la Viga Benkelman de la Carretera Calachota-Ayauca.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Mediante el análisis deflectométrico de las capas de un pavimento flexible sobre subrasante con diferentes características, se determina la capacidad estructural del pavimento y así obtendremos un buen comportamiento del paquete estructural.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Las Deflexiones</p> <p>Indicadores de la V.I:</p> <p>-Deflexion Admisible -Deflexion Caracterica</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicativo.</p> <p>Diseño: Experimental.</p>
<p>PROBLEMAS ESPECIFICOS</p> <p>a.-¿De qué manera se obtendrán las deflexiones admisibles en cada capa del paquete estructural del pavimento, considerando los suelos conformantes de la plataforma de los sectores de Calachota, Quiriman, Aucampi y Ayauca?</p> <p>b.- ¿Cómo es el comportamiento estructural de la subrasante, sub base granular, base granular y carpeta asfáltico en los sectores Calachota, Quiriman, Aucampi y Ayauca considerando que cada sector posee suelos conformantes de la plataforma con diferentes características y CBR?</p> <p>c.- ¿Cómo es la interacción de deflexiones entre las capas estructurales en los sectores de Calachota, Quiriman, Aucampi y Allauca?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <p>a.- Determinar las deflexiones admisibles en las capas del pavimento flexible, para tener un buen control y encontrar puntos que denoten inestabilidad.</p> <p>b.- Determinar y comparar el comportamiento estructural en la Subrasante, Sub base, Base granular y Carpeta asfáltica de los sectores Calachota-Quiriman-Aucampi y Ayauca.</p> <p>c.- Comparar las deflexiones obtenidas de acuerdo a las capas estructurales de los sectores Calachota-Quiriman-Aucampi y Ayauca.</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECIFICOS</p> <p>H1.- Mediante la obtención de las deflexiones admisibles se puede llevar el control de las deflexiones simples obtenidas en campo e identificar puntos inestables, con la finalidad de realizar las correcciones respectivas.</p> <p>H2.- Las deflexiones varían en la Subrasante, Sub base, Base y Carpeta asfáltica en el sector Calachota, Quiriman-Aucampi y Ayauca, debido a las características propias del suelo de cada sector.</p> <p>H3.- Las deflexiones de las capas estructurales evolucionan correlativamente debido a que se homogenizan y las presiones ejercidas por fuerza actuante se pierde hasta llegar a la subrasante..</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Evaluación estructural.</p> <p>Indicadores de la V.D:</p> <p>-Deflexion en Pavimento. -Comportamiento de Pavimento</p>	<p>Población y muestra:</p> <p>Población 19.085 Km de la Carretera Tramo Calachota-Ayauca, distrito de Allauca.</p> <p>Muestra: 04 Sectores de 01 km cada uno ,de la carretera Tramo Calachota-Ayauca, distrito de Allauca</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48: Matriz de Operacionalidad de Variables.

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE LAS DEFLEXIONES	<p>La deflexión es el valor del desplazamiento en la superficie del pavimento al aplicarle una carga. El valor de la deflexión depende de una serie de factores, entre los que se destacan: la rigidez y espesor del pavimento, su temperatura, además del soporte del suelo de fundación.</p> <p>Las deflexiones medidas encierran una valiosa información de las características estructurales del pavimento y de la subrasante (Hoffman y Del Águila, 1985).</p>	<p>El presente proyecto estudiará las deflexiones por capas durante la colocación del pavimento para poder llevar un buen control de calidad del mismo y así detectar cualquier punto inestable durante la construcción del pavimento, el estudio del comportamiento mediante deflexiones en las diferentes etapas de construcción nos brindará un mejor concepto funcional de toda la estructura de la carretera Calachota - Ayauca.</p>	<p>Deformación</p> <p>vertical</p>	<p>Deformaciones Admisible</p> <p>Deformaciones Característica</p>
DEPENDIENTE EVALUACION ESTRUCTURAL	<p>El método de evaluación estructural de los pavimentos flexibles por medio de la viga Benkelman, es un ensayo "no destructivo", no altera la integridad del sistema y básicamente consiste en tomar deflexiones a nivel de superficie del pavimento; esto se fundamenta en que las curvas de deflexiones encierran cuantiosa información de las características del pavimento y su subrasante. (Balarezo, 2017).</p>	<p>En la presente investigación se realiza la evaluación estructural de pavimentos en dos fases; en la primera se realiza el proceso de recolección de datos mediante ensayos en campo y la segunda se procede con la aplicación de un método para hallar los resultados (deflexiones). Asimismo, se procede a realizar un análisis comparativo del comportamiento estructural por capas en distintos sectores.</p>	<p>Ensayos de Viga Benkelman</p>	<p>Deflexión de Pavimentos</p> <p>Comportamiento del Pavimento</p>

Fuente: Elaboración propia

PANEL FOTOGRAFICO

Figura 49: Conformación de capas de las capas estructurales del pavimento.



Fuente: Elaboración propia

Figura 50: Compactación de las capas estructurales del pavimento.



i

Fuente: Elaboración propia

Figura 51: Imprimación Asfáltica



Fuente: Elaboración propia

Figura 52: Colocación de carpeta asfáltica



Fuente: Elaboración propia

Figura 53: Compactación de carpeta asfáltica



Fuente: Elaboración propia

Figura 54: Control de temperatura del asfalto.



Fuente: Elaboración propia

Figura 55: Prueba de Cono de arena y Contenido de humedad.



Fuente: Elaboración propia

Figura 56: Verificación de la Supervisión las pruebas de densidad de campo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 57: Pesaje de camión a emplearse en las pruebas de deflectometría.



Fuente: Elaboración propia

Figura 58: Reporte de pesaje.

AGRICOLA TERCER MUNDO S.A.
PANAM. SUR KM. 144 - CAÑETE
CEL: 581-372

DESCRIPCION

Ticket	: 17162
Placa	: M2G-838
Cliente	: CONDIAL
Conductor	: NINGUNO
Producto	: CONTROL DE PESO
Precio	: 10
Observacion	: -----

PRIMERA PESADA :

3/09/2020 18:01:50

8240 kg

O. Salida

Peso Neto

3/09/2020

BALANZA
AGRICOLA TERCER MUNDO S.A.
Av. Panamericana Sur
Km. 143,5
CAÑETE

Fuente: Elaboración propia

Figura 59: Toma de muestras de base granular.



Fuente: Elaboración propia

Figura 60: Pruebas de deflectometría a nivel subrasante.



Fuente: Elaboración propia

Figura 61: Pruebas de deflectometría a nivel Sub base granular.



Fuente: Elaboración propia

Figura 62: Pruebas de deflectometría a nivel Base granular.



Fuente: Elaboración propia

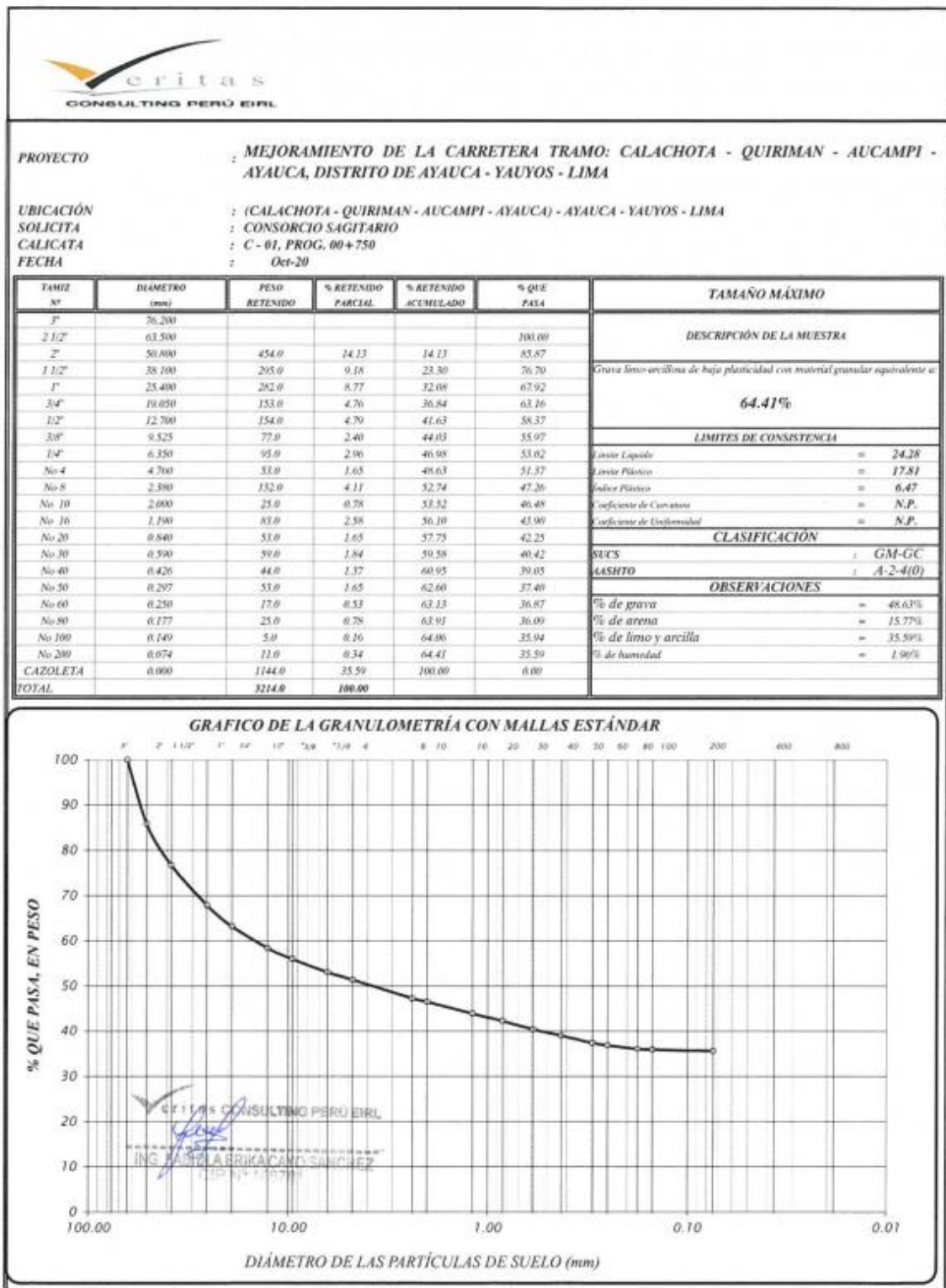
Figura 63: Pruebas de deflectometría a nivel carpeta asfáltica.



Fuente: Elaboración propia

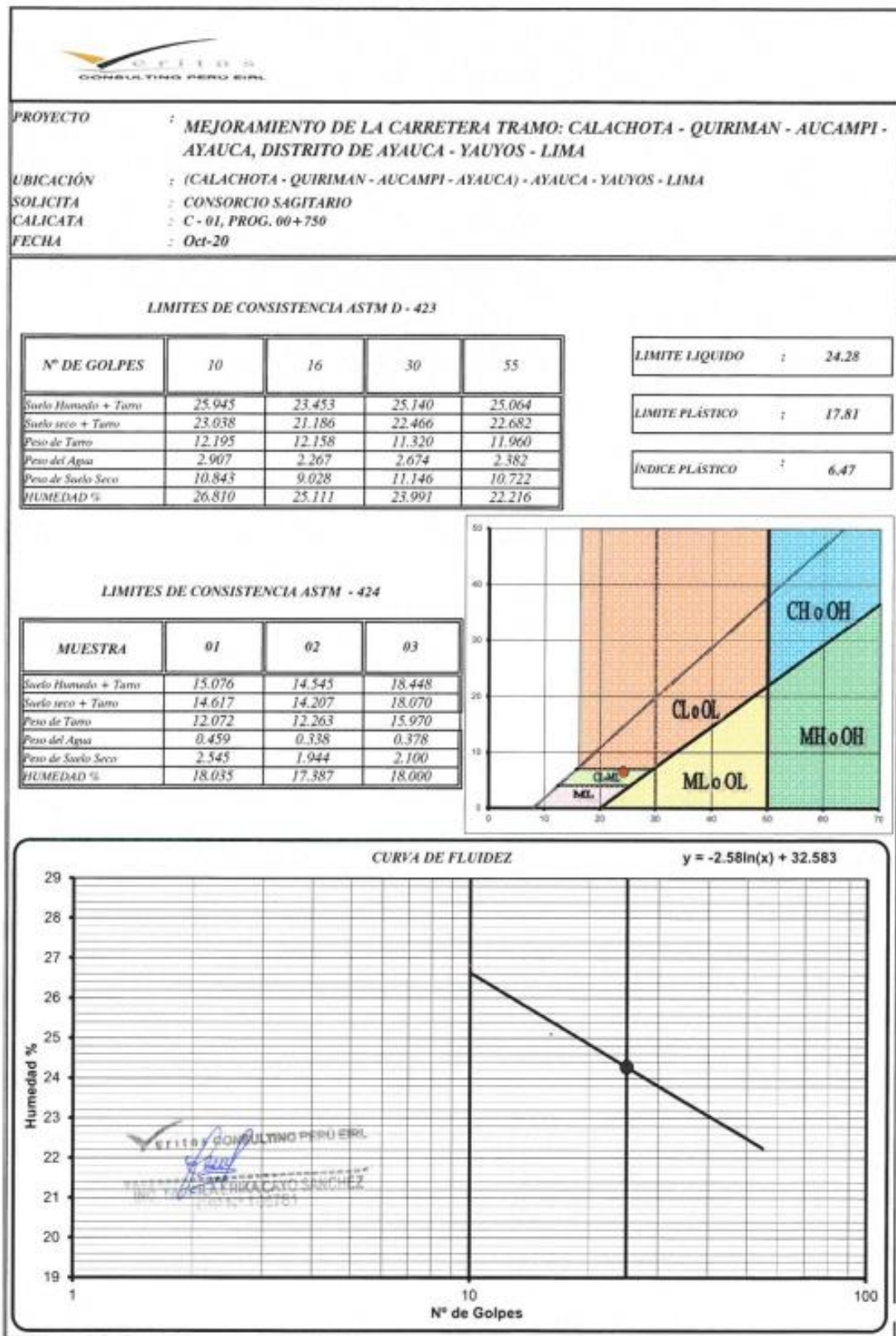
ESTUDIO SE SUELOS

Figura 64: Informe de EMS-Hoja 01



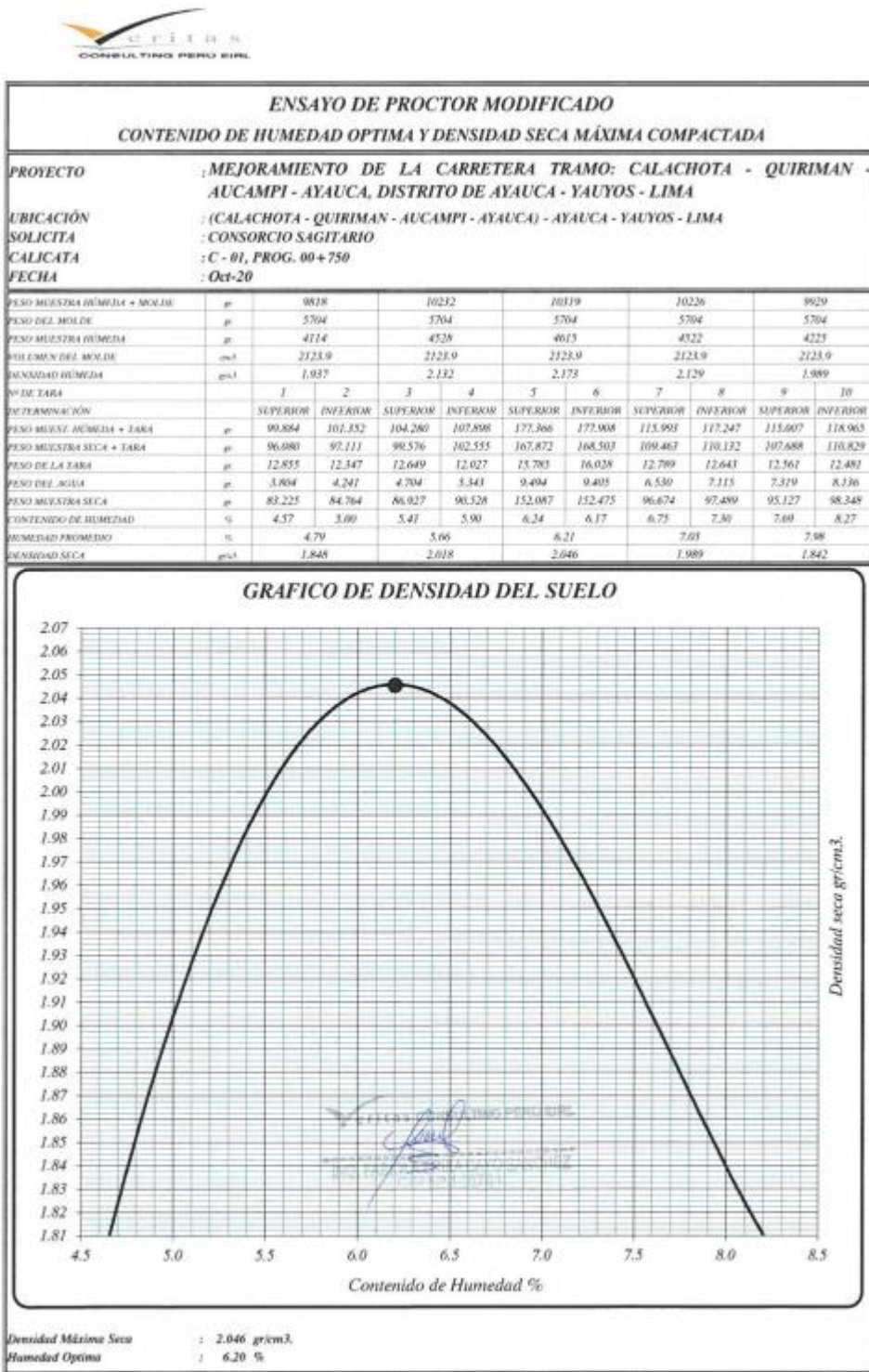
Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL.

Figura 65: Informe de EMS-Hoja 02






Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL.

Figura 66: Informe de EMS-Hoja 03



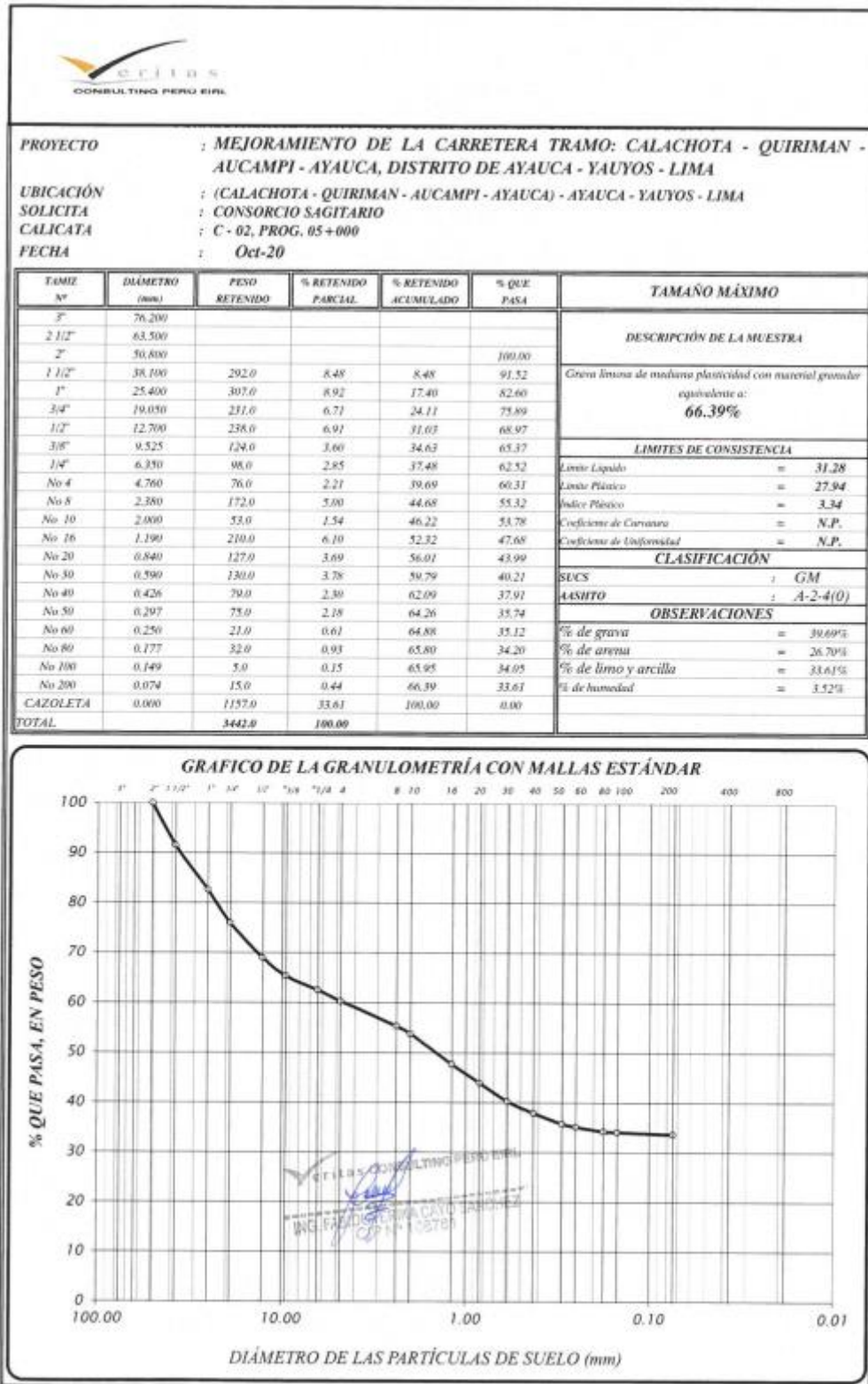
Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL.

Figura 67: Informe de EMS-Hoja 04

 <p style="text-align: center;">PERFIL ESTRATIGRÁFICO C - 01, PROG. 00+750</p>					
PROYECTO MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA TRAMO: CALACHOTA - QUIRIMAN - AUCAMPI - AYAUCA, DISTRITO DE AYAUCA - YAUYOS - LIMA SOLICITA CONSORCIO SAGITARIO UBICACIÓN (CALACHOTA - QUIRIMAN - AUCAMPI - AYAUCA) - AYAUCA - YAUYOS - LIMA CALICATA C - 01, PROG. 00+750 FECHA Oct-20					
ESPESOR DE ESTRATO ml.	MUESTRA	CLASIFICACIÓN		SÍMBOLO DEL TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO
		SUCS	AASHTO		
1.50 mt.	E - 1	GM-GC	A-2-4(0)		<p><i>Grava limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a:</i></p> <p style="text-align: center;">64.41%</p> <p><i>con presencia de rocas de diametro medio 1.00m en 60% y superficialment e con presencia de gramineas que debera ser eliminado en su totalidad.</i></p>
					

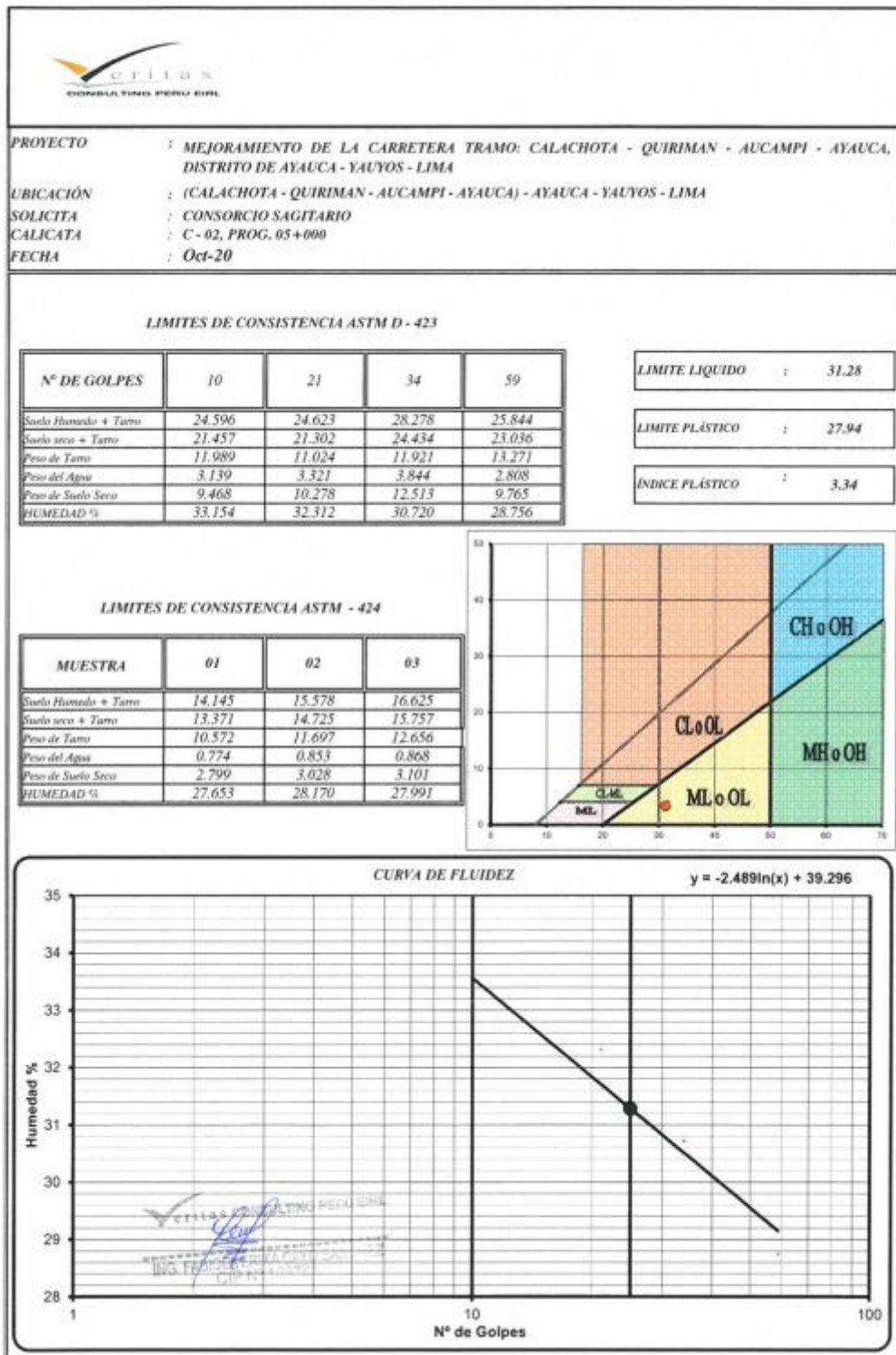
Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL

Figura 68: Informe de EMS-Hoja 05



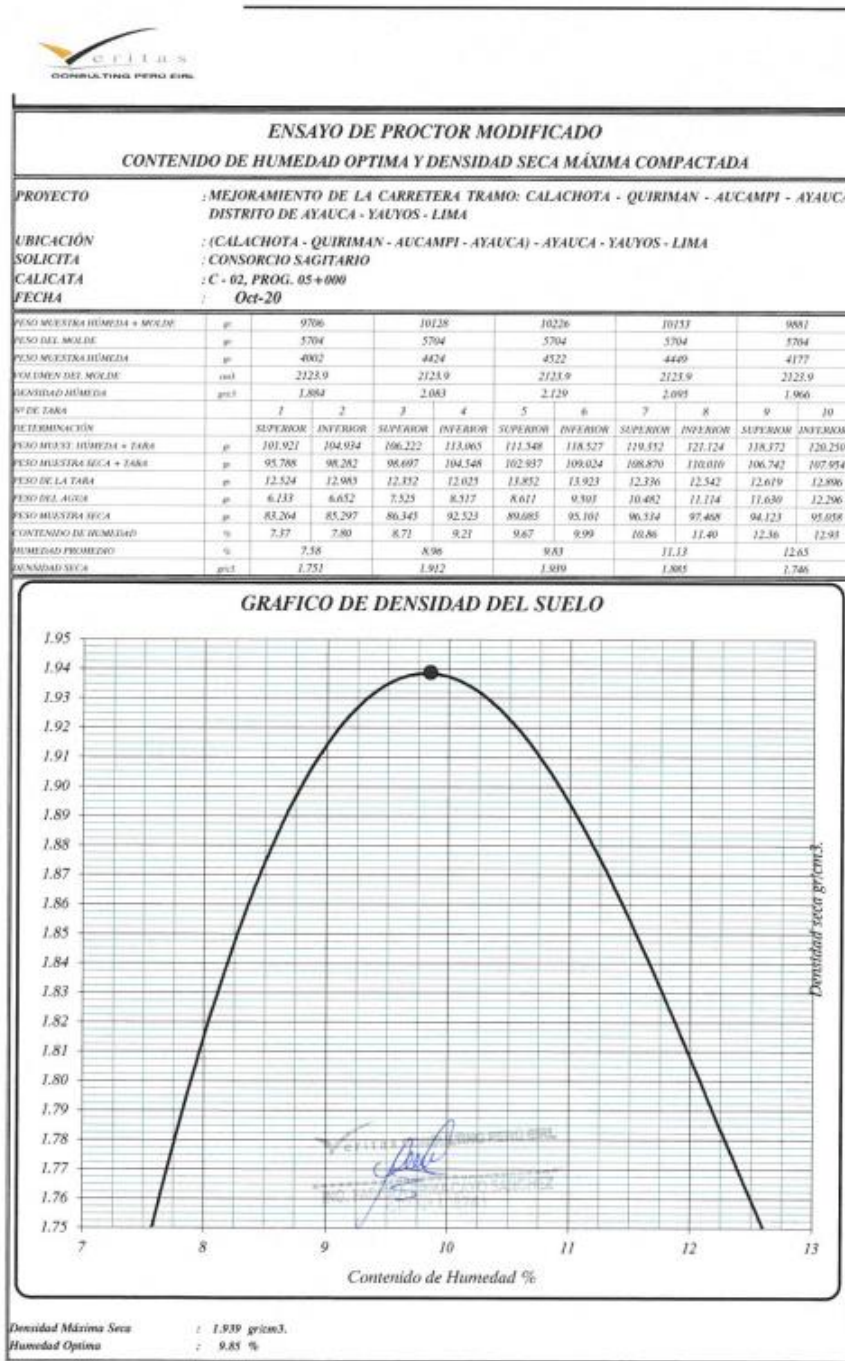
Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL

Figura 69: Informe de EMS-Hoja 06



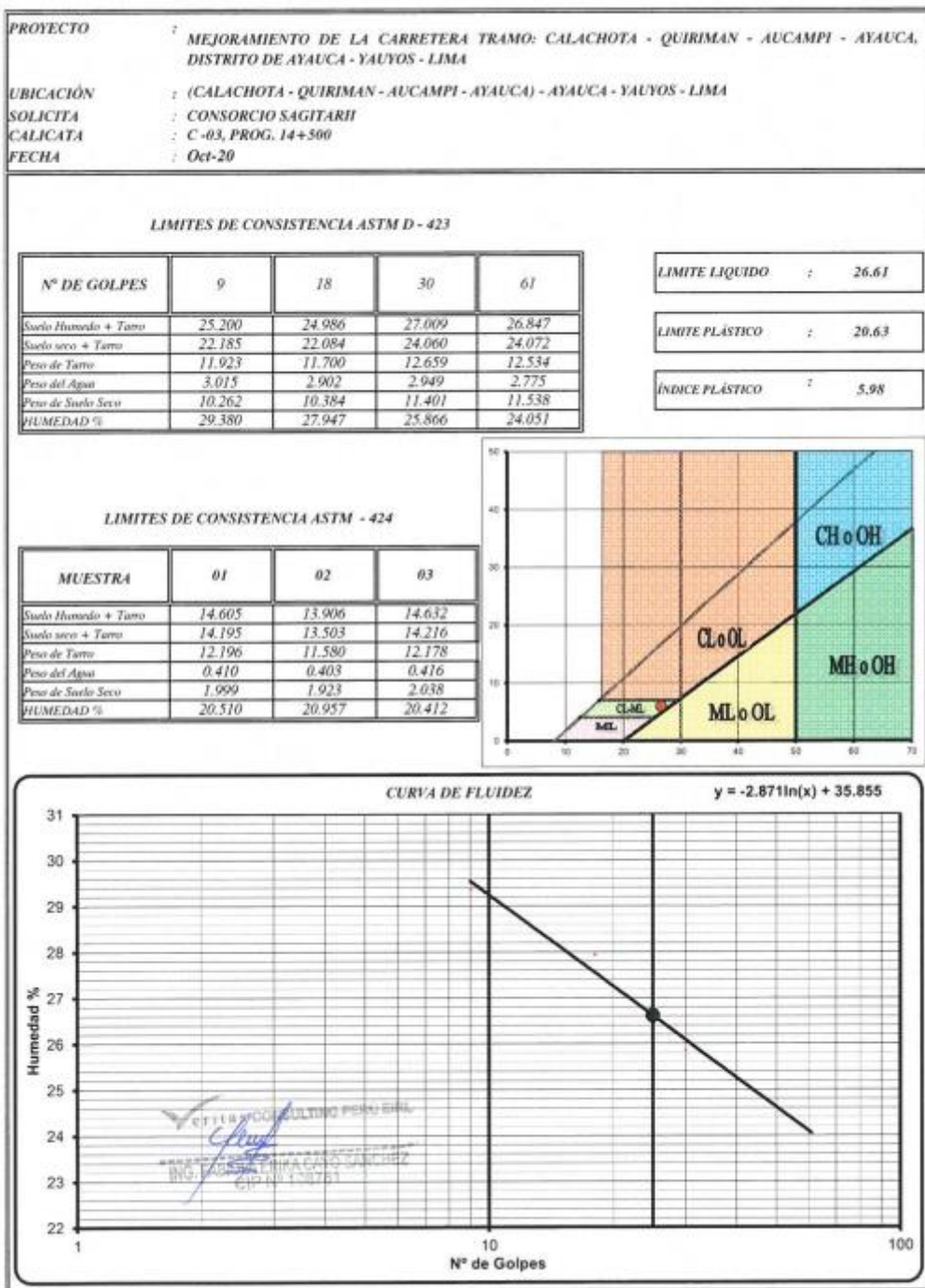
Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL

Figura 70: Informe de EMS-Hoja 07



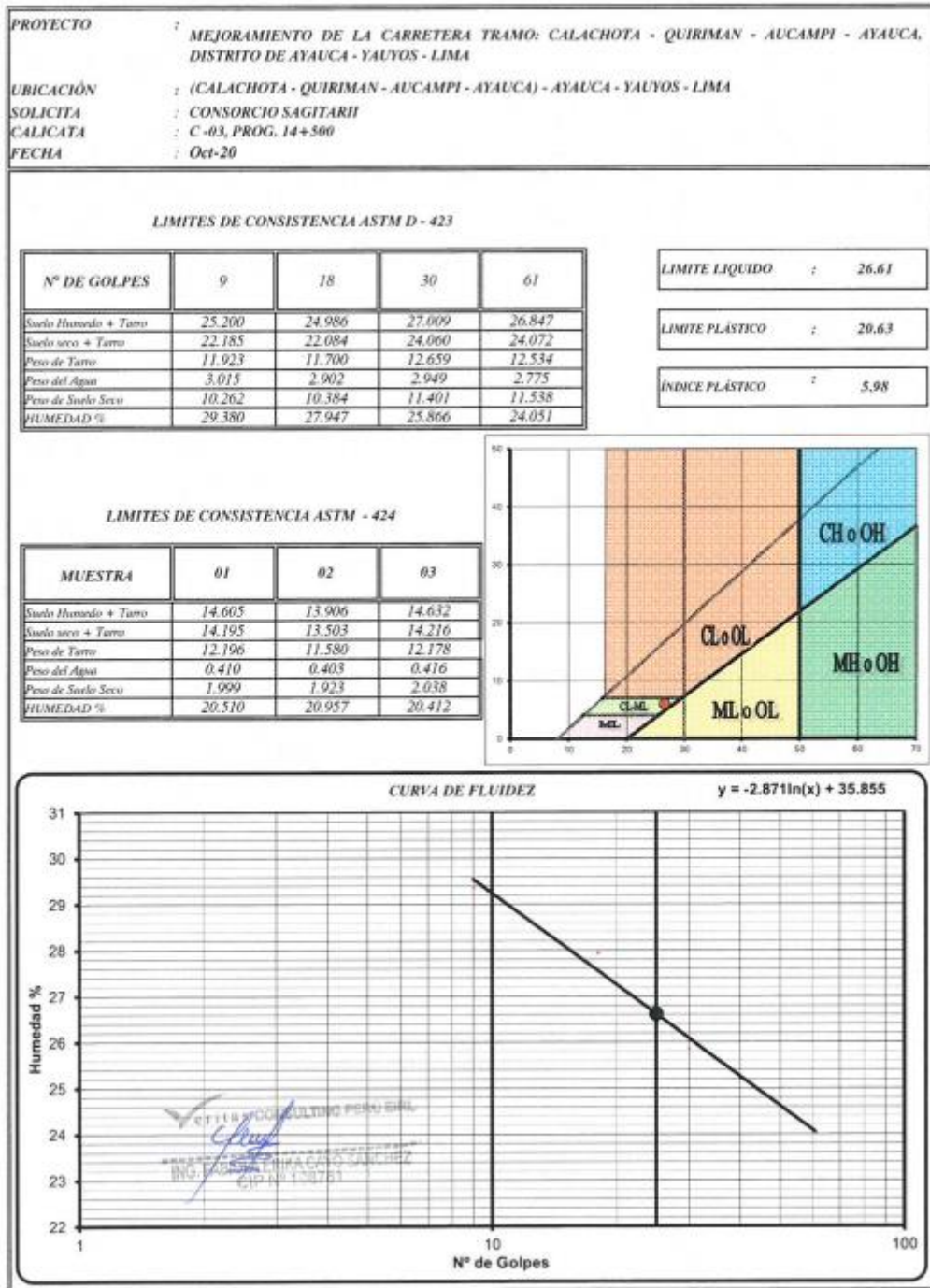
Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL

Figura 71: Informe de EMS-Hoja 08



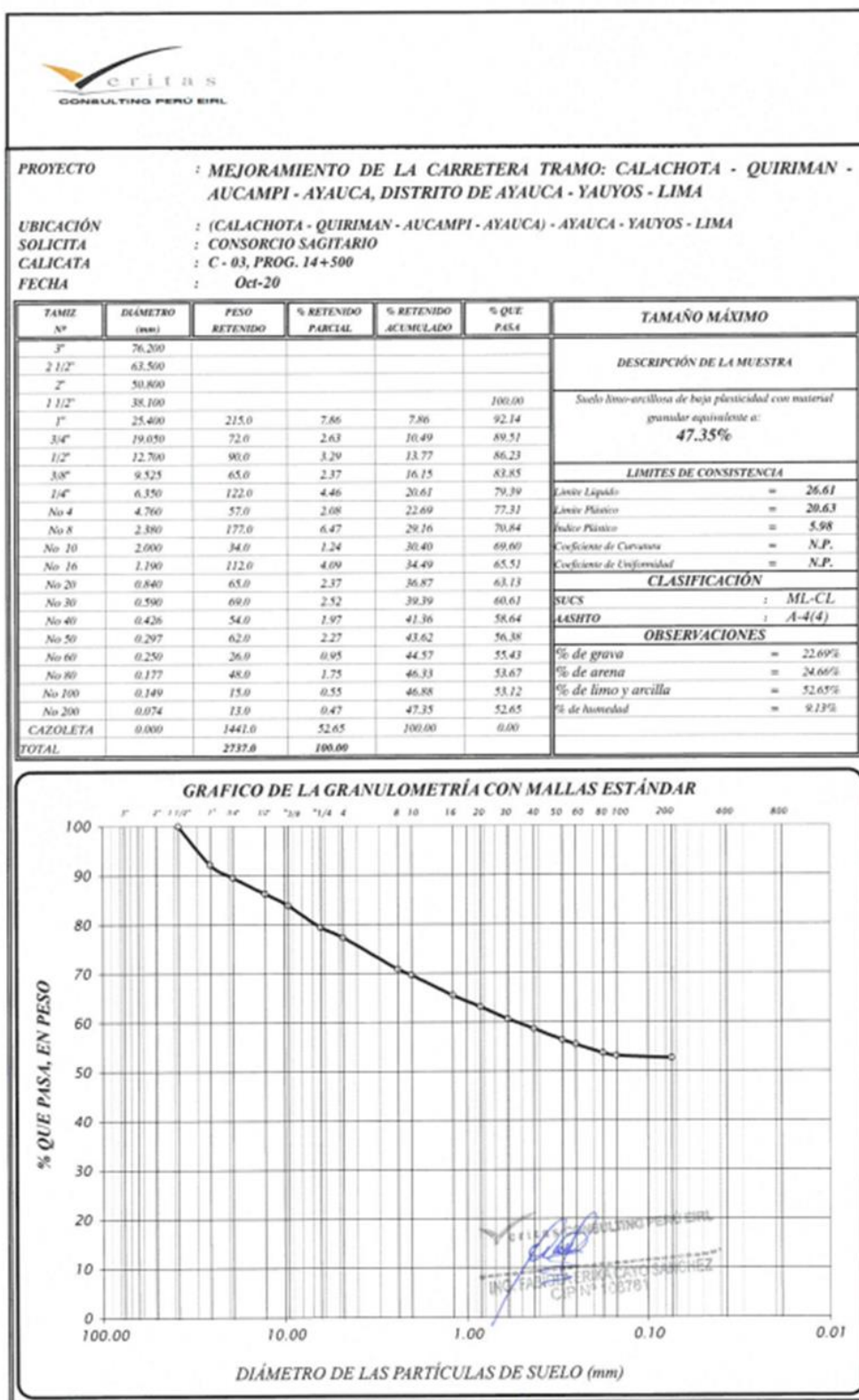
Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL

Figura 72: Informe de EMS-Hoja 09






Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL

Figura 73: Informe de EMS-Hoja 10



Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL



Figura 74: Informe de EMS-Hoja 11

					
PERFIL ESTRATIGRÁFICO C - 02, PROG. 05+000					
PROYECTO		MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA TRAMO: CALACHOTA - QUIRIMAN - AUCAMPI - AYAUCA, DISTRITO DE AYAUCA - YAUYOS - LIMA			
SOLICITA		(CALACHOTA - QUIRIMAN - AUCAMPI - AYAUCA) - AYAUCA - YAUYOS - LIMA			
UBICACIÓN		CONSORCIO SAGITARIO			
CALICATA		C - 02, PROG. 05+000			
FECHA		Oct-20			
ESPESOR DE ESTRATO ml	MUESTRA	CLASIFICACIÓN		SÍMBOLO DEL TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO
		SUCS	AASHTO		
0.90 mt.	E - 1	GM	A-2-4(0)		Grava limosa de mediana plasticidad con material granular equivalente a: 66.39%
0.60 mt.	E - 2	GM + 50% R ^o	A-2-4(0)		



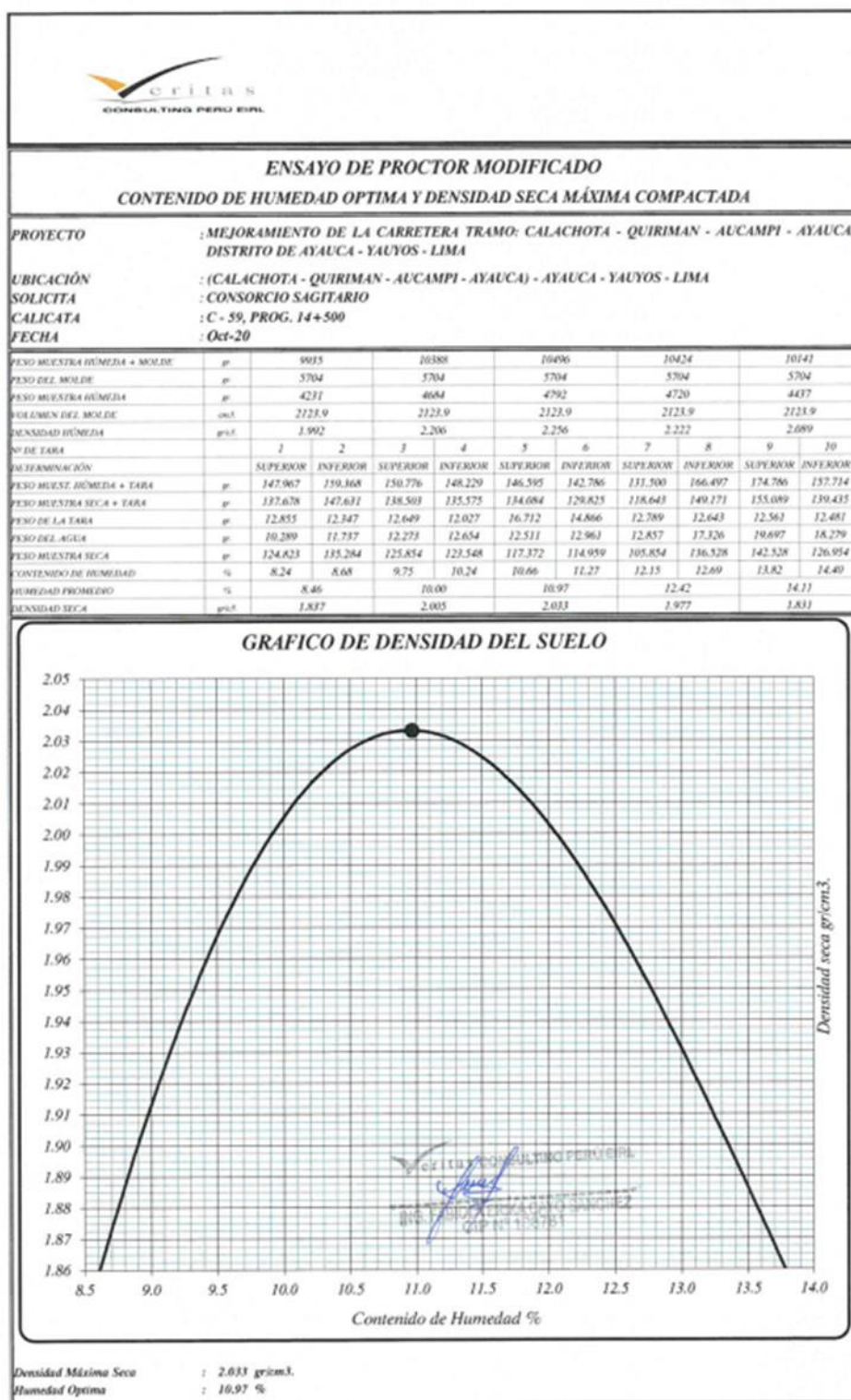
 VERITAS CONSULTING PERÚ EIRL
 ING. FABIANA PATRICIA CIFUENTES SANCHEZ
 CIP N° 158781

Figura 75: Informe de EMS-Hoja 12

 <p style="text-align: center;">PERFIL ESTRATIGRÁFICO C - 03, PROG. 14+500</p>					
PROYECTO		MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA TRAMO: CALACHOTA - QUIRIMAN - AUCAMPI - AYAUCA, DISTRITO DE AYAUCA - YAUYOS - LIMA			
SOLICITA		(CALACHOTA - QUIRIMAN - AUCAMPI - AYAUCA) - AYAUCA - YAUYOS - LIMA			
UBICACIÓN		CONSORCIO SAGITARIO			
CALICATA		C - 03, PROG. 14+500			
FECHA		Oct-20			
ESPESOR DE ESTRATO ml.	MUESTRA	CLASIFICACIÓN		SÍMBOLO DEL TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO
		SUCS	AASHTO		
1.50 mt.	E - 1	ML-CL	A-4(4)		<p>Suelo limo-arcillosa de baja plasticidad con material granular equivalente a:</p> <p style="text-align: center;">47.35%</p> <p>Con presencia de rocas de diametro medio 0.40m, en un 20% del volumen total .</p>
 <p>ING. FABIOLA RIQUELME SANCHEZ CIP Nº 138701</p>					

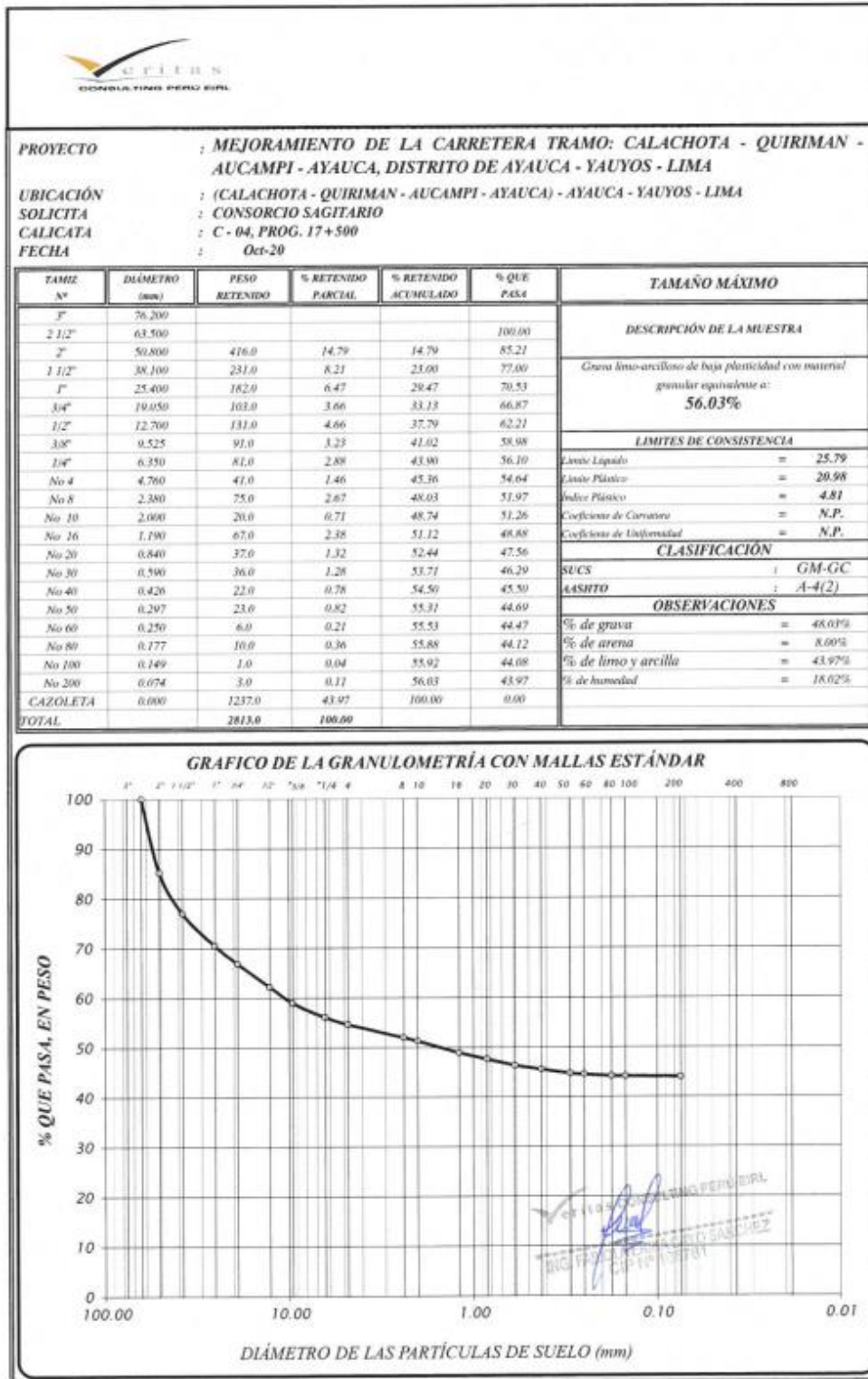
Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL

Figura 76: Informe de EMS-Hoja 13



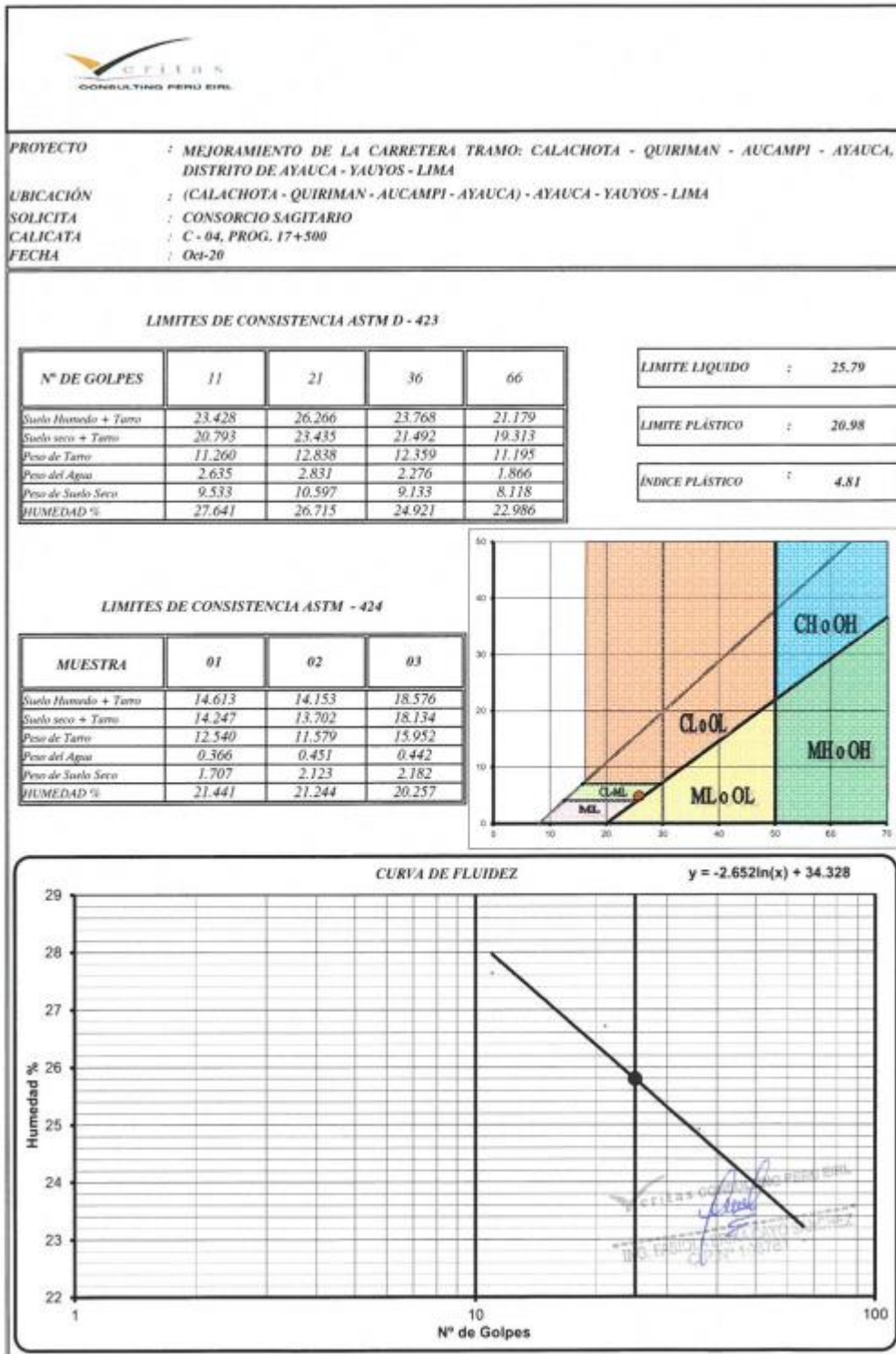
Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL

Figura 77: Informe de EMS-Hoja 14



Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL

Figura 78: Informe de EMS-Hoja 15



Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL

Figura 79: Informe de EMS-Hoja 16

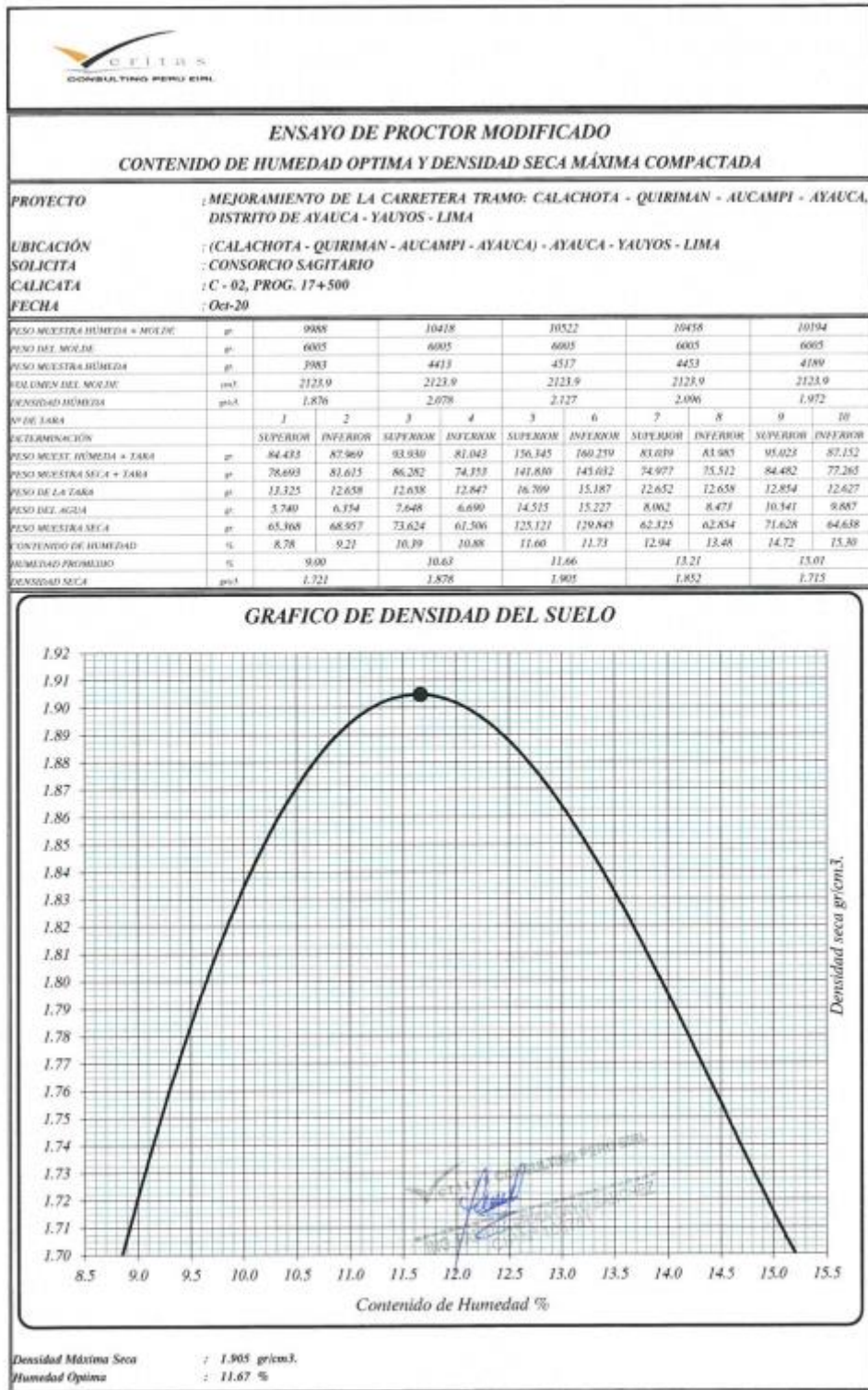





Figura 80: Informe de EMS-Hoja 17

 <p style="text-align: center;">PERFIL ESTRATIGRÁFICO C - 04, PROG. 17+500</p>					
PROYECTO MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA TRAMO: CALACHOTA - QUIRIMAN - AUCAMPI - AYAUCA, DISTRITO DE AYAUCA - YAUYOS - LIMA SOLICITA (CALACHOTA - QUIRIMAN - AUCAMPI - AYAUCA) - AYAUCA - YAUYOS - LIMA UBICACIÓN CONSORCIO SAGITARIO CALICATA C - 04, PROG. 17+500 FECHA 08-20					
ESPESOR DE ESTRATO mt.	MUESTRA	CLASIFICACIÓN		SÍMBOLO DEL TIPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO
		SUCS	AASHTO		
1.50 mt.	E - 1	GM-GC	A-4(2)		<p>Grava limo-arcilloso de baja plasticidad con material granular equivalente a:</p> <p style="text-align: center;">56.03%</p> <p>Con presencia de rocas de diametro medio 0.40m, en un 10% del volumen total, con presencia de talud al lado izquierdo compuesto por rocas fracturadas.</p>
 <p style="text-align: center;">ING. FABIAN PUCALLAYO SANCHEZ CIP N° 118781</p>					

Fuente: Laboratorio Veritas Consulting Perú EIRL

MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES -MTC 2016



MTC E 1002

MEDIDA DE LA DEFLEXION DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE EMPLEANDO LA VIGA BENKELMAN

1.0 OBJETO

- 1.1 Detallar el procedimiento para determinar con una viga Benkelman la deflexión o deformación recuperable, el radio de curvatura y el cuenco de deflexiones de un pavimento flexible, producidos por una carga estática. Para tal fin se utiliza un camión donde la carga, tamaño de llantas, espaciamiento entre ruedas duales y presión de inflado están normalizadas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La deflexión, es la deformación elástica que sufre un pavimento bajo la acción de una carga rodante normalizada. Mediante ella es posible evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las solicitaciones del tránsito que lo utiliza.
- 2.2 El campo de aplicación de estas mediciones es muy amplio, empleándose principalmente para determinar la vida útil remanente de un pavimento, evaluar estructuralmente los pavimentos con fines de mantenimiento, mejoramiento o rehabilitación, evaluar los métodos de diseño de pavimentos y control de ejecución de obras, evaluar el debilitamiento progresivo de la estructura debido a las solicitaciones del tránsito que lo utiliza, y establecer si éste presenta suficiencia sin presentar fatiga estructural creciente.
- 2.3 El método consiste en medir la deformación producida en la superficie del pavimento por la aplicación de una carga normalizada.
- 2.4 El dispositivo mecánico utilizado es la Viga Benkelman de brazo simple o doble, equipo que mide los desplazamientos verticales de un punto de contacto situado entre las ruedas duales del eje de carga, para una presión de inflado en los neumáticos de 80 psi y una carga de 8.2 t en el eje posterior del camión.
- 2.5 La superficie de pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 4695: "Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements".

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPO

- 4.1.1 Viga simple de un solo brazo con su correspondiente dial (al 0,01 mm y recorrido de 12 mm) y las siguientes características:

De acuerdo al esquema de la Figura 01, la viga consta esencialmente de dos partes:

1. Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos: dos delanteros fijos A y uno trasero regulable B.
2. Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote C, uno de cuyos extremos se apoya sobre el terreno - punto D; y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago del dial de movimiento vertical - punto E (DC = 2,44m, CE = 0,61 m). Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el indicador del dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas.

El extremo D o punta de la viga es de espesor tal que puede ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero del camión cargado. Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto fijo C, con respecto al cuerpo AB, determinando que el extremo E produzca un

movimiento vertical en el vástago, generando así una lectura en el dial. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto D se recupera en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial.

La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto D de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto D al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el dial - EE' no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes (Figura 01).

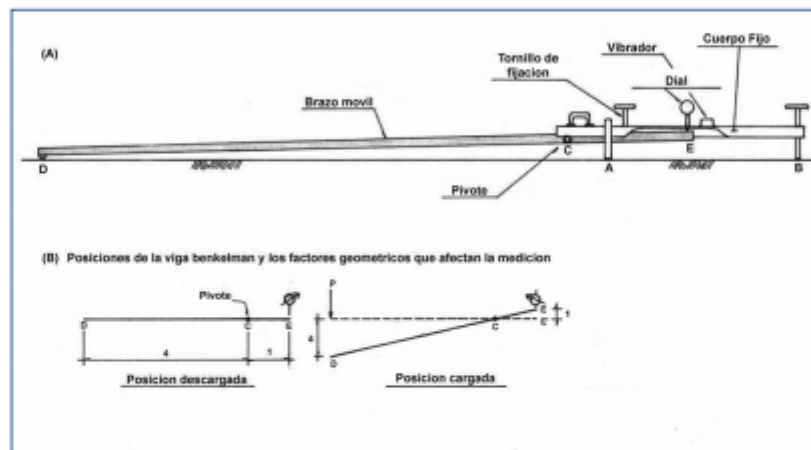


Figura 1

4.1.2 Viga Benkelman de doble brazo con sus correspondientes diales (al 0,01 mm y recorrido de 12 mm) y las siguientes dimensiones:

- Longitud del primer brazo (brazo largo), desde el pivote al punto de prueba es 2,44 m.
- Longitud del primer brazo (brazo largo), desde el pivote al punto de apoyo del vástago del registrador es 0,61m.
- Longitud del segundo brazo (brazo corto), desde el pivote al punto de prueba es 2,19 m.
- Longitud del segundo brazo de ensayo, desde el pivote al punto de apoyo del vástago de su dial registrador = 0,5475 m

La única diferencia entre la viga Benkelman simple y de doble brazo, radica en el segundo brazo adicional (brazo corto), cuyo punto de apoyo sobre el terreno se encuentra a 25 cm de distancia del primer brazo (brazo largo).

4.1.3 Un camión para ensayo con las siguientes características, el eje trasero pesará en la balanza 8,2 toneladas, igualmente distribuidos en sus ruedas duales y estará equipado con llantas de caucho y cámaras neumáticas. Las llantas deberán ser 10" x 20"; 12 lonas e infladas a 5,6 kg/cm² (80 libras por pulgada cuadrada). La distancia entre los puntos medios de la banda de rodamiento de ambas llantas de cada rueda dual deber ser de 32 cm.

4.1.4 Reloj convencional con indicador de segundos.

4.1.5 Termómetro convencional o sistema de termopares con escala de -10 °C a 50 °C y precisión de 1 °C.

- 4.1.6 Manómetro, que disponga de una boquilla adecuada para medir la presión de inflado.
- 4.1.7 Cinta métrica, de 25 m de longitud. Puede sustituirse con ventaja por un cuentametros y una cinta métrica de bolsillo de 2 ó 3 m de longitud.
- 4.1.8 Martillo y clavos de acero, o taladro, adecuados para practicar orificios en el pavimento hasta 5 cm de profundidad.
- 4.1.9 Cuña o calzo de parada, de chapa metálica o de madera.
- 4.1.10 Tizas y pintura para marcar el pavimento. Silbato y otro avisador acústico.
- 4.1.11 Aceite o material de similar inercia térmica y viscosidad.

5.0 PROCEDIMIENTO

- 5.1 El punto del pavimento a ser ensayado deberá ser marcado convenientemente con una línea transversal al camino. Sobre dicha línea será localizado el punto de ensayo a una distancia prefijada del borde. Se recomienda utilizar las distancias indicadas en la Tabla 01.

Tabla 1

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

- 5.2 La rueda dual externa del camión deberá ser colocada sobre el punto seleccionado; para la correcta ubicación de la misma, deberá colocarse en la parte trasera extrema del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga. Desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal indicada en 5.1 de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual.
- 5.3 **VIGA SIMPLE**
 - 5.3.1 Una vez localizado el lugar donde se realizará el ensayo, se coloca la llanta a usarse sobre el punto de manera tal que éste coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del neumático (punto D).
 - 5.3.2 Para esta operación es aceptable una tolerancia en el rango de 3 pulgadas alrededor del punto. Estacionados los neumáticos se inserta entre ellos el extremo del brazo móvil de la viga colocándolo nuevamente sobre el punto de ensayo seleccionado. Dado que esto último se dificulta por la inaccesibilidad tanto visual como manual, se realizará previamente la siguiente operación: Se coloca la Viga en la posición como si estuviera entre las llantas pero en la parte exterior de las mismas, haciendo coincidir, empleando una plomada, el extremo del brazo móvil con el eje vertical del centro de gravedad. Tomando como punto de referencia una varilla vertical adosada a la parte trasera del camión, se efectúa una marca en la viga de manera tal que, en adelante, basta con hacerlas coincidir (la marca con la varilla vertical) para asegurarse que el extremo de la viga coincide con el centro de las llantas, en el momento de iniciar las mediciones.
 - 5.3.3 De igual forma con la finalidad de obtener el cuenco de deflexiones, se puede efectuar, a partir de la primera, sucesivas marcas a distancias elegidas a las cuales se desea medir deflexiones adicionales (puede ser a 30, 40 y 70 cm). Para la metodología de análisis se requiere de por lo menos tres lecturas, pero se pueden obtener más con fines de verificación, lo cual es recomendable, o si es que se desea tener una idea gráfica del tipo de curvas de deflexiones que se producen.



PERU

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Viceministerio
de Transportes

Dirección General
de Caminos y
Ferrocarriles

- 5.3.4 Como norma se realiza la primera marca adicional a una distancia tal que la deflexión que se obtenga en ese punto sea la mitad de la deflexión máxima (obtenida en la marca inicial). La segunda marca adicional se realiza al doble de la distancia de la primera marca adicional. Estas dos distancias se determinarán específicamente para cada proyecto de evaluación que se emprenda. Esto deberá hacerse por medio de tanteos previos, antes de comenzar la recolección masiva de datos. Es común que se observen variaciones durante la realización de los ensayos, pero no deberá hacerse modificaciones mientras que las deflexiones tomadas en la primera marca adicional estén en el rango entre 35% y 65% de la deflexión máxima.
- 5.3.5 Una vez instalada la viga en el punto de medición haciendo coincidir con la varilla vertical y la marca inicial, se verificará que ésta se encuentre alineada longitudinalmente con la dirección del movimiento del camión. Se pondrá el dial en cero, se activará el vibrador y mientras el camión se desplaza muy lentamente se procederá a tomar lecturas conforme la varilla vertical vaya coincidiendo con la primera y las marcas adicionales y una lectura final cuando el camión se haya alejado lo suficiente del punto de ensayo que el indicador del dial ya no tenga movimiento, registro que corresponde al punto de referencia con deflexión cero.
- 5.4 VIGA DOBLE
- 5.4.1 Se coloca la viga sobre el pavimento, detrás del camión, perpendicularmente al eje de carga, de modo que la punta de prueba del primer brazo coincida con el punto de ensayo y la viga no roce contra las llantas de la rueda dual.
- 5.4.2 Se liberan los seguros de los brazos y se ajusta la base de la viga por medio del tornillo trasero, de manera que los dos brazos de medición queden en contacto con los diales.
- 5.4.3 Se ajustan a los diales de modo que sus vástagos tengan un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se giran las circunferencias de los diales hasta que las agujas queden en cero y se verifica la lectura golpeándolos suavemente con un lápiz. Girar la circunferencia si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición 0 (cero).
- 5.4.4 Se pone en marcha el cronómetro y vibrador, se hace avanzar suave y lentamente el camión; se leen los diales cada 60 segundos. Cuando dos lecturas sucesivas de cada uno de ellos no difieran en más de 0,01 mm, se da por finalizada la recuperación, registrándose las últimas lecturas observadas (L_0 y L_{25}).
- 5.5 Con el fin de medir la temperatura del pavimento se practica un orificio (antes de comenzar el ensayo y simultáneamente con el trazado de la línea), cuyas dimensiones serán: 4 cm de profundidad y 10 mm de diámetro, aproximadamente, emplazado sobre la línea paralela al eje del camino, que pasa por el punto de determinación de la deflexión y a 50 cm del mismo, en el sentido de avance del camión. Se llena con aceite no menos de 10 minutos antes de iniciar el ensayo, se inserta el termómetro y se lee la temperatura, retirando el mismo antes del desplazamiento del camión.
- El rango de temperatura de trabajo deberá quedar dentro de los siguientes límites:
- Límite inferior : 5 °C
- Límite superior : 35 °C
- 5.6 No obstante el límite superior indicado en el párrafo 5.5, el ensayo no se deberá efectuar a temperaturas inferiores si ellas producen deformación plástica entre ambas llantas de la rueda dual. Para detectar si dicha deformación se produce, se deberá proceder de la siguiente forma:
- 5.6.1 Una vez registradas las lecturas L_0 y L_{25} , se hace retroceder suave y lentamente el camión hasta que la rueda dual externa quede colocada sobre el punto de ensayo, observando la marcha en la aguja del dial. Si alcanzada cierta posición la aguja se detiene y luego se observa un desplazamiento en sentido contrario, como si se produjera la recuperación del pavimento, ello indica que existe deformación plástica medible entre ambas llantas de la rueda dual. Esa aparente recuperación puede ser. Debida, también, al hecho de que el radio de acción de la carga del camión afecte las patas de la viga (ver numeral 5.6.2).



- 5.6.2 Tampoco deberá efectuarse el ensayo si, aun cuando no se detectara deformación plástica mediante el procedimiento recién indicado, se constata que el radio de acción de la carga del camión afecta las patas de la regla, para lo cual se procederá de la siguiente forma:

Una vez registradas las lecturas de los diales, se hace retroceder lentamente el camión observando el dial del primer brazo. Cuando se observe que el dial comienza a desplazarse acusando la deformación producida por la carga, se marca sobre el pavimento la posición de la guía vertical mencionada en el párrafo 5.2 y se detiene el retroceso del camión.

Se mide la distancia entre la punta de prueba del primer brazo y la marca practicada sobre el pavimento, de acuerdo con lo indicado antes. Sea d esa distancia, si d es mayor de 2,40 m, la acción de la carga del camión afecta las patas de la viga.

6.0 CALCULOS E INFORME

6.1 CALCULOS

6.1.1 VIGA SIMPLE

Se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para el caso de la deflexión a 25 cm, se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 25 cm y la lectura final, lo mismo se realiza para las deflexiones tomadas a cualquier distancia.

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

D : Deflexión a la distancia R, expresada en 0.01 mm.

LR : Lectura a la distancia R

LF : Lectura máxima

RB : Relación de brazos de la viga Benkelman (normalmente es 1:2 ó 1:4)

6.1.2 VIGA DOBLE

Cuando las medidas se toman con viga doble el cálculo es directo, es decir se multiplican las lecturas por la relación de brazos de la viga Benkelman doble. Asimismo, la diferencia entre la viga simple y la doble, radica en que con la viga doble solamente se toman las lecturas en el eje de carga y a 25 cm del mismo.

$$D = LD \times RB$$

D : Deflexión, expresada en 0.01 mm.

LD : Lectura del dial.

RB : Relación de brazos de la viga Benkelman (normalmente es 1:2 ó 1:4)

Nota 1: El valor 4 usado para el cálculo de las deflexiones obedece a que la relación de longitudes de brazo indicadas es 4. En caso de que la viga utilizada tenga una relación diferente, se aplicará la relación de brazos que corresponda.

- 6.1.3 El radio de curvatura en el punto de ensayo se calcula con la expresión independientemente de la viga utilizada:

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

6.2 INFORME

- 6.2.1 Para cada ensayo, el informe deberá incluir la progresiva de la prueba, el estado superficial, el espesor y la temperatura del pavimento, las deflexiones y el radio de curvatura.

Para la aplicación de corrección de las deflexiones por efecto de la temperatura y estacionalidad utilizar los procedimientos establecidos en el CONREVIAL o Instituto del Asfalto.